



Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya

Índex

Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya

Editor: Josep Enric Llebot



Generalitat de Catalunya
**Consell Assessor per al
Desenvolupament Sostenible**



Biblioteca de Catalunya. Dades CIP

Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya

ISBN 84-7283-780-7

I. Llebot, Josep Enric, ed. II. Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible (Catalunya)

III. Institut d'Estudis Catalans IV. Servei Meteorològic de Catalunya

1. Canvis climàtics — Catalunya 2. Gestió ambiental — Catalunya

551.58(467.1)

Aquesta publicació ha estat possible gràcies a la col·laboració de Fundació Caixa de Girona, Fundació Caixa Sabadell i Fundació Caixa Tarragona.

Disseny gràfic: Maria Casassas

Fotografia de la coberta: Manel Armengol, corresponent a la sèrie «Vent»

© Institut d'Estudis Catalans

© Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible
i Institut d'Estudis Catalans, per a aquesta edició

Primera edició: abril de 2005

Tiratge: 1.000 exemplars

Compost per fotocomposició gama, s. l.

Carrer d'Aristides Maillol, 9-11. 08028 Barcelona

Imprès a Limpergraf, SL

Polígon industrial Can Salvatella. Carrer de Mogoda, 29-31. 08210 Barberà del Vallès

ISBN: 84-7283-780-7

Dipòsit Legal: B. 8747-2005

Són rigorosament prohibides, sense l'autorització escrita dels titulars del *copyright*, la reproducció total o parcial d'aquesta obra per qualsevol procediment i suport, incloent-hi la reprografia i el tractament informàtic, la distribució d'exemplars mitjançant lloguer o préstec comercial, la inclusió total o parcial en bases de dades i la consulta a través de xarxa telemàtica o d'Internet. Les infraccions d'aquests drets estan sotmeses a les sancions establertes per les lleis.

*En memòria de l'Honorable senyor Josep Laporte i Salas
(Reus 1922 – Barcelona 2005), que com a president de
l'Institut d'Estudis Catalans i membre del Consell
Assessor per al Desenvolupament Sostenible de Catalunya
fou impulsor decisiu de la realització d'aquest informe.*

Barcelona, 17 de maig de 2005

Índex

Pròleg	9
Introducció	13
A. La ciència del canvi climàtic	
A1. El sistema climàtic <i>Josep Enric Llebot</i>	19
A2. Una perspectiva històrica del canvi climàtic <i>Antoni Rosell i Melé</i>	51
A3. Factors geogràfics, regionalització climàtica i tendències de les sèries climàtiques a Catalunya <i>Javier Martín-Vide</i>	81
A4. El forçament antropogènic i els canvis en el clima <i>Xavier Rodó i Miquel Àngel Rodríguez-Arias</i>	113
A5. Estimació de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle produïts a Catalunya durant el període 1990-2001 <i>José María Baldasano Recio, René Parra Narváez i Eugeni López Vañó</i>	155
A6. Projeccions futures sobre el clima a Catalunya <i>Josep Calbó Angrill</i>	189
B. Impacte, vulnerabilitat, mitigació i adaptació	
B1. Energia <i>Joaquim Corominas</i>	229
B2. Infraestructures i medi urbà <i>Ricard Pié i Ninot, Robert Vergés i Fernández, Josep Maria Vilanova i Claret i Joan Lluís Zamora i Mestre</i>	267
B3. Transport <i>Francesc Robusté i Carles Casas Esplugas</i>	307



B4. Indústria catalana i canvi climàtic <i>Joan Jorge i Sánchez</i>	339
B5. Agricultura i silvicultura <i>Maria Teresa Sebastià, Pere Casals, Glòria Domínguez, Lluís Martín i Joan Costa</i>	367
B6. Residus <i>Teresa Vicent i Xavier Gabarrell</i>	413
B7. Turisme <i>David Saurí i Joan Carles Llurdés</i>	447
B8. Recursos hídrics, dinàmica hidrològica i canvi climàtic <i>Josep Mas-Pla</i>	485
B9. Sistemes naturals: ecosistemes terrestres <i>Josep Peñuelas, Iolanda Filella, Santi Sabaté i Carles Gràcia</i>	517
B10. El paper dels sòls de Catalunya en el canvi climàtic <i>Josep Maria Alcañiz, Jaume Boixadera, Maria Teresa Felipó, Josep Oriol Ortiz i Rosa Maria Poch</i>	555
B11. Zones costaneres: dinàmica sedimentària <i>Agustín Sánchez-Arcilla, José A. Jiménez i Joan Pau Sierra</i>	609
B12. Canvi climàtic i salut <i>Marc Saez i Aitana Lertxundi-Manterola</i>	643
C. Instruments de gestió	
C1. Aspectes legals de la lluita contra el canvi climàtic <i>Isabel Pont i Castejón i Mar Campins Eritja</i>	677
C2. Instruments econòmics. Flexibilitat en el disseny de polítiques de canvi climàtic: l'ús de mecanismes de mercat a Catalunya <i>Flavia Rosembuj González- Capitel i Lluís Esquerra</i>	749
C3. Percepció i comunicació sobre el canvi climàtic <i>Joan David Tàbara</i>	773

Pròleg



Fa poc més de cent anys que Svante Arrhenius, un químic físic suec guardonat posteriorment amb el premi Nobel de química, es preguntava quines serien les causes de les glaciacions, i si la temperatura estava relacionada amb el contingut a l'atmosfera d'allò que aleshores s'anomenava àcid carbònic i que avui coneixem com a diòxid de carboni. Estava trist i desmoralitzat pel seu divorci recent, i això el féu escometre tasques que li comportessin temps i energies en treballs que en una altra situació hauria deixat. Així féu càlculs sobre quina seria la temperatura mitjana de la superfície terrestre si el contingut de diòxid de carboni es doblava o es reduïa a la meitat, naturalment sense cap ajut de càlcul dels que avui tindríem, i amb una informació sobre la capacitat d'absorció del diòxid de carboni molt inexacta. Obtingué uns resultats sorprenents. Si l'atmosfera tenia més diòxid de carboni, la superfície de la terra s'escalfava i si, en canvi, el diòxid de carboni atmosfèric es reduïa, la temperatura superficial mitjana també ho feia. Sense saber-ho, iniciava un camp de la ciència al qual avui s'hi dediquen milers de científics naturals i de científics socials, el del canvi climàtic i, al qual es dediquen tots els continguts del treball que hi ha a continuació.

Amb diferents ritmes i malgrat crisis socials extraordinàriament profundes, durant el segle xx, els ciutadans dels països del món desenvolupat hem experimentat un augment considerable de la nostra qualitat de vida. Gaudim, en termes

generals, de sistemes avançats de protecció social, educatius i de salut. La fam que hi havia a Europa en temps d'Arrhenius pràcticament ha desaparegut del continent gràcies a la revolució agrícola i ramadera que ja s'havia iniciat durant el segle xix. Actualment la ciència i el desenvolupament tecnològic han penetrat profundament en totes les activitats de la societat actual i són reconegudes com un factor de millora i de cohesió social. Han estat un motor que ens ha impulsat a cotes de confort inimaginables per Arrhenius i els seus contemporanis. Així, per exemple, els mateixos càlculs que el portaren a predir un món més càlid i confortable si es doblava el diòxid de carboni a l'atmosfera avui els podríem fer amb un ordinador personal en qüestió de minuts.

Tanmateix la relació entre desenvolupament de la ciència i la tecnologia i el progrés en general durant el segle xx s'ha vist mediatitzat per unes conseqüències que molt poques persones preveïen. Un llibre de la zoòloga americana Rachel Carson, l'any 1962, alertava del fet que per primera vegada tot ésser humà vivia tota la vida en contacte amb un entorn ple de productes químics potencialment perillosos, tant si residia en una ciutat molt densament poblada com si ho feia en el poblet més allunyat de qualsevol concentració industrial. Fins i tot els nadons, en ésser alletats per les seves mares, rebien una càrrega de substàncies químiques no desitjables. El llibre, centrat en el DDT, causà els anys següents a la seva publicació un fort impacte social. Des

d'aleshores podem dir que s'ha consolidat la certesa que les activitats humanes poden influir de forma global i determinant l'ambient de la Terra.

Durant els darrers vint anys dues qüestions ambientals han dominat sobre les altres pel seu abast global: la davallada de l'ozó estratosfèric com a conseqüència de la presència a l'estratosfera de compostos halogenats, i l'escalfament de l'atmosfera i el possible canvi del clima a causa de l'augment de la concentració atmosfèrica d'alguns gasos causants de l'efecte d'hivernacle. En ambdós casos, la magnitud i l'abast del problema ambiental és tan gran que, per gestionar-lo, s'ha hagut de recórrer a l'ens més proper a un "govern planetari": les Nacions Unides. Així, sota els seus auspicis, l'any 1987 es va signar el protocol de Montreal sobre les substàncies destructores de la capa d'ozó, posteriorment actualitzat a tenor dels progressos científics i tecnològics a Londres (1990), Copenhaguen (1992), Viena (1995), Montreal (1997) i Beijing (1999).

L'any 1988, l'Organització Meteorològica Mundial i les Nacions Unides crearen l'IPCC, el Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic, amb l'objectiu que fos un referent en cada moment sobre l'estat del coneixement sobre la qüestió del canvi climàtic. Durant la cimera de Río de Janeiro, l'any 1992, es va acordar el Conveni Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic i l'any 1997 es va signar el protocol de Kyoto. Tot aquest marc legislatiu se sustenta sobre l'existència de l'IPCC. Aquest grup ha publicat tres informes globals i un gran nombre d'informes sectorials. En el darrer informe global, publicat l'any 2001, es manifesta la conveniència d'elaborar estudis a una escala regional, ja que fins aleshores, la visió de la qüestió del canvi climàtic s'havia abordat des d'un punt de vista estrictament global. Amb aquest esperit la Generalitat de Catalunya, mitjançant el seu Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible i el Servei Meteorològic de Catalunya, va encarregar l'elaboració de l'estudi que el lector té a les seves mans.

L'escalfament global és un fenomen que afecta tot el planeta, però els canvis que aquest fenomen pot induir no es manifestaran arreu de la mateixa manera. Tampoc la capacitat dels països per actuar, mitigant les causes i adaptant-se als canvis, ho és. És per això que Catalunya, conscient de la magnitud del problema, ha decidit abordar-lo de la forma més consistent elaborant un treball que intenti comprendre on som, a quins riscos estem sotmesos i quina és la nostra capacitat d'actuació. Amb això ens hem posat en la primera línia dels països més capdavanters del món, ja que fins ara són pocs els informes d'aquesta magnitud elaborats en països petits com el nostre.

L'estudi és complet, abasta tant la ciència com els impactes i el context legal i normatiu del problema, i conté molta informació. La seva lectura, a vegades inevitablement feixuga, reflecteix els buits, les incerteses i els dubtes en el coneixement dels problemes. Ens hem de congratular que el nostre país tingui grups d'experts que hagin pogut afrontar els reptes que l'elaboració de l'estudi plantejava. En el document hi ha escrites moltes conclusions i recomanacions d'índole diversa, però n'hi ha una d'especialment rellevant: moltes de les accions que cal dur a terme són estructurals del país i a llarg termini, per tant, no es poden abordar de forma improvisada i ràpida. Per això el govern de la Generalitat, conscient d'aquesta característica, s'està dotant dels mecanismes adequats de gestió entre tots els seus departaments per afrontar el tractament adequat al problema del canvi climàtic.

El fet que aquest estudi s'hagi fet seguint les recomanacions de l'IPCC també és un altre aspecte a destacar. El nostre país se sent plenament solidari amb les iniciatives de la comunitat internacional que tenen per objectiu tenir cura del medi. Com s'ha dit en moltes ocasions, la solució de la majoria de problemes ambientals passa per tenir present també principis com l'equitat entre les persones i els pobles, el respecte a llurs cultures, la solidaritat intergeneracional, la res-

ponsabilitat històrica sobre la contaminació, tots ells principis amb els quals el govern de Catalunya se sent identificat.

Finalment, vull felicitar al Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de Catalunya per la iniciativa de promoure i vetllar per la realització d'aquest estudi. Una vegada més s'ha mostrat útil la doble vessant del CADS, la seva dependència institucional del departament de Presidència de la Generalitat i, a la vegada, la plena independència dels seus informes i opi-

nions. Amb aquest Informe sobre el Canvi Climàtic a Catalunya el Consell compleix amb un dels seus objectius que és vetllar, des d'una perspectiva de la sostenibilitat, per les anàlisis transversals dels grans problemes ambientals del país i posar a disposició dels responsables de gestionar-lo elements de coneixement i de reflexió. Per molts anys!

Josep Bargalló i Valls
Conseller Primer

Introducció

La intervenció humana sobre la Terra és tan antiga com la mateixa Humanitat, tot i que les escales temporals i espacials d'aquesta intervenció han canviat amb el temps. La disponibilitat de recursos, l'evolució de la tecnologia i les contínues variacions de factors socioeconòmics i demogràfics expliquen, moltes vegades, els canvis i les dinàmiques dels assentaments humans, i configuren els problemes i les accions que al llarg de la història s'han produït sobre el medi, en general, i sobre el territori, en particular. Aquesta visió tan interessant i ambiciosa, que s'anomena canvi global, tracta de les variacions i els canvis que l'evolució social i econòmica han induït en l'època moderna.

Els diversos capítols d'aquest llibre analitzen un dels elements que contribueix al canvi ambiental global: el canvi climàtic. La creació del Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (IPCC¹) per part de les Nacions Unides i de l'Organització Meteorològica Mundial, l'any 1988, va suposar un gran pas endavant ja que va permetre disposar d'un ens científic independent, format per experts de tot el món, que analitza periòdicament, des d'una perspectiva exclusivament científica, l'estat del coneixement sobre el canvi climàtic.

Des de la seva creació, l'IPCC ha publicat tres informes genèrics i un bon conjunt d'informes

sectorials o d'estudis que presenten diversos escenaris de canvi climàtic. Els informes de l'IPCC també inclouen resums tècnics per a les persones responsables de la presa de decisions, que condensen les conclusions més rellevants dels seus extensos capítols temàtics. El tercer i, fins ara, últim informe de l'IPCC, publicat l'any 2001, expressava la conveniència de desenvolupar estudis regionals sobre el canvi climàtic i els seus efectes.

Efectivament, el canvi climàtic és un fenomen d'abast global, però els seus impactes i les eventuais accions que es puguin prendre per adaptar-s'hi són diferents per a cada país i territori. Catalunya haurà d'actuar assumint el paper que li toca dins de l'Estat espanyol i de la Comunitat Europea. No obstant això, per tal de poder elaborar i desenvolupar una estratègia pròpia en aquest àmbit cal conèixer les característiques climàtiques del territori i les previsions sobre la dimensió dels possibles canvis de clima a mitjà termini, així com els possibles efectes i les conseqüències d'aquest fenomen a Catalunya.

Aquest és, precisament, l'objectiu d'aquest informe. En el moment de començar a plantejar-se'n l'elaboració, ara fa ja tres anys, es va reunir un grup d'experts que des d'aleshores s'ha ocupat d'analitzar tota la informació produïda al nostre país sobre l'escalfament global i l'eventual canvi del clima, valorar la informació elaborada arreu que pugui ser aplicable a Catalunya, de-

1. De l'anglès Intergovernmental Panel on Climate Change.

tectar les llacunes de coneixement existents, i fer propostes sobre les diferents opcions a seguir de cara al futur.

El llibre que teniu a les mans és el resultat del treball de tots aquests experts. Com el lector podrà comprovar, el text reflecteix l'heterogeneïtat del coneixement que a hores d'ara tenim sobre el canvi climàtic al nostre país. En general, Catalunya no té una tradició consolidada de recerca en l'àmbit de la climatologia i, per tant, hi ha un considerable dèficit de coneixement sobre aspectes importants d'aquesta disciplina en la nostra àrea geogràfica, que la intensa feina feta durant els darrers anys no ha aconseguit pal·liar.

El gruix de l'informe té com a principal objectiu analitzar els impactes i les possibles mesures d'adaptació en diferents sectors d'activitat econòmica. Com el lector podrà comprovar, aquest apartat també mostra heterogeneïtats en el tractament i l'avaluació del fenomen, ja que mentre alguns sectors tenen una llarga tradició i un bon coneixement de la incidència dels canvis ambientals en el seu funcionament, altres estan en una situació ben incipient. L'informe acaba amb tres capítols dedicats a aportar una visió de l'estructura i els compromisos normatius en l'àmbit del canvi climàtic, i amb una pinzellada sobre la percepció socials dels temes de l'escalfament de l'atmosfera i el canvi del clima.

És molt difícil pretendre que un estudi d'aquestes característiques doni una visió completa i exhaustiva de tots els aspectes en què el canvi climàtic influencia el nostre país. No obstant això, sí que pot donar molts indicis. Crec que s'ha aconseguit plenament, i que l'informe presenta clarament com estaven les coses en el moment de tancar la redacció del text, al voltant de la tardor de 2003 (cal assenyalar, però, que alguns dels capítols s'han actualitzat amb la informació generada l'any 2004). Amb la publicació de l'informe acaba el compromís assumit per tot

aquells que hem participat en aquest projecte tan engrescador. No obstant això, en un futur no gaire llunyà, potser d'aquí a uns cinc anys, caldrà tornar a elaborar un informe semblant que permeti incorporar el progrés en el coneixement del canvi climàtic i que, al mateix temps, permeti estudiar l'evolució del Principat respecte a aquest fenomen.

Qualsevol treball d'aquesta envergadura ha d'acabar, en justícia, amb un capítol d'agraïments. En primer lloc, doncs, vull manifestar el meu profund agraïment als autors dels diversos capítols. Amb alguns d'ells m'uneixen lligams de col·laboracions passades. Altres els he conegut, justament, en motiu d'aquest projecte. Tothom ha respost produint un treball amb rigor i qualitat, complint terminis i expectatives.

Sense l'encàrrec fet pel Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de Catalunya (CADS) i el seu suport material, tècnic i humà, aquest treball no s'hauria dut a terme. Per tant, el meu agraïment més profund als consellers del CADS que van creure en la importància d'aquest estudi i van aprovar l'encàrrec de realitzar-lo, a en Jordi Rodó i en Joan Roca, exdirector i actual director del CADS respectivament, i a l'Arnau Queralt, coordinador tècnic del consell, així com a la resta de l'equip humà d'aquest organisme, que l'han impulsat i l'han portat de braçets fins la seva publicació.

Durant l'elaboració del treball hem comptat amb el suport del Servei Meteorològic de Catalunya, per la qual cosa voldria fer extensiu el meu agraïment al Sr. Oriol Puig i al Sr. Joan Pallisé. L'Institut d'Estudis Catalans és, juntament amb el CADS, coeditor d'aquest llibre però també vull agrair el suport proporcionat per l'IEC, institució de la qual tinc l'honor de ser membre, per la seva contribució a la gestió del projecte i de la seva publicació, a més del suport administratiu i informàtic. També la Sra. Neus Portet, actualment al Centre de Recerca Matemàtica, ha resolt amb eficiència totes les qüestions admi-

nistratives, ha mantingut la web i ha facilitat la comunicació entre els autors, tots els quals estem molt agraïts per la seva tasca.

Finalment, agraeixo molt especialment la sensibilitat de la Fundació Caixa de Sabadell, l'obra Social de Caixa Tarragona i de la Fundació Caixa

de Girona, que han comprès la importància d'aquesta estudi i n'han cofinançat l'edició.

Josep Enric Llebot

Director de l'Informe sobre
el Canvi Climàtic a Catalunya

A. La ciència del canvi climàtic

A1. El sistema climàtic

Josep Enric Llebot

Departament de Física
Universitat Autònoma de Barcelona
Membre de l'Institut d'Estudis Catalans

Josep Enric Llebot (Barcelona, 1953) és doctor en Ciències Físiques per la Universitat Autònoma de Barcelona. Ha estat catedràtic de Física de la Matèria Condensada a la Universitat de Girona i actualment és catedràtic de la mateixa àrea a la Universitat Autònoma de Barcelona. Fou degà de la Facultat de Ciències de la Universitat Autònoma de Barcelona (1991-1993) i de la Facultat de Ciències Experimentals de la Universitat de Girona (1994-1995), des d'on impulsà els estudis de ciències ambientals. Fou l'iniciador de l'Institut de Medi Ambient a la Universitat de Girona i, posteriorment, director del Centre d'Estudis Ambientals de la Universitat Autònoma de Barcelona. Des de 1995 i fins l'any 2002 fou secretari científic de l'IEC, i actualment és membre del Consell directiu de Copernicus, membre del Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de Catalunya (CADS) i del Consell assessor de seguiment i avaluació del tercer pla de recerca de la Generalitat de Catalunya. Dirigeix la revista electrònica *Ecotropia* i la col·lecció Monografies de medi ambient de Rubes editorial. Ha publicat a prop d'una vuitantena d'articles científics sobre termodinàmica de processos irreversibles i sobre física ambiental i uns quants llibres docents, científics i de divulgació entre els quals destaca la publicació en català de dues obres: *Els fluids de la vida* (1996) i *El canvi climàtic* (1998). Ha rebut un accèssit al premi Divulga de la Fundació La Caixa (1986), el premi Fundació Enciclopèdia Catalana (1991) i el Premi Prat de la Riba de l'IEC (2000).

Síntesi	23
A1.1. Introducció	25
A1.2. El sistema climàtic	25
A1.2.1. Meteorologia versus climatologia	
A1.2.2. Els components del sistema climàtic	
A1.2.2.1. L'atmosfera	
A1.2.2.2. La hidrosfera	
A1.2.2.3. La criosfera	
A1.2.2.4. La litosfera	
A1.2.2.5. La biosfera	
A1.2.3. L'efecte d'hivernacle i la variabilitat climàtica	
A1.2.4. Les retroaccions del sistema climàtic	
A1.2.4.1. Retroacció de Stefan-Boltzmann	
A1.2.4.2. Retroacció del vapor d'aigua	
A1.2.4.3. Retroacció gel-albedo	
A1.2.4.4. Retroacció per l'emissió d'ona llarga i l'evaporació als oceans	
A1.2.4.5. Retroacció dels núvols	
A1.2.4.6. Retroaccions biogeoquímiques	
A1.3. Anàlisi científica del canvi climàtic	38
A1.4. Escenaris climàtics	39
A1.5. Els models del clima	40
A1.6. L'escalfament global i altres canvis	44
A1.7. Patrons climàtics i teleconnexions	47

A1.8. Incerteses i possibles millores en relació amb la simulació del canvi climàtic	47
A1.9. Conclusions	49
Referències bibliogràfiques	49

Síntesi

En aquest capítol introductori es fa una breu menció als aspectes científics més generals relacionats amb la qüestió de l'escalfament global i del canvi climàtic, sense particularitzar en Catalunya. A la resta de l'informe es focalitza l'estudi en tot allò relacionat amb el canvi climàtic i la seva afectació i relació amb el Principat.

El sistema climàtic fou definit en un document elaborat pel GARP (*Global Atmospheric Research Program*) de l'Organització Meteorològica Mundial, l'any 1975, com el sistema format per l'atmosfera, la hidrosfera, la criosfera, la litosfera i la biosfera. Posteriorment, el Conveni Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic, signat a Rio de Janeiro l'any 1992, defineix el sistema climàtic com l'atmosfera, la hidrosfera, la biosfera i la geosfera i les seves interaccions. Mentre que ambdues definicions són molt semblants, la darrera posa èmfasi en les interaccions, un dels trets més característics del sistema climàtic. L'atmosfera, el sol, els oceans, la superfície de l'aigua, la superfície coberta pel gel i la neu, i la vegetació i altres éssers vius a l'oceà i al sol, estan fortament acoblats, i justament aquest acoblament fa molt complicada la comprensió de com funciona el sistema i fa difícil la seva modelització.

Aquests acoblaments produeixen els mecanismes de retroacció o *feedback*, que són una de les característiques més significatives del sistema climàtic. Una retroacció és, en general, un mecanisme mitjançant el qual el resultat d'una perturbació modifica la pròpia perturbació que l'ha originat. Conseqüentment, el resultat pot ser una amplificació (retroacció positiva) o un esmoreïment (retroacció negativa). El sistema climàtic mostra ambdós tipus de retroaccions. En aquest capítol es descriuen les més importants i s'en quantifica la magnitud.

Per modelar i, per tant, obtenir prediccions sobre l'evolució futura del clima es fa imprescindible

ble saber quina serà la composició atmosfèrica en el futur. Com que això és impossible de saber, el Grup Intergovernamental d'Experts sobre Canvi Climàtic (IPCC) ha elaborat un conjunt d'escenaris a partir d'indicadors basats en suposicions sobre l'evolució demogràfica, l'ús i l'evolució de la tecnologia i de l'economia. A partir d'aquests indicadors s'elaboren escenaris possibles d'emissions els quals, en definitiva, porten a una determinada composició de l'atmosfera. Tots els models utilitzen els mateixos escenaris, la qual cosa permet comparar-ne fàcilment els resultats i, per tant, estimar la fiabilitat de les prediccions.

Hi ha l'evidència experimental de la variació de la composició atmosfèrica (pel que fa als gasos causants de l'efecte d'hivernacle) i també hi ha proves que el senyal de la perturbació antròpica s'ha pogut separar de la variabilitat climàtica natural, si més no pel que fa a la temperatura mitjana superficial, cosa que indica que alguns canvis s'estan produint. La magnitud i la dinàmica d'aquests canvis encara és incerta, així com l'avaluació dels seus impactes. Tots els escenaris preveuen un augment de la concentració de gasos amb efecte d'hivernacle durant el segle XXI i, com a conseqüència, tots els models preveuen un augment global de la temperatura superficial i del nivell del mar, un creixement de la variabilitat climàtica, i que les taxes d'aquests augments poden disminuir si les concentracions de gasos causants de l'efecte d'hivernacle a l'atmosfera disminueixen la seva taxa de creixement.

Per tal de poder fer anàlisis locals detallades dels impactes associats a l'escalfament global cal disposar d'eines de predicció amb una major resolució del que avui es disposa. Una de les línies de treball més importants de cara al futur a Catalunya en particular és desenvolupar un *downscaling* o regionalització dels models.

A1.1. Introducció

La intervenció humana sobre la Terra és tan antiga com la mateixa humanitat, tot i que les escales temporals i espacials d'aquesta intervenció han canviat al llarg de la història. La disponibilitat de recursos, l'evolució de la tecnologia i les contínues variacions de determinats factors socioeconòmics i demogràfics expliquen, moltes vegades, els canvis i les dinàmiques dels assentaments humans, de la mateixa manera que són determinants per entendre les intervencions antròpiques sobre el territori i la problemàtica que afecta –i ha afectat– el medi ambient.

Aquest capítol, però, no tracta dels canvis ambientals generats per l'evolució social i econòmica moderna –fenomen que els experts han anomenat canvi global–, sinó que pretén fer una revisió breu i concisa de tots els elements científics generals que configuren un dels elements d'aquest canvi global, probablement el que actualment repercuteix menys però que té gran capacitat d'incidir de cara al futur: el canvi climàtic d'origen antròpic. Cal precisar, però, que aquesta revisió té un caràcter molt general, ja que la resta de capítols d'aquest llibre, a banda d'aprofundir en molts dels aspectes que aquí només s'esmenten, es concentrarà en allò que fa referència específica a Catalunya.

A1.2. El sistema climàtic

L'estudi del clima, per la seva complexitat, requereix un coneixement profund del sistema cli-

màtic, el qual al seu torn, està configurat per cinc subsistemes estretament interrelacionats. En aquest apartat, i després d'uns apunts conceptuals en relació als termes meteorologia i climatologia, es descriu breument cada un d'aquests subsistemes: l'atmosfera, la hidrosfera, la litosfera, la criosfera i la biosfera.

Igualment, es tracta de la variabilitat climàtica i dels factors que la poden explicar, entre els quals cal destacar els gasos amb efecte d'hivernacle emesos per l'home, i, finalment, s'analitzen les retroaccions, és a dir, els processos d'acoblament entre les diverses parts del sistema climàtic, generalment complexos i freqüentment no lineals.

A1.2.1. Meteorologia versus climatologia

Els mots meteorologia i climatologia són objecte, molt sovint, d'un ús poc correcte, per la qual cosa és important iniciar aquest apartat amb una breu precisió conceptual sobre aquests dos termes.

La meteorologia és la ciència que estudia els meteors atmosfèrics, és a dir, que té com a objectiu el coneixement de la física de l'atmosfera i dels meteors que s'hi produeixen i el seu comportament en el temps (per poderne preveure, així, l'evolució).

La climatologia és, textualment, la ciència del clima. És a dir, la ciència que estudia els factors que

produeixen el clima –els climes– de la Terra, els seus elements, la distribució dels diversos climes sobre la superfície del planeta i la seva influència sobre els éssers vius. Per comprendre plenament aquesta definició, però, cal establir què s'entén per clima. Així, el clima d'un determinat indret és el temps mitjà, és a dir, les propietats estadístiques de l'atmosfera i de l'oceà, si escau, en un període temporal llarg i en una regió geogràfica determinada. Per tant, té sentit parlar de la climatologia d'una regió, d'una comarca i fins i tot d'una ciutat però, en contra del que es fa habitualment, no té sentit parlar de la climatologia d'un dia o d'un cap de setmana.

El comportament de l'atmosfera segueix unes lleis físiques ben conegudes i conceptualment no gaire complexes, tot i que complicades d'utilitzar atès el gran nombre de variables que hi intervenen. Per tal de determinar l'estat de l'atmosfera, aquestes lleis s'escriuen en forma d'equacions diferencials amb derivades parcials que no tenen una solució analítica i que s'han de resoldre numèricament mitjançant l'ús d'eines de càlcul digital: és el que coneixem com a models meteorològics, els quals donen lloc a la predicció meteorològica ordinària.

Els models meteorològics fan prediccions per a uns intervals horaris determinats (per exemple, de 6 hores, de 12, de 18 o de 24). Naturalment, com més llarg és l'interval sobre el que s'elabora la predicció més imprecisos són els seus resultats. Aquest procediment actualment sol abastar fins a set o deu dies, període que es considera com un dels límits temporals pràctics a l'hora de formular prediccions meteorològiques. Així doncs, rigorosament, la climatologia comença on acaba la meteorologia, és a dir, a partir de períodes de temps superiors a la setmana. Tanmateix, això és únicament en sentit estricte, ja que la informació climàtica sol ser mensual, estacional, anual o fins i tot de períodes més llargs. (Peixoto, 1992).

L'altra característica de la informació climàtica és l'escala espacial a la qual es refereix, que acos-

tuma a ser la regional o estatal. Malgrat que hi ha hàbitats molt específics i concrets, de dimensions més reduïdes, normalment les característiques ambientals abasten una regió o un país, per la qual cosa la mitjana climàtica espacial es fa a aquesta escala, amb un entorn que presenta característiques i tendències semblants o homològables.

Encara que és molt important disposar de prediccions meteorològiques acurades, també és necessari disposar d'informació prospectiva sobre el futur del clima, tant a escala general com a nivell més particular. Pot semblar que si es disposa de mecanismes sofisticats de predicció meteorològica, la predicció climatològica té el mateix nivell d'efectivitat, però això no és cert. Si bé les lleis físiques que governen el temps meteorològic són les mateixes que determinen el temps a un termini llarg, la incertesa de les prediccions climatològiques és molt més gran ja que el clima, tot i ser dependent de les mateixes variables que els models meteorològics, també ho és de l'evolució –dinàmica– d'unes magnituds que se suposen constants en els models meteorològics. De la mateixa manera, també depèn d'esdeveniments singulars, com les erupcions volcàniques, que són molt difícils de predir amb antelació.

A banda de les variacions naturals que es puguin produir en les condicions climàtiques, les activitats humanes també tenen una influència important en la composició de l'atmosfera i de la biosfera i, per tant, afecten el comportament del clima. Per fer prediccions climàtiques, doncs, caldrà saber quines seran en el futur les influències antròpiques al clima. Això implica conèixer, per exemple, el volum de gasos amb efecte d'hivernacle que s'emetrà a l'atmosfera, el ritme en què es produiran aquestes emissions, el consum d'energia i la tecnologia que farà ús d'aquesta energia. Al seu torn, aquestes variables depenen d'altres elements, com l'evolució de la població mundial i el nivell de desenvolupament que s'assoleixi a escala global. Hi ha, per tant, un grau important d'incertesa sobre aquests elements

que determinen de forma central la previsió del comportament del clima i que, en canvi, afecten poc la previsió meteorològica.

A1.2.2. Els components del sistema climàtic

Tal i com s'ha apuntat a l'inici de l'apartat A1.2, el sistema climàtic està configurat per cinc components o subsistemes: l'atmosfera, la hidrosfera, la litosfera, la criosfera i la biosfera. Aquests sistemes són oberts, és a dir, intercanvien constantment matèria i energia entre ells, i és justament el progrés en la comprensió d'aquests intercanvis el que permet progressar en la comprensió i la modelització del clima. A continuació es descriu breument cada un d'aquests cinc components del sistema climàtic.

A1.2.2.1. L'atmosfera

L'atmosfera terrestre és el component més important del sistema climàtic, així com el més variable en el temps i l'espai (amb un temps característic de resposta que va de dies a setmanes). La seva composició és un factor clau determinant del clima terrestre, ja que la interacció dels gasos atmosfèrics amb la radiació solar i la radiació terrestre caracteritza els fluxos d'energia a través del sistema climàtic.

L'atmosfera té una massa de $5,14 \times 10^{18}$ kg, que és relativament petita en comparació amb la massa de la hidrosfera ($1,39 \times 10^{21}$ kg) i de la litosfera ($5,98 \times 10^{24}$ kg). L'aire sec, sense vapor d'aigua, és bàsicament una mescla de nitrogen (78,08% o 780.840 ppm) i oxigen (20,95% o 209.460 ppm). El següent gas més abundant és l'argó (0,93% o 9.340 ppm). La resta de constituents atmosfèrics, molt importants per a l'absorció i l'emissió d'energia radiativa, representen, conjuntament, menys d'un 1% en volum de la massa atmosfèrica total. Un d'aquests gasos és el vapor d'aigua, que està a l'atmosfera en quantitats variables però que representa, en termes mitjans, un $3,3 \times 10^{-3}$ % de la massa atmosfèrica total (és a dir, aproximadament 1 de cada 100.000 parts de l'aigua que hi ha al sistema climàtic). Altres gasos són el diòxid de carboni ($5,3 \times 10^{-7}$ %,

o 368 ppm), l'ozó ($6,42 \times 10^{-7}$ %, o 0,1-0,01 ppm) i el metà (2×10^{-4} %, o 1,75 ppm). Tot i que en termes generals la composició atmosfèrica roman constant des de fa milers d'anys, la concentració d'aquests compostos més minoritaris –els anomenats gasos traça– ha canviat molt des de l'època preindustrial.

La temperatura de l'atmosfera és el paràmetre climàtic per excel·lència. La temperatura mitjana de la superfície terrestre és de 15°C. Els extrems de temperatura superficial assolits i registrats corresponen la més freda a -89°C, assolida a la base antàrtica de Vostok (situada a 3.450 metres sobre el nivell del mar) i la més calenta a Al Aziziyah, a Líbia, on es varen enregistrar 58°C de temperatura. Aquestes temperatures extremes, doncs, mostren la variació de la temperatura des dels tròpics fins els pols.

La temperatura mitjana a la zona més alta de l'estratosfera és de pràcticament 0°C. Un tema interessant, que ha motivat sovint els científics, és saber la causa d'aquest comportament tèrmic tan sorprenent de l'estratosfera. Es pensa que els processos de formació d'ozó (a partir de l'oxigen molecular i de l'oxigen atòmic produït per la radiació solar) i de destrucció d'aquest mateix gas (després d'haver absorbit radiació solar ultravioletada) retenen l'energia solar a l'estratosfera, cosa que explica la seva peculiar estructura tèrmica.

A1.2.2.2. La hidrosfera

La hidrosfera conté tota l'aigua en fase líquida del planeta i inclou, per tant, els oceans, els llacs interiors, els rius i les aigües subterrànies. La hidrosfera és l'altre subsistema important en els estudis climàtics, ja que absorbeix la major part de la radiació solar incident i, per la seva massa (molt gran, concretament de $1,39 \times 10^{21}$ kg) i capacitat calorífica, constitueix una ingent reserva d'energia solar.

Els llacs, els rius i les aigües subterrànies són elements essencials per a la branca terrestre del cicle hidrològic, la qual constitueix un factor cru-

cial del clima global. Igualment, presenten una marcada influència sobre el clima en una dimensió regional i local.

A causa de la seva inèrcia, els oceans actuen com un element regulador de la temperatura que actua des d'una escala estacional (és a dir, de mesos) fins a una escala de segles i mil·lenis. L'oceà és un element climàtic essencial, com ho demostra el fet que la meitat de l'energia que es transporta de l'equador vers els pols provingui del moviment dels oceans. Així mateix, l'aigua té una gran inèrcia mecànica i tendeix a estratificar-se. En aquest sentit, els oceans presenten una capa superficial ben barrejada, d'un gruix d'entre 100 i 200 metres, que està separada de la resta de la massa d'aigua per una zona de transició, anomenada termoclina. Aquesta part superior de l'oceà és, precisament, la més activa. D'altra banda, en els oceans la temperatura disminueix amb la fondària, des d'una temperatura gairebé com la temperatura atmosfèrica a la superfície fins a la temperatura de fusió del gel. Per sota la termoclina la temperatura de l'oceà és pràcticament constant.

L'aigua del mar conté minerals, i per determinar-ne la quantitat s'utilitza com a paràmetre la salinitat de l'aigua, que es defineix com la quantitat de sals (expressada en grams) dissolts per quilogram d'aigua (es tracta bàsicament de sals de sodi i de clor). La salinitat de l'oceà assoleix valors compresos entre els 25 i els 40 g kg⁻¹ i varia sistemàticament amb la latitud. D'aquesta manera, doncs, a latituds baixes (a les àrees tropicals) la salinitat a la superfície és més alta, ja que l'evaporació és més gran que la precipitació. A les latituds mitjanes i altes, en canvi, la precipitació d'aigua dolça supera l'evaporació i la salinitat de l'aigua és baixa. Finalment, cal apuntar que la salinitat és, juntament amb la temperatura, la principal variable que caracteritza la densitat de l'aigua del mar.

L'atmosfera i els oceans estan fortament acoblats i interaccionen en moltes escales espacials i tem-

porals intercanviant energia, vapor d'aigua i velocitat (a través de la precipitació i l'evaporació o amb l'acció del vent que modula els moviments de l'aigua superficial dels oceans, tan importants per als intercanvis comercials i els assentaments humans). Tanmateix, la circulació de l'aigua dels oceans és molt més lenta que la circulació atmosfèrica, i segueix uns patrons de moviment que es mantenen durant molt temps. En aquesta mateixa línia, en els moviments oceànics la turbulència és molt inferior que a l'atmosfera. Per tot això, l'escala de temps en què reaccionen els oceans és molt més lenta que els temps característics dels fenòmens atmosfèrics. En efecte, el temps de resposta de l'oceà varia entre les setmanes i els mesos, quan es parla de moviments superficials d'aigua, i fins a segles o mil·lenis si parlem de les aigües profundes. Aquesta és una característica molt important que s'ha de tenir en compte a l'hora de estudiar els models d'evolució del clima.

A1.2.2.3. La criosfera

La criosfera està formada per tot el gel situat a prop de la superfície terrestre i inclou els gels de Groenlàndia (8,6%) i de l'Antàrtida (89%), altres glaceres continentals i camps de neu. Cal destacar especialment que el 2% de l'aigua de la Terra està gelada (un 80% del qual correspon a aigua dolça) i que actualment el gel cobreix l'11% del territori continental i el 7% dels oceans. En termes absoluts això vol dir que el gel cobreix uns 23 milions de quilòmetres quadrats de la superfície marina, les clapes de gel 16 milions de metres quadrats de superfície terrestre i la neu, amb una forta component estacional, uns altres 50 milions més.

Els canvis estacionals a la criosfera produeixen grans variacions anuals i interanuals de l'escalfament dels continents atès els canvis en el valor de la reflexió respecte la radiació solar. A causa de la seva baixa conductivitat tèrmica els gels actuen com aïlladors tèrmics, evitant l'emissió a l'atmosfera de considerables quantitats de radiació. L'extensió dels grans camps de gel no varia

de forma prou ràpida com per afectar el clima en una escala estacional o interanual. Tanmateix, juga un paper important en el clima per a escales de temps de milers d'anys, i les seves variacions s'utilitzen en l'anàlisi dels períodes glacials i interglacials.

A1.2.2.4. La litosfera

La litosfera està formada pels continents i el fons dels oceans. La relació entre la terra emergida, que actualment ocupa el 30% de la superfície terrestre, i els oceans ha anat canviant al llarg de la història de la Terra, i és un factor important per a la determinació del clima global. El 70% de la terra emergida està a l'hemisferi nord, i aquesta asimetria entre l'hemisferi nord i l'hemisferi sud és la causa de diferències significatives en el clima. L'orientació de les muntanyes i la seva distribució també té conseqüències climàtiques.

De tots els components del clima, la litosfera és el que presenta un temps de resposta més llarg si s'exclou la fina capa superficial del sòl que respon als canvis tèrmics de l'atmosfera i l'oceà. Pel que fa als temps geològics propers, la litosfera pot considerar-se com constant. La interacció amb l'atmosfera es produeix amb l'emissió de partícules de pols o aerosols i, de forma violenta, amb les erupcions volcàniques. Els aerosols exerceixen una acció rellevant a l'atmosfera, sobretot pel que fa a l'absorció i reflexió de la radiació i, per tant, tenen un efecte important sobre el clima. També l'evolució de les conques oceàniques és un factor que afecta la variació del nivell del mar a les zones costaneres, un dels impactes més importants i polèmics de les previsions sobre el canvi climàtic.

A1.2.2.5. La biosfera

La biosfera conté la coberta vegetal i la fauna continental. La vegetació determina la capacitat del sòl de retenir aigua i caracteritza l'evaporació i l'albedo superficial. La fotosíntesi i la respiració vegetal són responsables de la incidència fonamental de la biosfera en el cicle del carboni.

Globalment, la biosfera és molt sensible als canvis en el clima, cosa que ha permès obtenir molta informació sobre el clima del passat a través, precisament, de l'estudi de les restes fòssils. Tot i que la vegetació i les condicions del sòl tenen una clara influència sobre el clima, l'efecte recíproc té una importància cabdal, tant per a la biosfera en general com, més concretament, per als humans (que en depenem completament per resoldre les nostres necessitats alimentàries). No cal oblidar, per tant, que la temperatura i la humitat estableixen límits a l'ús del sòl i són claus pel desenvolupament de la vegetació i de l'agricultura (en aquest sentit, cal tenir present que aproximadament un terç de la superfície terrestre emergida s'utilitza per a cultius i per al creixement d'animals, un terç és tundra o desert, i un terç correspon als boscos.) Tanmateix, tampoc podem prescindir de l'evidència que el paisatge del nostre món no és únicament conseqüència del clima, sinó que en bona part és resultat de les activitats humanes, les quals han intervingut directament en la utilització del sòl, l'elecció del tipus de vegetació o conreus i en la distribució d'usos del territori, modulant i essent modulades pel clima.

Entre els diferents elements que componen el clima es donen múltiples interaccions físiques, químiques i biològiques en escales temporals i espacials molt diverses, la qual cosa fa que el sistema climàtic sigui extraordinàriament complex.

A1.2.3. L'efecte d'hivernacle i la variabilitat climàtica

La font d'energia que mou el sistema climàtic és la radiació solar. La figura A1.1 (Kiehl i Treberth, 1997) mostra el balanç de radiació global a la superfície terrestre. La superfície terrestre i l'atmosfera també emeten radiació electromagnètica, depenent de la seva temperatura. Per tal que el clima sigui estable, hi ha d'haver un balanç de radiació entre la radiació solar incident i la radiació emesa per la Terra.

D'altra banda, i com ja s'ha apuntat abans, l'atmosfera conté diversos gasos traça que absorbeixen

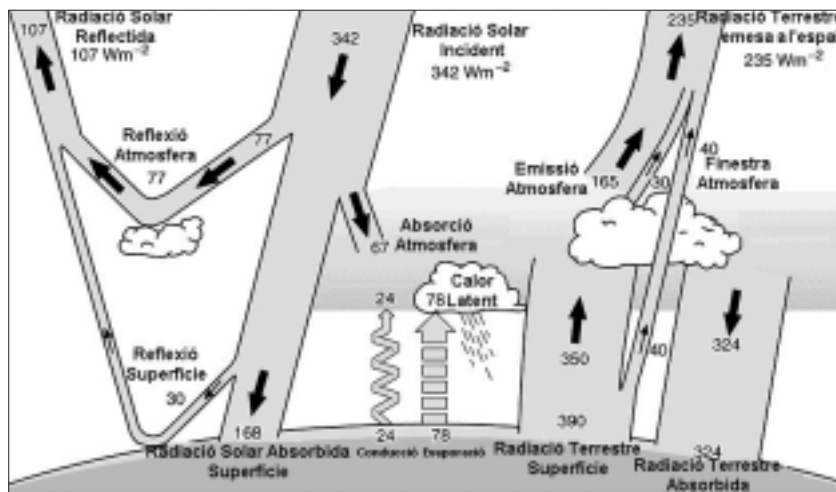


Figura A1.1. Balanç de radiació solar.
Font: Kiehl, J.T. i K.E.Trenberth, 1999.

xen i emeten radiació electromagnètica a la banda infraroja de l'espectre. Aquests gasos, que reben el nom de *gasos amb efecte d'hivernacle*, absorbeixen part de la radiació terrestre d'ona llarga procedent de la superfície i de l'atmosfera, i també emeten radiació infraroja en totes direccions, en particular cap a la superfície terrestre, produint un escalfament de la temperatura del planeta. Aquest és el procés conegut com efecte d'hivernacle.

Quan es parla de variabilitat climàtica es fa referència a les variacions del clima respecte de l'estat mitjà de l'atmosfera, en totes les escales temporals i espacials, que siguin d'interès climàtic. La variabilitat climàtica pot produir-se per causes externes al sistema climàtic (variabilitat externa), com el canvi de les característiques orbitals de la Terra al voltant del sol o la variació de l'energia rebuda del sol, o per causes internes (variabilitat interna), com la modificació de la composició de l'atmosfera.

L'aportació d'energia que fa el sol és fonamental per al clima, per la qual cosa per entendre tant els canvis que ha experimentat el clima en el passat com els que podria experimentar en el fu-

tur cal conèixer quines variacions es produeixen en la radiació procedent del sol. La radiació solar contribueix de forma molt substancial a l'anomenada variabilitat natural del clima, és a dir, la variació que aquest experimenta per causes naturals no antròpiques (entre les quals també cal incloure les erupcions volcàniques).

A mitjans del segle XIX, el matemàtic francès Joseph A. Adhémard, motivat per l'estudi de les glaciacions i llur causes, va formular la hipòtesi que aquestes podrien ésser degudes a les variacions d'intensitat de les estacions provocades per factors astronòmics. L'astrònom Milutin Milankovitch va refinar i formalitzar la hipòtesi entre els anys 1920-1930, i va proposar un mecanisme astronòmic que constava de tres components: la inclinació de l'eix de rotació de la Terra, la forma de l'òrbita terrestre i la precessió de l'eix de rotació de la Terra.

En relació al primer component, l'eix de rotació de la Terra, actualment presenta una inclinació de $23,5^\circ$ respecte la perpendicular al pla de l'òrbita terrestre al voltant del sol. Durant un any, la orientació de l'eix roman pràcticament constant. Al llarg del temps, però, aquesta inclinació fluc-

tua poc a poc des de 21,5° fins a 24,5°, amb un període de 41.000 anys. La inclinació de l'eix de rotació amb el pla de l'òrbita és la causa que hi hagi estacions. Com més gran és aquesta inclinació més grans són els canvis estacionals, és a dir, els estius són més càlids i els hiverns més rigorosos.

El segon factor que també afecta les característiques de les estacions és la forma de l'òrbita terrestre. Amb un període de 100.000 anys, l'òrbita es fa més el·líptica o més circular. El paràmetre que mesura l'el·lipticitat de l'òrbita és l'excentricitat, que consisteix en el quocient entre la longitud de l'eix gran i de l'eix petit de l'el·lipse. Per a una circumferència, un cas particular i trivial d'el·lipse, la excentricitat és 1, mentre que per a una el·lipse l'excentricitat és un número més gran que 1. En augmentar l'excentricitat de l'òrbita, augmenta la diferència de distàncies entre la Terra i el sol en els seus punts més pròxim i més allunyat, amb què s'intensifiquen també les estacions en el cas de creixement de l'excentricitat i es moderen en l'altre.

Actualment, la Terra arriba al punt més allunyat del sol a l'hivern de l'hemisferi sud, per la qual cosa els hiverns australs són una mica més freds i els estius una mica més càlids que els corresponents de l'hemisferi nord.

El tercer factor astronòmic introduït per Milankovitch és la interacció entre els efectes de la inclinació i l'excentricitat: la precessió orbital que correspon a la rotació al voltant de l'eix perpendicular al pla de l'òrbita, amb un període de 23.000 anys. La precessió és el moviment que determina si l'estiu en un hemisferi correspon a un punt proper o allunyat de l'òrbita al voltant del sol.

Els càlculs realitzats per Milankovitch sobre l'acció combinada d'aquests tres factors el portaren a preveure que induïen variacions suficients en la radiació solar que arriba a la Terra com per permetre que les grans masses de gel avancin o

retrocedeixin i, per tant, configurin allò que es coneix com a períodes glacials. En el moment de formular aquesta hipòtesi, però, no es disposava de cap registre independent de les glaciacions que la pogués confirmar (registre existent actualment gràcies a mètodes de datació i caracterització dels períodes climàtics independents). Per tant, avui es creu que les variacions astronòmiques són un dels factors essencials per a entendre l'evolució dels climes del passat.

Hi ha un altre factor que afecta l'evolució del clima si bé en una escala temporal diferent, molt més petita, que les variacions associades als canvis orbitals proposats per Milankovitch. Ens referim a la variació de la radiació emesa pel sol com a conseqüència de l'activitat solar. Les primeres indicacions sobre una activitat solar canviant daten de l'any 1843, quan un farmacèutic alemany, observador astronòmic aficionat, va anunciar que el nombre de taques fosques visibles al disc solar semblava seguir un cicle de 10 anys. Rudolf Wolf, director de l'observatori de Zuric, a mitjans del segle XIX va seguir l'evolució diària del nombre de taques solars i compilà la història recent del nombre de taques solars basada en arxius històrics que abasten un període d'aproximadament dos segles.

Amb totes les reserves que una anàlisi d'aquest tipus pugui induir, el que es va obtenir va ser un registre de l'evolució de les taques solars dels inicis del segle XVII. La gràfica del cicle de taques solars des de l'any 1610 mostra que el nombre de taques ha oscil·lat des d'aproximadament el 1715. Durant els tretze cicles de dades fidedignes recollits des de 1848, la longitud del cicle ha variat entre els 10 i els 12 anys. L'amplitud del cicle, és a dir, el nombre de taques solars, s'ha mostrat menys regular, oscil·lant entre les 45 taques dels anys 1804 i 1818 fins a un màxim de 190 taques el 1957.

Les variacions regulars del cicle de taques solars experimenten un comportament singular justament al començament, entre els anys 1645 i

1715. Durant aquest període és notable l'absència de taques, la qual cosa s'associa a un mínim de l'activitat solar i, en conseqüència, a una davallada en l'energia procedent del sol. Aquest període històric, des del punt de vista climàtic, s'anomena el *mínim de Maunder*, en honor de l'astrònom britànic E. Walter Maunder, que en va fer notar l'existència. Aquest mínim va tenir lloc entre el segle XVI i l'inici del segle XVIII, en un període de temps caracteritzat per temperatures notablement baixes que, per aquest mateix motiu, va rebre el nom de *Petita edat de gel*. Tot i que la relació causa-efecte entre ambdós fenòmens és altament especulativa, no deixa de ser una hipòtesi interessant que confirma la correlació entre variacions de la radiació solar i alguns episodis climàtics.

La recerca de dades sobre l'activitat passada del sol no es limita als registres històrics. Així, per exemple, existeix un registre notablement llarg de l'activitat solar encapsulat en les concentracions històriques del carboni 14, isòtop radioactiu del carboni 12. La producció del carboni 14 a l'atmosfera terrestre està determinada pel flux de partícules que formen part dels raigs còsmics galàctics, procedents en bona part de l'exterior del sistema solar. L'activitat solar, que caracteritza el camp magnètic de l'estel modula el nombre de partícules que entren a l'atmosfera terrestre i, per tant, la quantitat de carboni 14 existent en un període climàtic concret pot associar-se a una determinada activitat solar.

Les plantes, en la fotosíntesi, absorbeixen diòxid de carboni, és a dir, absorbeixen àtoms de carboni. El carboni absorbit conté carboni 12, però també altres isòtops en proporcions que depenen directament de la seva presència a l'atmosfera. Per tot això, és possible establir un registre indirecte de l'activitat solar durant els últims mil·lenis estudiant la concentració relativa de carboni 14 en els anells dels arbres més vells.

Aquests estudis varen permetre constatar, sense cap mena de dubte, que el mínim de Maunder

coincidir amb les espectaculars reduccions en l'activitat solar. A més, es va observar que aquest episodi d'activitat solar especialment baixa no va ser únic: un altre episodi, el mínim de Spörer, va tenir lloc entre 1450 i 1550. Així mateix, es va produir un llarg període d'activitat solar entre els anys 1100 i 1250, que va coincidir amb un clima càlid que probablement va possibilitar els viatges dels vikings entre Groenlàndia i Amèrica del Nord. Si aquestes variacions regulars de l'activitat solar fossin certes i continuessin produint-se, probablement durant el segle XX s'hauria d'haver produït un altre període de calma en l'activitat solar i, per tant, un període de refredament del clima.

No és però fins fa poc més de trenta anys que es té un registre instrumental de les variacions de la constant solar a partir de mesures proporcionades per diferents satèl·lits, les quals mostren que anualment la constant solar varia, de mitjana, un 0,08% (al voltant de $1,1 \text{ Wm}^{-2}$) entre el mínim i el màxim del cicle solar. Si s'ajunten les dades instrumentals, convenientment calibrades entre elles, i les dades assimilades comentades anteriorment s'obté la figura A1.2, on s'observa un canvi continu de la constant solar i un augment relatiu de la mitjana de la radiació del sol durant els darrers cent anys.

En aquest sentit, i d'acord amb els resultats dels treballs realitzats recentment, sembla que des de finals dels anys 80 la quantitat de radiació solar que ha emès el sol ha anat augmentant. Més concretament, s'ha pogut determinar que la quantitat de radiació emesa pel sol durant les fases de menor activitat ha augmentat un 0,05% cada deu anys (Willson, Mordvinov 2003), la qual cosa podria indicar que una part de l'escalament de l'atmosfera mesurat podria correspondre, justament, a l'augment de la radiació procedent del sol. No obstant això, actualment no es disposa de quantificacions fidedignes de la magnitud d'aquest impacte.

Una altra causa dels canvis que ha experimentat i que pot experimentar el clima són les activitats

antròpiques. Des de sempre, els éssers humans han influenciat el seu entorn, però és a partir de l'inici de la revolució industrial, fa una mica menys de tres-cents anys, que aquesta influència ha esdevingut d'escala planetària i ha arribat a produir canvis apreciables en la composició de l'atmosfera (en alguns dels seus elements minoritaris).

Així, per exemple, i tal i com mostra la figura A1.3, la concentració de diòxid de carboni a l'atmosfera creix amb una taxa d'augment d'un 0,5% anual, com a conseqüència de les activitats humanes, l'ús de combustibles fòssils i la desforestació.

Les concentracions dels òxids de nitrogen (NO i NO_2) i de monòxid de carboni també augmenten. Aquests gasos no són gasos amb efecte d'hivernacle però, en canvi, són compostos químicament actius que intervenen en la formació d'ozó a la troposfera, un gas que ha augmentat la seva concentració un 40% des dels períodes preindustrials. El NO_2 és un bon absorbent atmosfèric, com també ho són els halocarburs (els CFC), els quals a banda d'induir la desaparició de l'ozó estratosfèric, també són gasos amb fortes bandes d'absorció a la zona infraroja de l'espectre electromagnètic. El metà (CH_4) ha passat d'una concentració mitjana de 700 ppb abans de la revolució industrial a les 1.750 ppb actuals, el que significa un increment del 150%. Aquest increment s'ha produït com a conseqüència del creixement de les emissions procedents del tractament de residus i de la ramaderia i l'agricultura, especialment del cultiu de l'arròs.

Així mateix, un altre impacte important associat a les activitats humanes és l'emissió d'aerosols, en forma de sulfats, nitrats, pols mineral i sutge. El seu temps de residència atmosfèric és petit, la qual cosa fa que la seva distribució espacial i temporal sigui molt diversa i que, per tant, es faci difícil generalitzar. Tot i així es pensa que tenen un efecte significatiu en la reflexió de la radiació solar i en la modificació de les caracterís-

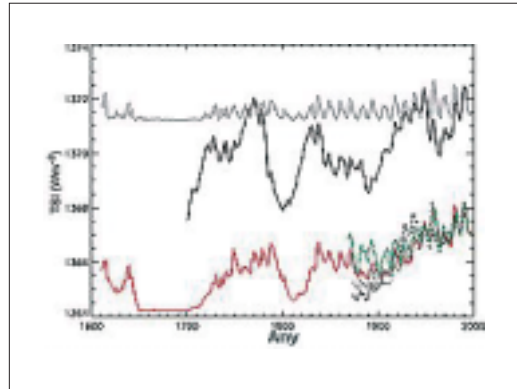


Figura A1.2. Reconstruccions de la irradiància solar total.
Font: Houghton, 2001.

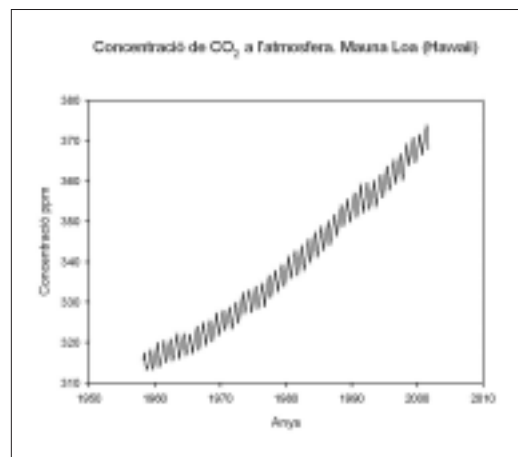


Figura A1.3. Contingut de CO_2 de l'atmosfera.
Font: Elaboració pròpia a partir de dades de CMDL-NOAA.

tiques dels núvols, la qual cosa influencia el balanç radiatiu a la superfície terrestre.

Una altra causa que influencia la variabilitat climàtica són els canvis en els usos del sòl, que comporten transformacions de les propietats físiques i biològiques de la superfície terrestre, com poden ser l'albedo o l'evapotranspiració, per exemple.

A1.2.4. Les retroaccions del sistema climàtic

Els acoblaments que hi ha entre les diferents parts del sistema climàtic són complexos i fre-

qüentment no lineals. Aquests acoblaments els descrivim mitjançant una sèrie de processos –coneguts com retroaccions o *feedbacks*– que normalment, són els que determinen la sensibilitat climàtica. Una retroacció és positiva si el procés incrementa la magnitud de la resposta respecte el senyal que la provoca i és negativa si la redueix.

El concepte de sensibilitat climàtica pot usar-se per determinar quins processos climàtics han de considerar-se primer i quins poden negligir-se, en una primera aproximació. La sensibilitat pot usar-se també com una mesura objectiva dels canvis del clima quan es deixa evolucionar una de les variables (eventualment independent) que el controla. Aquests conceptes es poden il·lustrar amb un exemple: es pot pensar quina és la variació de la temperatura mitjana superficial si canvia la constant solar. Doncs bé, la temperatura superficial no és una funció directa exclusivament de la constant solar sinó que depèn d'altres variables com són la quantitat de vapor d'aigua i altres gasos causants de l'efecte d'hivernacle, la núvolositat, la coberta de gel, la vegetació, etc. És a dir, un canvi en la constant solar fa variar la temperatura, però la variació en la temperatura augmenta o disminueix l'evaporació, la qual cosa augmenta o disminueix la capacitat d'absorció de radiació terrestre de l'atmosfera i, conseqüentment, la temperatura. Aquest és un exemple d'una retroacció positiva ja que un augment de la temperatura eventualment produït per l'arribada de més radiació solar és amplificat per un increment en l'evaporació i per un augment de la capacitat de l'atmosfera d'absorbir radiació. En canvi, la major quantitat de vapor d'aigua a l'atmosfera com a conseqüència d'un primer escalfament pot propiciar un increment de la condensació de núvols, que al seu torn augmentaria la reflexió de la radiació solar i, per tant, conduiria a un refredament de l'atmosfera. Aquest darrer és un exemple de retroacció negativa.

La sensibilitat climàtica es defineix, doncs, com el quocient entre la resposta del clima a una pertor-

bació i es quantifica mitjançant un paràmetre λ que s'acostuma a mesurar en unitats de $(\text{Wm}^{-2})^{-1}$ que representa els graus de temperatura que varia el clima per Wm^{-2} de pertorbació.

A continuació es descriuen separatament les principals retroaccions del sistema climàtic i s'aporten els valors del paràmetre de sensibilitat.

A1.2.4.1. Retroacció de Stefan-Boltzmann

La radiació solar arriba a la superfície terrestre i en provoca l'escalfament. Atès, doncs, que la superfície terrestre emet radiació d'ona llarga proporcionalment a la quarta potència de la temperatura seguint la llei de Stefan-Boltzmann, com més alta és la temperatura més gran és l'emissió.

Aquesta retroacció negativa porta a calcular la sensibilitat ($\lambda_{\text{S-B}}$), que té un valor de 0,26 $\text{K}(\text{Wm}^{-2})$, que vol dir que la temperatura augmenta 0,26 graus per cada watt per metre quadrat d'augment de la radiació solar. Per tant, si només es té en compte l'efecte d'emissió, la constant solar hauria d'augmentar un 1,6% per tal es produís un canvi d'un grau en la temperatura del planeta. Aquesta xifra mostra que, d'acord amb aquest procés, el clima és molt estable, ja que difícilment s'assoliran canvis d'aquesta magnitud en la constant solar. Altrament, en base a aquest mecanisme és també difícil reproduir els canvis experimentats durant el passat, tot indicant, per tant que, en el sistema climàtic, hi ha d'haver fenòmens de retroaccions més intensos.

A1.2.4.2. Retroacció del vapor d'aigua

Un altre dels processos de retroacció més importants del clima –en aquest cas positiva– és la dependència del contingut màxim de vapor d'aigua de l'atmosfera (la pressió de vapor de saturació) respecte la temperatura. Així, a mesura que la temperatura creix, la quantitat de vapor d'aigua de l'aire saturat és més gran. En aquest sentit, cal tenir present que el vapor d'aigua és el principal gas amb efecte d'hivernacle i, per

tant, l'augment del vapor d'aigua a l'atmosfera fa créixer la seva capacitat de captació d'energia terrestre.

D'acord amb les relacions que ens proporciona la termodinàmica, un canvi de temperatura d'un 1% (és a dir, uns tres graus) porta associat un canvi d'un 20% en la pressió de vapor de saturació. No obstant això, s'observa que la humitat relativa de l'atmosfera a les latituds mitjanes i altes tendeix a romandre constant encara que l'aire experimenti grans variacions estacionals. Aquest fet ha portat a nombrosos equips (sobretot els que treballen amb els models de baixa resolució) a afirmar que la humitat relativa de l'atmosfera roman constant, malgrat que la temperatura i la quantitat absoluta de vapor d'aigua a l'atmosfera augmentin. Tanmateix, els models de circulació general atmosfèrica no han estat capaços de reproduir aquest comportament de la humitat relativa atmosfèrica amb una confiança absoluta, principalment a causa de les nombroses incerteses existents sobre el cicle hidrològic a la superfície i sobre els fluxos de vapor d'aigua entre l'oceà i l'atmosfera.

Si es té en compte l'evolució de la quantitat de vapor d'aigua a l'atmosfera segons les consideracions anteriors, juntament amb la retroacció de Stefan-Boltzmann, l'efecte combinat d'aquest augment i de l'ajustament de la radiació terrestre als canvis de la constant solar porten a obtenir una sensibilitat climàtica conjunta ($\lambda_{S-B-vap}$) de $0,5 \text{ K(Wm}^{-2}\text{)}^{-1}$. Si comparem aquest resultat amb l'anterior (λ_{S-B}), es constata que l'efecte del vapor d'aigua a l'atmosfera gairebé dobla la sensibilitat de l'ajustament radiatiu tot sol.

A1.2.4.3. Retroacció gel-albedo

El gel és una superfície que actua com a aïllant i, al mateix temps, com a element reflectant de la radiació solar. Això fa que en latituds elevades el gel del mar sigui un gran modulador de l'intercanvi d'energia entre l'oceà i l'atmosfera. A l'hivern, quan hi ha entre un 1% i un 2% de la superfície de gel amb aigua lliure (a l'estiu aquest

percentatge augmenta) la superfície del gel controla l'intercanvi de calor entre l'oceà relativament calent i la freda atmosfera.

Les observacions experimentals i els models indiquen que els fluxos de calor sensible són un o dos ordres més grans a la superfície de l'aigua lliure que a la superfície del gel. Per tant, és important de tenir en compte aquest fet en la simulació climàtica, encara que no sigui del tot ben conegut, atès que la predicció de la distribució de les zones d'aigua lliure i de les característiques del gel és complexa i depèn substancialment de la dinàmica del gel influenciada pel vent i el moviment d'arrossegament de l'aigua.

Els efectes físics de l'expansió de la cobertura del gel a la superfície terrestre han estat una explicació habitual de com s'han pogut mantenir les condicions de les glaciacions. Un dels efectes claus de la coberta de gel i de neu és la seva contribució al valor de l'albedo planetari, tot i que aquest també està condicionat per la coberta vegetal i les seves característiques. Típicament, l'albedo del mar en latituds elevades és del 10%, mentre que l'albedo típic de les superfícies gelades a les mateixes latituds és del 60%. En els episodis de grans glaciacions que s'han produït al nostre planeta, en disminuir la temperatura la superfície coberta pels gels creixia i augmentava la quantitat de radiació solar reflectida a l'espai exterior. La conseqüent reducció de l'energia solar absorbida produïa un refredament addicional, conformant una retroacció positiva.

L'anàlisi d'aquest mecanisme de retroacció s'ha realitzat sobretot mitjançant els models de balanç d'energia, en els quals la crosta de gel, com la temperatura, depèn de la latitud. Aquests models indiquen que una reducció d'un 1,6% de la constant solar comportaria que la Terra quedés coberta totalment pel gel. Aquest resultat és interessant en la mesura que indica que canvis petits en el balanç energètic de la superfície terrestre poden produir transicions entre períodes glaciàls i interglaciàls del clima. Finalment, cal

esmentar que a hores d'ara tots els models encara representen la crosta de gel d'una forma simple, com un bloc, sense tenir en compte que la capacitat de reflexió del gel no és homogènia i que la distribució de les zones d'aigua en els mars de gel és aleatòria. Els models de circulació general donen per a la sensibilitat d'aquest mecanisme (λ_g) un valor de $0,32 \text{ K (Wm}^{-2}\text{)}^{-1}$ en les regions polars.

A1.2.4.4. Retroacció per l'emissió d'ona llarga i l'evaporació als oceans

L'anàlisi de les dades dels oceans mostren que les temperatures dels mars tropicals han canviat poc (entre 1 i 2°C) durant els períodes glacials i interglacials i que, en canvi, als pols la temperatura ha canviat desenes de graus. Aquesta diferència que s'observa en la sensibilitat de les aigües tropicals i polars a determinats canvis climàtics pot explicar-se a partir dels efectes lligats al balanç d'energia a la superfície.

El balanç net d'energia a la superfície ha de tenir en compte tant l'escalfament solar com el refredament degut a l'evaporació, el balanç d'ona llarga, els corrents al mar i la calor sensible. Les xifres són les següents: 200 Wm^{-2} corresponen a l'escalfament solar, és a dir, l'entrada d'energia, que es compensa amb 120 Wm^{-2} de refredament per evaporació, 50 Wm^{-2} per emissió neta en ona llarga, 10 Wm^{-2} de refredament per conducció de la calor o refredament sensible i 20 Wm^{-2} transportat pels corrents de l'oceà. D'aquestes xifres, les dues més importants són les que corresponen a l'emissió neta d'ona llarga i el refredament per evaporació, que són les que poden afectar d'una forma més evident la temperatura superficial de l'aigua de l'oceà si canvien.

El balanç d'ona llarga es fa tenint en compte l'emissió de la superfície cap a l'atmosfera i l'emissió de l'atmosfera cap a la superfície. Per a temperatures inferiors a 7°C , quan la temperatura augmenta també ho fa el dèficit d'ona llarga de la superfície. A temperatures superiors a 7°C , la pèrdua d'energia per radiació d'ona llarga en

augmentar la temperatura disminueix ja que s'incrementa considerablement la quantitat d'energia que es rep de l'atmosfera com a conseqüència del creixement de la quantitat de vapor d'aigua atmosfèric.

D'acord amb aquests resultats, els fluxos de radiació d'ona llarga cap a la superfície i des de la superfície s'igualen a una temperatura d'aproximadament uns 40°C , mentre que les pèrdues d'ona llarga disminueixen més ràpidament, al voltant dels 30°C (la temperatura als tròpics). Així el balanç d'energia a la superfície és més efectiu a la temperatura dels tròpics i suposa un acoblament amb retroacció positiva. En efecte, si la temperatura augmenta el refredament net de la superfície disminueix, i d'aquesta manera accentua l'augment de la temperatura.

Com s'ha vist abans, el refredament induït per l'evaporació al tròpic és més gran que el refredament per efecte de l'emissió de radiació d'ona llarga. Si s'avalua la sensibilitat de l'evaporació –partint del supòsit que la humitat relativa es manté constant en augmentar la temperatura– es constata que, de mitjana, la variació de l'energia que s'evapora per metre quadrat i per grau d'augment de la temperatura en forma de calor latent és de $7 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$. Si es compara aquest valor amb el del canvi màxim d'escalfament per radiació d'ona llarga ($3 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$) es veu que el procés més important d'aquesta retroacció és l'evaporació, ja que el ritme de creixement del refredament per evaporació amb la temperatura és més del doble de la disminució del refredament de la superfície per emissió d'ona llarga. La superfície perd la seva capacitat de refredar-se per emissió d'ona llarga a mesura que la temperatura augmenta per sobre dels $27\text{-}30^\circ\text{C}$ però, en canvi, el refredament per evaporació augmenta molt ràpidament. Quan es tenen en compte els dos efectes s'obté un paràmetre de retroacció ($\lambda_{\text{evap-eoll}}$) amb un valor de $0,3 \text{ K (Wm}^{-2}\text{)}^{-1}$. Aquesta xifra mostra perquè la temperatura del mar tropical és estable i, per tant, ha canviat poc durant el passat.

A1.2.4.5. Retroacció dels núvols

En l'apartat anterior s'ha tractat la variació de l'evaporació com a conseqüència d'un augment de la temperatura. Aquesta retroacció positiva fa que, en principi, es vegi com a molt plausible la predicció d'un augment del vapor d'aigua a l'atmosfera i, per tant, una major capacitat de captar energia radiativa. Una altra conseqüència, però, prové d'un possible augment de la quantitat de núvols o, fins i tot, la seva qualitat, en el sentit que la variació mitjana del contingut de vapor d'aigua dels núvols provoqui un canvi en les seves propietats radiatives. Així, l'efecte radiatiu global dels núvols alts és un escalfament de l'atmosfera, ja que no representen un gran augment de l'albedo i, en canvi, absorbeixen més energia d'ona llarga terrestre. Per contra, l'efecte radiatiu dels núvols baixos és, en termes generals, un refredament de l'atmosfera, ja que representen un augment important de l'albedo.

D'acord amb el que s'ha apuntat en altres apartats, l'albedo de la Terra passa de 0,15 a 0,30 per l'acció dels núvols, i la capacitat de reduir o capturar radiació d'ona llarga és d'uns 30 Wm^{-2} , per la qual cosa es pot estimar que globalment els núvols redueixen en 20 Wm^{-2} , de mitjana, l'energia que es queda al sistema climàtic. És a dir, radiativament refreden l'atmosfera.

Si la quantitat i el tipus de núvols estan influïts pel clima, és possible que els núvols proporcionin el mecanisme de retroacció més potent dels que governen el clima. L'efecte net sobre el balanç energètic mitjà és de -20 Wm^{-2} , per la qual cosa l'efecte combinat d'ambdues característiques porta a un valor de -40 Wm^{-2} . D'aquesta manera, doncs, l'efecte d'una variació d'un 10% en els núvols seria de la mateixa magnitud que l'efecte que els models preveuen en el cas que es doblés la concentració de CO_2 a l'atmosfera. I disminuint un 10% la cobertura nuvolosa es doblaria l'efecte de doblar el diòxid de carboni a l'atmosfera.

No obstant això, aquestes xifres no són rotundes. Els models de circulació general que incor-

poren l'efecte dels núvols ho fan en formes diferents, uns caracteritzant-los mitjançant uns paràmetres i uns altres simulant els mecanismes microfísics de la seva formació. Els resultats que aporten els diferents models en relació als núvols són contradictoris. Alguns models apunten que, com a conseqüència de l'augment de l'efecte d'hivernacle, els núvols augmenten l'escalfament atmosfèric. Altres, en canvi, indiquen que els núvols exerceixen un efecte estabilitzador, per la qual cosa en augmentar els gasos amb efecte d'hivernacle i escalfar-se l'atmosfera es generen més núvols i aquests tendeixen, globalment, a refredar-la.

En aquest apartat no s'intenta fer una relació completa de tots els processos físics lligats a la formació dels núvols que es qüestionen, però els més importants dels quals depèn la retroacció són la quantitat de núvols i l'alçada a la qual es formen, el seu contingut en vapor d'aigua, els canvis en la freqüència de formació d'un tipus de núvols determinat i, fins i tot, l'hora del dia en què es formen. Tot i les discrepàncies entre els diversos models, hi ha el convenciment general que els núvols tendeixen a estabilitzar o a reduir els canvis produïts per l'augment de la presència dels gasos amb efecte d'hivernacle a l'atmosfera.

A1.2.4.6. Retroaccions biogeoquímiques

El sòl també conté alguns efectes de retroacció que poden ajudar a modular les formes del canvi, tot i que energèticament no representa un magatzem d'energia tan gran com els oceans. El clima de la Terra ha estat modulats per l'activitat biològica, la qual juga un paper important en la sensibilitat del clima. Les plantes i els animals poden influir la sensibilitat climàtica de diverses maneres, la més forta i directa de les quals pot ser, segurament, l'efecte sobre la composició de l'atmosfera. La concentració de CO_2 a l'atmosfera està controlada per un conjunt de processos molt complex, però el factor clau és l'absorció d'aquest gas per part dels vegetals a la superfície de l'oceà i a la terra. En aquest sentit, s'ha estimat que la meitat del refredament global produït

durant el darrer període glacial es pot atribuir a la reducció del diòxid de carboni causada per una alteració química i biològica dels oceans.

La primera font de nuclis de condensació de gotes dels núvols sobre els oceans és conseqüència de la producció, per part de petits organismes, de gasos sulfurosos en aigües superficials. A l'atmosfera, aquests gasos es converteixen en partícules d'àcid sulfúric, que posteriorment formen els nuclis al voltant dels quals es condensa el vapor d'aigua. Les gotes tendeixen a ser més petites si hi ha més nuclis de condensació disponibles, la qual cosa influeix sobre les característiques del núvol, com per exemple, el seu albedo i en la facilitat amb què el núvol indueix precipitació. En efecte, com més petits i més abundants siguin els nuclis de condensació del núvol, més gran és el seu albedo. Així doncs, s'espera que una producció més elevada de gasos sulfurosos portarà a albedos dels núvols més grans sobre els oceans i per tant, també a un efecte estabilitzador del clima. Si el ritme de producció de gasos sulfurosos depèn de la temperatura aleshores tenim un mecanisme de retroacció. No obstant això, la magnitud d'aquest efecte encara no s'ha quantificat, com tampoc es coneix quin és el seu signe.

Si el creixement de la vegetació és estimulat pels nivells més alts de diòxid de carboni, la importància d'aquest gas pel que fa a l'escalfament de l'atmosfera es veuria reduïda, ja que la vegetació juga un paper important en la quantitat de CO₂ atmosfèric. El carboni orgànic del sòl conté els dos terços del carboni de l'ecosistema terrestre i té temps de residència a l'atmosfera molt llargs. Per tant, s'estudien les variacions del creixement i de la transpiració de diferents espècies de plantes amb relació a diferents concentracions de CO₂ a l'atmosfera. De la mateixa manera, els canvis en la vegetació també poden afectar la variació de les característiques de les zones arbrades i la seva distribució per tot el planeta. L'augment de l'àrea ocupada per prats i zones desèrtiques a les latituds subtropicals, amb un albedo més gran, pot compensar la davallada de l'albedo a les zo-

nes polars, atès que la superfície ocupada pels gels és més reduïda.

A1.3. Anàlisi científica del canvi climàtic

Darrerament s'estan fent nombroses observacions per tal d'obtenir constatacions experimentals dels senyals del canvi climàtic d'origen antròpic, tant directes (de variables climàtiques) com indirectes (de diferents magnituds relacionades amb el clima). Estrictament a tall d'exemple, i sense cap pretensió d'exhaustivitat, es pot esmentar les diverses i nombroses determinacions de la temperatura de l'atmosfera i dels oceans, a la superfície o en altres zones, les determinacions dels canvis de les precipitacions i de la humitat atmosfèrica, la quantificació del nombre i la intensitat de les tempestes tropicals, la mesura de la freqüència i intensitat dels episodis de *El Niño*, la determinació dels períodes de floració i de caiguda de la fulla de determinades espècies arbòries, la incidència de l'extensió de determinades malalties i plagues agrícoles, etc. Cadascuna d'aquestes mesures ha de ser analitzada amb detall ja que sovint és difícil atribuir la causa del canvi dels paràmetres que caracteritzen els diferents sistemes a un únic fenomen.

La figura A1.4, una de les figures més reproduïdes durant els darrers anys, mostra el registre instrumental de la temperatura atmosfèrica superficial mitjana des de 1860 fins l'any 2000 comparada amb la mitjana de 1961 fins a 1990. En aquest registre es calcula que des de 1860 s'ha experimentat un augment de la temperatura superficial del continent i de l'oceà de $0,61 \pm 0,16^\circ\text{C}$.

Per tal d'analitzar la producció científica i tots els aspectes relacionats amb el canvi climàtic d'origen antròpic, les Nacions Unides i l'Organització Meteorològica Mundial varen crear, l'any 1988, el Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (IPCC)¹. En el seu document fundacional, s'estableix que aquest òrgan té el mandat de proporcionar als polítics un assessorament

1. En anglès, *Intergovernmental Panel on Climate Change*.

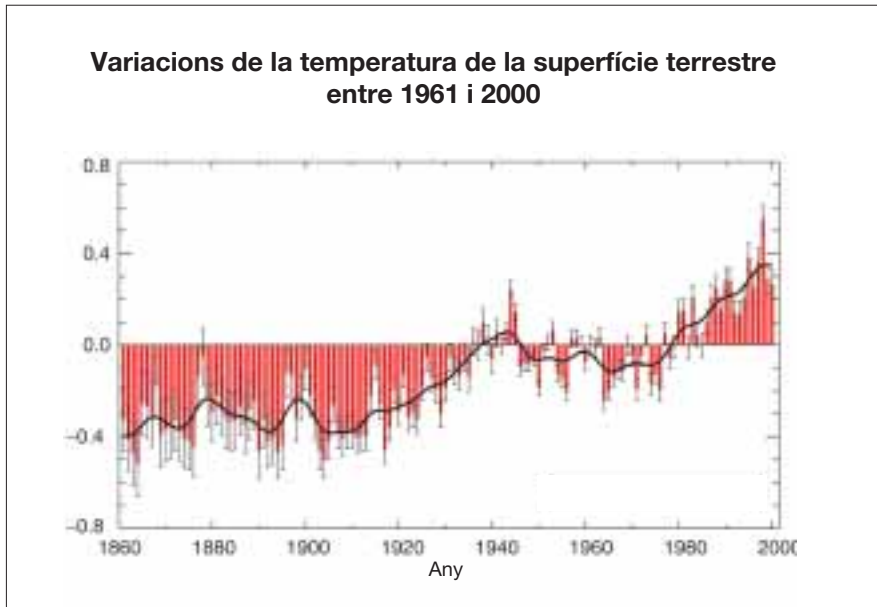


Figura A1.4. Temperatura superficial de l'atmosfera.
Font: IPCC, 2001a.

objectiu sobre la informació científica, tècnica i socio-econòmica disponible amb relació al canvi climàtic d'origen antròpic, sobre els seus impactes ambientals i socioeconòmics i sobre les diverses respostes possibles per afrontar el problema. En aquest sentit, l'IPCC elabora uns informes globals molt complets sobre l'estat de la qüestió del canvi climàtic d'origen antròpic cada cinc anys, el primer dels quals fou publicat l'any 1990, el segon el 1995 i el tercer el 2001. A títol purament il·lustratiu, cal apuntar que aquest tercer informe té un total de 2.665 pàgines, 881 de les quals estan dedicades íntegrament a descriure i analitzar l'estat de la ciència del canvi climàtic en el moment de tancar l'informe, l'any 2000 (IPCC, 2001a).

A banda d'aquests informes globals, l'IPCC també elabora informes específics sobre diversos temes relacionats amb el canvi climàtic com, per exemple, l'efecte de l'aviació sobre l'atmosfera global, els efectes d'aquest fenomen sobre la biodiversitat o sobre aspectes metodològics dels inventaris d'emissions, entre altres.

L'IPCC s'organitza en tres grups de treball. El grup de treball I (WG I) tracta de la ciència del canvi climàtic, el grup de treball II (WG II) analitza els impactes del canvi climàtic i les opcions d'adaptació als canvis i, finalment, el grup de treball III (WG III) tracta de les opcions polítiques i tecnològiques de mitigació del canvi climàtic d'origen antròpic. Cada un d'ells està constituït per científics de tots els estats que pertanyen a l'Organització de les Nacions Unides, escollits per la seva expertesa en aquest àmbit. A tall d'exemple, el primer volum del tercer informe de l'IPCC, publicat l'any 2001 i que reuneix els treballs del WG I (Houghton, 2001), va ser coordinat per 123 persones, mentre que en la redacció dels seus continguts van intervenir-hi 516 autors, la seva revisió completa va anar a càrrec de 21 editors, i més de 700 científics d'arreu del món van revisar-ne els continguts.

A1.4. Escenaris climàtics

Les emissions antròpiques de gasos amb efecte d'hivernacle poden estimar-se amb una certa fiabilitat a partir de dades globals de consum de

combustibles fòssils i de la seva distribució en els diferents sectors d'activitat. En canvi, la taxa de creixement de la concentració d'aquests gasos a l'atmosfera és molt més difícil de determinar, ja que requereix estimacions de les taxes de deposició associades a la pluja, la sedimentació, la fotòlisi i la fotosíntesi, les quals són difícil de quantificar. Alguns compostos, com els halocarburs, per exemple, tenen un temps de vida de l'ordre de centenars d'anys, i els gasos poden acumular-se indefinidament. La vida mitjana del metà, en canvi, és de pocs anys, però el producte de la seva oxidació a l'estratosfera és el vapor d'aigua, un altre gas amb una contribució important a l'efecte d'hivernacle.

Per tant, la quantificació exacta de la concentració dels gasos amb efecte d'hivernacle ha de considerar tot el seu cicle en el sistema climàtic i això és difícil d'assolir de forma exacta, atesos també els nombrosos processos de retroacció que contenen. Així, per exemple, el CO_2 atmosfèric és un gas que té un temps de residència a l'atmosfera de l'ordre d'anys i interacciona amb els oceans i la biosfera. A més, si contribueix a l'escalfament de l'atmosfera també induïx una major capacitat d'aquesta de contenir vapor d'aigua, la qual cosa provoca encara més escalfament, o, per contra, com més vapor d'aigua a l'atmosfera més núvols hi ha, els quals poden produir un augment de l'albedo i, per tant, un cert refredament del clima del planeta. Les diferents retroaccions i els acoblaments entre els diferents sistemes que conformen el sistema climàtic formen, per tant, un conjunt de relacions complexes de descriure quantitativament i, per descomptat, de resoldre de forma analítica.

Malgrat aquesta complicació sobre l'evolució del sistema climàtic, és imprescindible disposar d'eines de simulació que permetin fer avaluacions prospectives de l'evolució futura del clima. Un dels elements imprescindibles és el coneixement de la composició de l'atmosfera de cara al futur, i per això s'utilitzen el que s'ha anomenat escenaris, diferents imatges formulades per l'IPCC de

com podria evolucionar la composició atmosfèrica en base a previsions o prospeccions de l'evolució econòmica, social i tecnològica de la societat. D'aquesta manera, els escenaris aporten una eina per avaluar les conseqüències climàtiques i ambientals de les hipotètiques futures emissions dels gasos amb efecte d'hivernacle i per provar i assessorar estratègies d'adaptació i de mitigació als canvis que pugui comportar aquest fenomen.

Amb aquests escenaris, l'IPCC també pretén aportar uns nivells de referència comuns per a tots els grups de recerca que treballen en la simulació del clima. D'aquesta manera els seus resultats són comparables i significatius entre ells.

Actualment l'IPCC considera quatre famílies d'escenaris, les quals generen sis grups d'escenaris que s'han desenvolupat per caracteritzar de forma consistent les relacions existents entre les forces que produeixen les emissions de gasos i la seva evolució, reproduint les diferents condicions demogràfiques, socials, econòmiques, tecnològiques i ambientals que es preveuen per a un futur proper. La figura A1.5 mostra esquemàticament la distribució dels grups d'escenaris. Així mateix, la taula A1.1 recull un resum de les característiques més importants de cadascun d'ells.

A1.5. Els models del clima

Els models climàtics constitueixen una eina molt útil per poder interpretar les observacions sobre l'evolució del clima i avaluar l'impacte de les pertorbacions antròpiques en el sistema climàtic, calculades mitjançant els escenaris esmentats anteriorment i tenint en compte la representació matemàtica dels processos que tenen lloc en aquest mateix sistema. Aquesta representació matemàtica consisteix en el conjunt d'expressions de la termodinàmica, els moviments dels fluids, les reaccions químiques i la transferència radiativa del clima de la Terra, formulades en termes de codi informàtic. L'objectiu de la representació és calcular l'estat contínuament canviant de l'atmosfera global, de

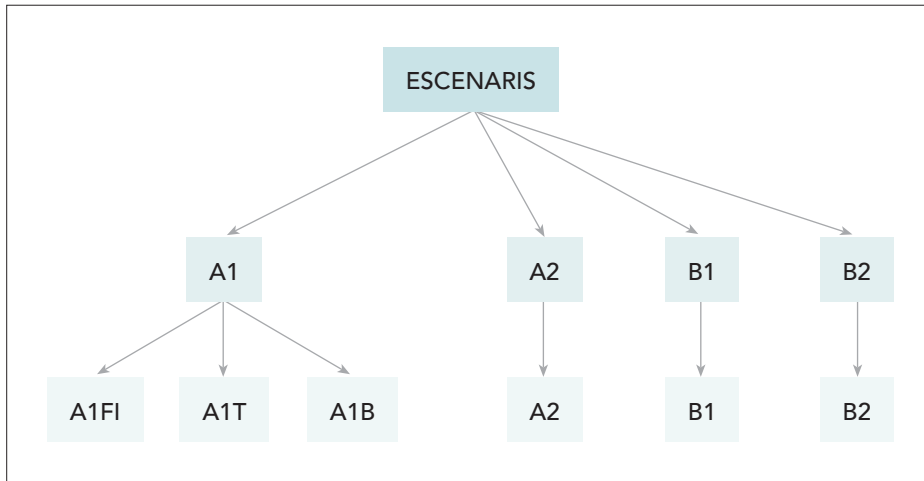


Figura A1.5. Escenaris plantejats per l'IPCC 2000. Els escenaris es divideixen en quatre famílies:

A1: descriu un món futur de creixement econòmic ràpid, una demografia que assoleix un màxim a mitjans de segle i una introducció ràpida de noves i tecnologies més eficients. La família A1 es desenvolupa en tres grups: **A1FI** (energies fòssils), **A1T** (totes les fonts són d'energia alternativa) i **A1B** (balanç entre les energies fòssils i les alternatives).

A2: descriu un món heterogeni amb un creixement econòmic i un desenvolupament tecnològic, demogràfic i cultural dels països molt diferent a tot el món.

B1: conté els escenaris que contempen una homogeneïtzació econòmica, tecnològica, demogràfica i social del món amb canvis ràpids en les estructures econòmiques i amb tecnologies netes i eficients.

B2: contempla un món que posa èmfasi en les solucions locals als problemes de sostenibilitat econòmica, social i ambiental. És un escenari orientat a la protecció ambiental i a l'equitat social, que es focalitza, però, a escala local i regional.

Font: IPCC, 2000.

l'oceà, del continent i de la superfície de gel, responen als canvis externs i interns que es produeixen en el si del sistema climàtic tant per causes naturals com antròpiques.

Les equacions que descriuen els processos bàsics del sistema climàtic no tenen solució analítica. Per això es resolen numèricament mitjançant tècniques matemàtiques ben establertes. Els models atmosfèrics divideixen tot el globus en una xarxa tridimensional de petites cel·les, que en els models actuals tenen uns 250 km de costat en la direcció horitzontal i que verticalment es divideixen entre 10 i 30 nivells. Els models dels oceans tenen una resolució espacial horitzontal, de 125 a 250 km, i una resolució vertical d'entre 200 i 400 metres. Actualment, els models climàtics més complexos són els anomenats *models acoblats oceà atmosfera (AOGCM)*, que contenen una representació tridimensional de l'atmosfera i de l'oceà i que funcionen a partir

d'un model atmosfèric i un model oceànic que s'acoblen periòdicament.

No obstant això, no tots els models són models complexos amb gran resolució. Es poden fer moltes simplificacions de la representació del sistema climàtic que redueixen la complexitat de la descripció i la resolució, però que aporten informació útil i interessant per analitzar, per exemple, els impactes del canvi climàtic, les conseqüències, dels acords de Kyoto pel que fa a l'augment de la temperatura i l'ascens del nivell del mar o els costos de la reducció d'emissions.

Els models són importants en la mesura que són l'únic instrument disponible actualment per simular l'evolució del clima i estudiar la seva sensibilitat respecte a canvis que es puguin produir en diferents variables. És molt important, per tant, saber quina confiança podem tenir en un model determinat, si representa adequadament

Escenaris d'emissió	Població global (milers de milions d'habitants)	PIB global	Taxa països desenvolupats/països en vies de desenvolupament	CO ₂ (ppm)	Variació de la temperatura a escala global (en °C)	Ascens global del nivell del mar (en cm)
1990	5,3	21	16,1	354	0	0
2000	6,1-6,2	25-28	12,3-14,2	367	0,2	2
2050						
- SRESAA1F1	8,7	164	2,8	573	1,9	17
- SRESAA1B	8,7	181	2,8	536	1,6	17
- SRESAA1T	8,7	187	2,8	502	1,7	18
- SRESA2	11,3	82	6,6	536	1,4	16
- SRESB1	8,7	136	3,6	491	1,2	15
- SRESB2	9,3	110	4,0	478	1,4	16
- IS92a	10,0	92	9,6	512	1,0	-
- SRES-min	8,4	59	2,4	463	0,8	5
- SRES-màx	11,3	187	8,2	623	2,6	32
2100						
- SRESAA1F1	7,1	525	1,5	976	4,5	49
- SRESAA1B	7,1	529	1,6	711	2,9	39
- SRESAA1T	7,1	550	1,6	569	2,5	37
- SRESA2	15,1	243	4,2	857	3,8	42
- SRESB1	7,0	328	1,8	538	2,0	31
- SRESB2	10,4	235	3,0	615	2,7	36
- IS92a	11,3	243	4,8	721	2,4	-
- SRES-min	7,0	197	1,4	478	1,4	9
- SRES-màx	15,1	550	6,3	1.099	5,8	88

Taula A1.1. Descripció de les característiques dels sis grups d'escenaris de l'IPCC, juntament amb els valors màxims i mínims de tots ells i els valors proposats per l'escenari més utilitzat fins ara, plantejat l'any 1992 (IS92a)

Font: elaboració pròpia a partir de les dades de McCarthy et al., 2001.

el sistema climàtic globalment o si, específicament, descriu i preveu algun procés específic. Així, per tal de ser avaluats, els models creen una realitat sintètica que pugui ser comparable amb la realitat observada. De la mateixa manera, utilitzant els mateixos escenaris també és possible comparar els diversos els models entre ells.

D'altra banda, la simulació precisa del clima actual no garanteix que el model simuli amb exactitud el clima del futur. Efectivament, fins ara els models s'havien limitat a simular el clima des de 1850 fins a l'època actual. No obstant això, les

condicions futures poden sotmetre al sistema climàtic a una situació que no estigui ben representada per les condicions durant aquest període. Per això mateix, darrerament hi ha hagut molt interès en comparar les condicions actuals amb les de períodes climàtics més extensos i amb condicions diferents a les d'ara. En aquesta línia es duen a terme importants treballs de caracterització de les condicions climàtiques de l'Holocè (els darrers 20.000 anys), durant el qual s'han produït canvis en les condicions orbitals de la Terra, en la distribució de la radiació solar al planeta i en el contingut de CO₂ a l'atmosfera.

Naturalment, en els models tridimensionals la qüestió de la resolució espacial i temporal és crucial. Per un costat es veu que a l'hora d'aconseguir prediccions amb la resolució espacial adequada cal disminuir la mida de la cel·la que s'utilitza en el model atmosfèric. No obstant això, quan es fa no sempre se surt guanyant, ja que els models encara no tenen la capacitat d'incloure efectes que són importants localment però que no afecten al clima a escala global. Per tant, una de les línies importants de recerca durant els propers anys serà la regionalització dels models (el «*downscaling*», utilitzant la terminologia anglesa). D'altra banda, la qüestió pendent més important és l'increment de la resolució vertical. Pel que fa als models de l'oceà, encara hi ha moltes coses per millorar com, per exemple, l'escala òptica necessària per assolir el millor rendiment, que es mou entre 4 i 0,1°.

La clau de tot això consisteix en saber si és previsible l'evolució de l'estat del clima. Des del treball d'E.N. Lorenz (Lorenz, 1963), se sap que la predictibilitat dels sistemes complexos té un límit, encara que les equacions que els descriuen siguin deterministes. Com ja s'ha dit, el sistema climàtic és un sistema complex no lineal, amb moltes escales temporals diferents. La seva predictibilitat depèn del tipus d'esdeveniment climàtic que es consideri, així com de les escales temporal i espacial involucrades. Per exemple, avui és possible predir el fenomen de *El Niño* si es pensa en escales de temps de l'ordre de 10 a 12 mesos, però no més enllà. En canvi, no se sap si es podran predir els canvis climàtics ràpids observats durant la darrera glaciació o si, en canvi, són conseqüència de petits canvis impossibles de predir de canvis del clima a gran escala.

Hi ha evidències que suggereixen que les variacions climàtiques en una escala global que siguin causa de variacions en els forçaments externs (com, per exemple, les variacions degudes a algunes erupcions volcàniques o a la successió cíclica de períodes glacials i interglacials forçats pels canvis en la geometria de l'òrbita de la Terra al voltant del sol) es poden predir. Així mateix hi

ha un clar convenciment que es pot predir com evolucionarà globalment el clima com a conseqüència de les pertorbacions antròpiques que canvien la composició de l'atmosfera terrestre. En canvi, hi ha més dubtes pel que fa a la capacitat predictiva a escala regional i local, ja que aquestes escales estan molt més influïdes per la dinàmica caòtica del sistema climàtic.

Finalment, cal parlar dels canvis ràpids del clima, aspecte que actualment gaudeix d'una atenció creixent entre els experts. Un sistema no lineal com el sistema climàtic pot mostrar canvis ràpids com a resposta a canvis externs ràpids o com a conseqüència de les característiques internes del mateix sistema climàtic. Tradicionalment sempre s'havia considerat que si les pertorbacions són contínues els canvis als quals estarà sotmès el sistema climàtic també seran continus. No obstant això, l'observació d'esdeveniments sobtats que es varen produir durant la transició de la darrera glaciació al període interglacial en el qual estem submergits, ha fet pensar en la possibilitat que el clima actual estigui sotmès a un canvi molt ràpid a escala geològica i que el caràcter no lineal del sistema climàtic indueixi canvis sobtats. A tot això se suma el fet que els models climàtics de màxima resolució no són capaços de predir aquests fenòmens.

S'especula (Stocker, 1991, 2000) sobre un mecanisme de cicle d'histeresi en la circulació termohalina a l'Atlàntic Nord, que mou aigua salada i càlida vers latituds elevades per la superfície. Aquesta aigua es refreda quan arriba al pol nord i s'enfonsa fins el fons, des d'on circula una altra vegada cap a l'equador. La circulació termohalina es mou per les diferències en la densitat de l'aigua del mar i, per tant, ho fa controlada pels fluxos de calor i d'aigua dolça entre l'aire i l'oceà. El procés és autoorganitzat, és a dir, pot desestabilitzar-se amb facilitat. Així, per exemple, si el flux d'aigua salada vers el nord disminueix com a conseqüència d'un hipotètic flux d'aigua dolça o bé com a conseqüència de l'augment de la precipitació i de la fusió del gel, la densitat de l'ai-

gua disminueix i la tendència a enfonsar-se també, canviant de forma ràpida el règim de circulació de l'aigua marina i, a la vegada, el clima d'aquelles regions afectades pel seu flux. Així, la circulació termohalina presenta més d'un estat d'equilibri i la pregunta que es fan els experts és saber si això es pot donar en les condicions actuals o properes a les actuals.

Com ja s'ha apuntat, els models encara no poden contestar aquesta pregunta si bé molts d'ells preveuen un afebliment de la circulació termohalina i per aquest motiu es treballa amb l'objectiu d'assolir-ne un millor rendiment i poder arribar a descriure i, naturalment, preveure, fenòmens climàtics sobtats com el que s'ha descrit. D'altra banda, i en un altre ordre de coses, els paleoclimatòlegs estan treballant per intentar identificar les causes que portaren al clima a experimentar aquests canvis tan ràpids.

A1.6. L'escalfament global i altres canvis

L'anàlisi, la mesura i la simulació del sistema climàtic ha generat un consens generalitzat (amb petites diferències de matis) entre els experts que treballen en aquest àmbit sobre el fet que el clima canvia com a conseqüència de l'emissió continuada de gasos a l'atmosfera per part de l'home des de fa més de dos segles.

Aquesta afirmació compartida pels experts ha estat recollida per l'IPCC el qual l'ha desenvolupada en un conjunt d'afirmacions que es presenten de forma ordenada a les primeres pàgines del seu darrer informe (Houghton, 2001). A continuació s'apunten i es descriuen breument cadascuna d'elles:

1) El sistema climàtic ha canviat des de l'era preindustrial, tant a escala global com regional, i alguns dels canvis es poden atribuir a les activitats humanes.

La concentració atmosfèrica dels gasos amb efecte d'hivernacle ha crescut com a conseqüència de l'ús dels combustibles fòssils i dels

canvis experimentats en l'agricultura i els usos del sòl (vegeu la taula A1.2).

Tal i com mostra la taula A1.3, cada vegada hi ha més observacions que permeten configurar la imatge d'un món que s'escalfa i que, com a conseqüència, experimenta altres canvis en les seves condicions ambientals. Així es pot destacar que, des que es té registre instrumental, la dècada més càlida a escala global ha estat la compresa entre els anys 1990 i 2000. De la mateixa manera, el 1998 i el 2002 van ser el primer i el segon any més càlid, amb una variació de temperatura de +0,55°C i +0,48°C respecte la mitjana 1961-1990 (WMO, 2003).

Hi ha proves experimentals i dels models que l'escalfament dels darrers 50 anys és atribuïble a les activitats humanes (figura A1.6). Els canvis del nivell del mar, de la coberta de neu i de les precipitacions són consistents amb l'escalfament de la temperatura superficial de l'atmosfera. No obstant això, hi ha indicadors importants del clima que no han canviat: des que es disposa de mesures de l'extensió de gel a l'Antàrtida (any 1978), no s'observa una tendència significativa en la seva extensió i no s'han observat canvis en la intensitat i la freqüència de les tempestes tropicals i extratropicals, ni en la dels tornados.

2) Tots els escenaris elaborats per l'IPCC preveuen que la concentració de CO₂ segueixi creixent durant el segle XXI i que, com a conseqüència d'això, la temperatura i el nivell del mar segueixin pujant.

Els sis escenaris preveuen que la concentració de CO₂ augmentarà fins 540-970 ppm (IPCC 2000). Així mateix preveuen també que l'augment de la temperatura mitjana global del període 1990-2100 estarà en la franja d'1,4°C fins a 5,8°C (Houghton, 2001). La precipitació anual, en termes generals augmentarà, tot i que a nivell regional hi haurà canvis en aquesta tendència.

Indicador	Concentració
CO ₂ a l'atmosfera	280 ppm l'any 1750 - 368 l'any 2000
CH ₄ a l'atmosfera	0,7 ppm l'any 1750 - 1,75 ppm l'any 2000
N ₂ O a l'atmosfera	0,27 ppm l'any 1750 - 0,32 ppm l'any 2000
O ₃ a la troposfera	Augment d'un 35 ± 15% entre 1750-2000. Varia segons la zona
O ₃ a l'estratosfera	Disminució mesurada entre els anys 1970 - 2000. Depèn de la latitud.
HCFs, PFCs, SF ₆ a l'atmosfera	Han augmentat globalment durant els darrers cinquanta anys

Taula A1.2. Canvis en la concentració d'alguns gasos amb efecte d'hivernacle
Font: IPCC 2001(b).

Les glaceres seguiran retirant-se i el nivell del mar seguirà elevant-se (es preveu que aquest ascens sigui d'entre 0,09 i 0,88 metres). Aquests canvis de les propietats físiques produiran canvis positius i negatius en els sistemes biològics i socials tot i que es creu que els efectes, valorats globalment, seran més negatius que positius. Els possibles impactes dels canvis del clima afectaran amb major intensitat els sistemes més vulnerables (països subdesenvolupats, sistemes biològics més sensibles). Es preveuen impactes sobre l'agricultura, la salut, la productivitat ecològica dels sistemes, el proveïment d'aigua, etc.

3) S'albira un augment de la variabilitat climàtica i una inèrcia gran en tots els sistemes.

Els models projecten que els augments en la concentració atmosfèrica dels gasos causants

de l'efecte d'hivernacle indueixen canvis en la freqüència, la intensitat i la durada d'esdeveniments extrems, com les onades de calor, les pluges torrencials, les tempestes tropicals, etc. Tot i així, fins ara no s'ha detectat experimentalment un senyal clar al respecte. En la mateixa línia, augmenta el risc de canvis ràpids a causa de la naturalesa no lineal del sistema climàtic (NAS 2002). L'eventual estabilització de les emissions de CO₂ no estabilitzarà el contingut atmosfèric d'aquest gas a l'atmosfera fins transcorreguts uns 100 anys, ni l'augment del nivell del mar i la disminució de la superfície marina ocupada pels gels. Pel que fa als altres gasos causants de l'efecte d'hivernacle se'n preveuen uns períodes d'estabilització més curts. La inèrcia en tots els sistemes aconsella establir estratègies d'adaptació als canvis del clima.

Indicador climàtic	
Temperatura superficial global mitjana	Augment d'un 0,6 ± 0,2°C durant el segle xx
Temperatura superficial de l'hemisferi nord	La dècada 1990-2000 és la més càlida de tot el mil·lenni
Temperatura màxima - temperatura mínima diària	Ha disminuït entre 1950 i 2000
Dies molt càlids	Han augmentat els episodis d'onades de calor
Dies molt freds	Han disminuït
Precipitació a les zones continentals	Augment d'un 5-10% a l'hemisferi Nord. Hi ha regions on ha disminuït (Mediterrània)
Esdeveniments de precipitació gran	Augment en latituds mitjanes i altres
Freqüència i intensitat secades	Períodes més llargs sense pluja. La freqüència i la intensitat varien de forma irregular

Taula A1.3. Indicadors climàtics que apunten a un escalfament global i fenòmens associats
Font: IPCC, 2001 (b)

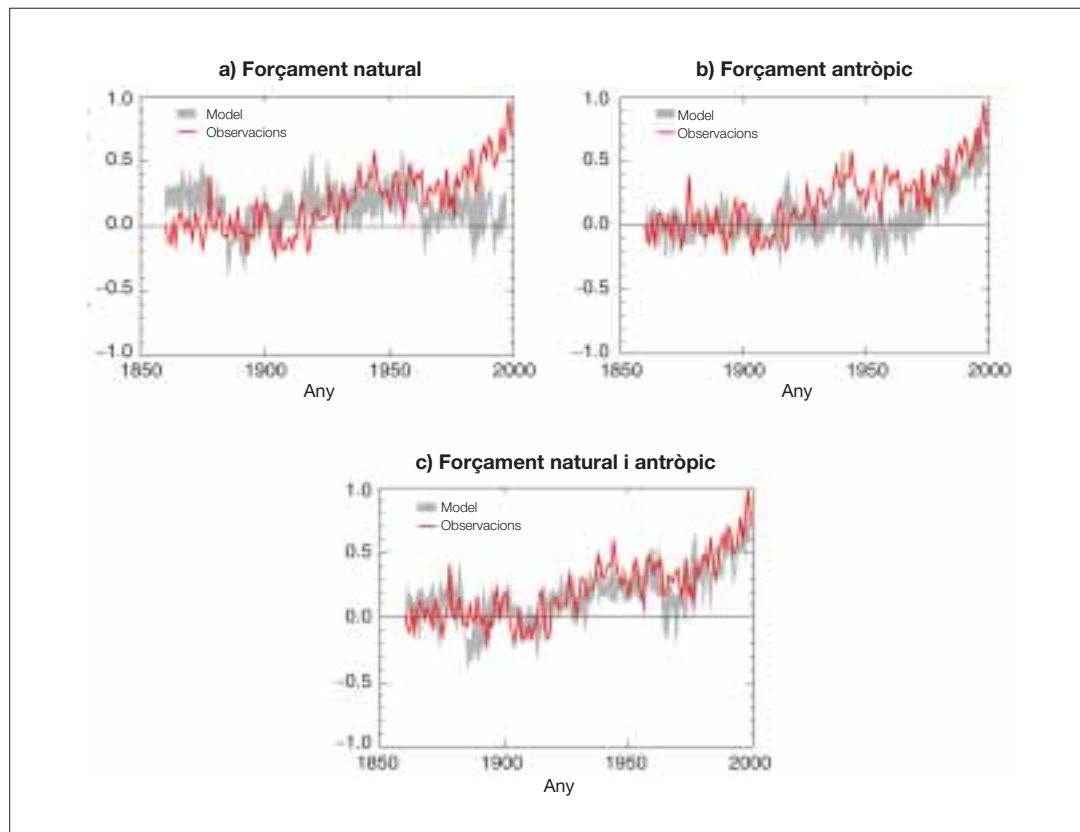


Figura A1.6. Anomalies en la temperatura mitjana superficial relatives a la mitjana entre 1880 i 1920, comparades amb els resultats dels models. Si els models tenen en compte només els canvis associats al forçament natural (a) o als forçaments antròpics (b), no aconsegueixen reproduir el registre de temperatura experimental, mentre que si tenen en compte ambdós (c) l'ajustament és força bo.

Font: Houghton, 2001.

4) La taxa i la magnitud de l'escalfament global i d'altres conseqüències que se'n deriven poden disminuir si es redueixen les emissions de gasos causants de l'efecte d'hivernacle.

Com més importants siguin les reduccions, més petita serà la taxa d'escalfament, per la qual cosa les reduccions d'emissions són imprescindibles per tal d'estabilitzar el forçament radiatiu. Actualment es disposa de tecnologies que permetrien assolir aquest objectiu. D'altra banda, els boscos, el sòl agrícola i altres ecosistemes terrestres ofereixen un bon potencial d'absorbir diòxid de carboni, tot i que aquest potencial no és permanent,

però poden representar una bona eina per guanyar temps fins que es disposi plenament d'altres tecnologies de generació d'energia. En tot cas, també cal apuntar que és molt difícil el càlcul dels costos de mitigació de les emissions, i que s'haurien de potenciar els mecanismes de transferència de tecnologia per tal d'aconseguir la més ràpida estabilització al mínim cost.

5) El problema del canvi climàtic d'origen antròpic, naturalment, està relacionat amb altres problemes ambientals i socioeconòmics; per tant, les formes de fer front al problema moltes vegades seran comunes i sinèrgiques.

A1.7. Patrons climàtics i teleconnexions

Quan es parla del canvi climàtic d'origen antròpic, normalment es parla de forma genèrica i es construeixen mitjanes temporals i espacials de variables d'interès climatològic que serveixen d'indicadors dels possibles canvis. No obstant això, quan s'aprofundeix en l'anàlisi climàtica d'una regió o d'un territori s'observa que els canvis que pot experimentar el clima no només depenen d'un context global planetari, sinó també de característiques específiques, topogràfiques, de situació enfront del règim de vents i de pressió dominant, entre altres factors. Justament, una de les recomanacions del darrer informe de l'IPCC (IPCC, 2001a) és la d'aprofundir en el coneixement climàtic regional i millorar-ne la simulació a escales petites, l'anomenada regionalització abans esmentada. Els impactes locals del canvi climàtic ho seran, doncs, en funció de les peculiaritats d'un determinat territori, comarca, regió o país.

D'altra banda, darrerament també s'ha dedicat una atenció especial a les anomenades teleconnexions climàtiques. El terme teleconnexió es refereix a indicadors de patrons de temps meteorològic recurrents, persistents i característics de situacions diferents de la mitjana estadística. La complexitat del sistema climàtic ha seduït la imaginació dels investigadors, que n'han trobat unes quantes, entre els quals destaquen, per conegudes, l'ENSO (també conegut com *el Niño*) i l'índex NAO

El Niño és un fenomen que té repercussions arreu del món, però que es dona de forma característica a les costes del Pacífic, davant les costes del Perú. Es quantifica mitjançant l'*Indicador de l'Oscil·lació del Sud* (Philander, 1990), que és la diferència entre la pressió a Tahití (Polinèsia francesa) i Darwin (Austràlia), una mesura de la força dels vents alisis. Els episodis del *Niño* s'associen amb episodis intensos de sequera al sud-est d'Àsia i nord d'Austràlia o amb pluges torrencials al Perú i l'Equador. Hi ha estudis que fins i tot l'associen amb episodis de pluja o de sequera a la península Ibèrica.

Un altre patró de teleconnexió és l'índex NAO (acrònim de *North Atlantic Oscillation*), que consisteix en la mesura de la diferència de la pressió a Stykkisholmur (Islàndia) i Lisboa (Portugal). Valors positius de l'índex NAO corresponen a temperatures més altes a la costa est dels Estats Units i nord d'Europa, i a temperatures per sota del que és normal a Groenlàndia, el sud d'Europa i l'Orient Mitjà.

S'ha proposat un nombre relativament elevat de teleconnexions que no s'esmenten en aquest apartat. Els períodes de recurrència d'aquestes canvien, però el que es preveu en la major part de models és un augment de la seva freqüència, especialment pel que fa a *El Niño*, que és el més estudiat i, potser, el que té més repercussions a escala global. Aquest resultat està en consonància i és coherent amb el fet que els mateixos models preveuen que la variabilitat climàtica augmentarà.

A1.8. Incerteses i possibles millores en relació a la simulació del canvi climàtic

Com qualsevol representació de la realitat, la visió i la simulació dels processos de canvi climàtic sempre tindrà incerteses i dubtes. En aquest apartat s'apunten breument les més importants que hi ha actualment a escala global, i en la resta de capítols d'aquest informe s'aniran destacant les que hi ha en l'àmbit català.

Les dues indefinicions més grans que hi ha es refereixen a la manca d'estudis prospectius amb models d'escales regionals, cosa que probablement comportarà l'establiment de jerarquies de models i mètodes estadístics a partir dels models tridimensionals actualment operatius i la incertesa sobre les emissions i, per tant, la composició de l'atmosfera en el futur, elements que depenen de l'evolució econòmica i tecnològica de la societat. Aquest darrer aspecte, tot i que és important, queda pal·liat pels escenaris, els quals, com s'ha dit abans, serveixen per establir uns nivells de referència comuns per als investigadors, però també per als responsables d'elabo-

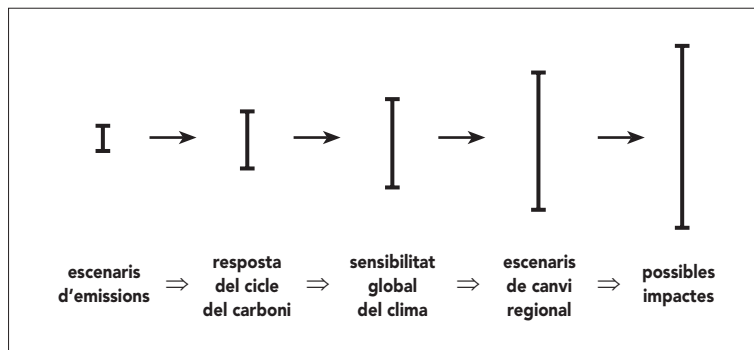


Figura A1.7. Evolució temàtica de la magnitud de la incertesa. S'observa com la incertesa en els primers estadis s'amplifica en arribar a la informació sobre els impactes. Font: elaboració pròpia a partir de Moss i Scheneider, 2000.

rar polítiques, ja que poden comparar de forma homogènia l'efecte teòric de desenvolupar diferents estratègies d'actuació.

La figura A1.7 mostra com evoluciona temàticament el grau de les incerteses o millores necessàries a mitjà termini, que s'apunten a continuació:

1) Escenaris d'emissions

- Millora de la xarxa d'observatoris i de la resolució espacial de les mesures de la concentració atmosfèrica dels gasos causants de l'efecte d'hivernacle.
- Adaptació i calibració de les mesures per poder reconstruir sèries llargues i dur a terme estudis paleoclimàtics.
- Millora dels models i dels estudis prospectius en l'àmbit socioeconòmic, que permetin fer prediccions de les emissions futures (per exemple, estudis sobre l'evolució del preu dels combustibles i la implantació de noves tecnologies amb menors nivells d'emissió).

2) Resposta del cicle del carboni

- Millora del coneixement i de la modelització de les retroaccions, especialment les associades amb els cicles físics i biogeoquímics i per

tant, del forçament energètic dels canvis en la concentració dels diferents components atmosfèrics.

- Millora del coneixement del cicle del carboni (especialment al mar i, sobretot, avaluació dels fluxos de carboni de la capa superficial fins les capes profundes).
- Millora i modelització dels embornals de diòxid de carboni (boscors i sistemes agrícoles).

3) Sensibilitat global del clima

- Millora en la determinació de la variabilitat climàtica natural (implica una millora en el coneixement de les fluctuacions de l'activitat solar, la formació de tempestes, entre altres).
- Millora en la comprensió dels efectes dels aerosols, en general, i dels compostos de sofre en particular.
- Quantificació i millora del coneixement de les teleconnexions (*El Niño*, índex NAO, etc.).
- Millora del coneixement de les escales de temps i del comportament específic de la circulació de l'aigua a l'oceà (circulació termohalina).

4) Escenaris de canvi regionals

- Desenvolupament de models prospectius a escala regional.
- Establiment de relacions entre les tendències

regionals amb el canvi climàtic antròpic.

- Millora del coneixement sobre la relació entre les variacions de les variables físiques (temperatura, pressió, precipitació, humitat, entre d'altres) amb el comportament i, per tant, coneixement dels impactes en ecosistemes, l'agricultura, el turisme, etc.
- Identificació, quantificació i eventual validació dels possibles impactes (favorables i desfavorables) del canvi climàtic d'origen antròpic.
- Identificació de les barreres científiques i tecnològiques que impedeixen el desenvolupament de tecnologies menys emissores de carboni.
- Quantificació dels costos i dels impactes sobre el clima de les mesures de mitigació.
- Quantificació dels costos de l'adaptació als efectes del canvi climàtic.

A1.9. Conclusions

En aquest capítol introductori de l'informe sobre els efectes del canvi climàtic a Catalunya, únicament s'ha fet una síntesi dels principals temes que, amb caràcter general, la comunitat científica ha elaborat respecte el canvi climàtic des de la perspectiva de les ciències naturals. En els altres capítols d'aquest informe, tot mantenint un esquema semblant al que ha usat l'IPCC, es particularitzarà per a Catalunya, però en aquest primer capítol hem volgut fer una pinzellada a tot allò que amb caràcter general se sap del canvi climàtic, pel que fa al sistema físic.

Per no repetir coses ja dites en altres apartats, resumim dient que la variació de la composició atmosfèrica s'ha comprovat experimentalment pel que fa als gasos causants de l'efecte d'hivernacle, i també hi ha proves que el senyal de la pertorbació antròpica s'ha pogut separar de la variabi-

litat climàtica natural, si més no pel que fa a la temperatura mitjana superficial, cosa que indica que alguns canvis s'estan produint. La magnitud i la dinàmica d'aquests canvis encara és incerta, així com l'avaluació dels seus impactes. En els propers anys és d'esperar que aquests darrers aspectes s'aniran precisant i acotant.

Referències bibliogràfiques

- KIEHL, J.T.; K.E.TRENBERTH. «Earth's annual global mean energy budget». *Bull. Am. Met. Soc.*, núm. 78, (1997), p. 197-208.
- HOUGHTON, J.T. et al. Eds. *Climate Change 2001: The scientific basis*. Cambridge, Cambridge University Press, 2001.
- IPCC. *IPCC Special Report: Emissions Scenarios* IPCC, 2000 <<http://www.ipcc.ch>>
- IPCC. *Climate Change 2001 Vol 1-3*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001a.
- IPCC. *Summary for policymakers* IPCC 2001b. <<http://www.ipcc.ch>>.
- LORENZ, E.N. «Deterministic non periodic flow» *J. Atmos. Sci.* núm. 20, (1963), p. 130.
- MCCARTHY, J.J. et al. eds. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- MOSS, R.; SCHNEIDER, S. «Uncertainties». A: PACHAURI, R.; TANIGUCHI, T.; TANAKA, K. *Guidance Papers on the Cross Cutting Issues of the Third Assessment Report of the IPCC*. Ginebra: IPCC, 2000.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. *Abrupt Climate Change: Inevitable Surprises*. Washington, D.C.: National Academy Press, 2002.
- NOAA, <http://www.cmdl.noaa.gov/ccgg/gallery/index.php?pageType=folder&currDir=/Data_Figures>, 2003.
- PEIXOTO, J.; OORT, A.H. *Physics of Climate*. New York: American Institut of Physics, 1992.
- PHILANDER, S.G.H. *El Niño, La Niña, and The Southern Oscillation*. New York: Academic Press, 1990.

A2. Una perspectiva històrica del canvi climàtic

Antoni Rosell i Melé

Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats (ICREA)

Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals (ICTA)

Departament de Geografia de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB)

Antoni Rosell i Melé (Barcelona, 1965) és doctor en Ciències Químiques per la Universitat de Bristol al Regne Unit (1994), i Enginyer Químic de l'Institut Químic de Sarrià (1990). Ha estat professor titular de la Universitat de Durham al Regne Unit (1999-2001) i des de l'octubre del 2001 és professor de recerca de la ICREA a l'Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals de la Universitat Autònoma de Barcelona, així com «Honorary Research Fellow» del Departament de Geografia de la Universitat de Durham.

Les seves activitats de recerca actuals se centren en l'ús de la química ambiental per a la investigació de les causes naturals del canvi climàtic així com de les alteracions antròpiques i la sostenibilitat del cicles biogeoquímics. Manté col·laboracions continuades amb institucions nord-americanes i europees amb les quals ha participat com a coordinador i investigador en projectes i campanyes de recerca en àrees diverses com l'Atlàntic, l'Índic, el Mediterrani, l'Àrtic, l'Antàrtida, la península Ibèrica i el llac Baikal a Sibèria. Ha publicat més d'una cinquantena d'articles en revistes internacionals i capítols de llibres sobre diferents temes de química ambiental.

Síntesi	55
A2.1. Introducció	57
A2.1.1. La paleoclimatologia	
A2.1.2. Eines de paleoreconstrucció: principis bàsics	--
A2.2. Els canvis climàtics dels darrers 150 anys en el context de la història recent del clima	60
A2.2.1. La temperatura	-
A2.2.2. La contribució del diòxid de carboni a l'efecte d'hivernacle	
A2.3. El canvi natural abrupte del clima	66
A2.3.1. Mecanismes i pautes de canvi	
A2.3.2. Exemples i conseqüències del canvi climàtic	--
A2.3.2.1. La circulació termohalina	
A2.3.2.2. L'efecte del clima sobre les civilitzacions: l'exemple de les sequeres	
A2.4. Tendències naturals dels canvis climàtics a Catalunya en el context global	71
A2.5. Sumari: aprendre de les lliçons del passat per entendre el futur	74
A2.5.1. L'estat actual del coneixement	
A2.5.2. Els reptes en el coneixement del paleoclima a Catalunya	
A2.5.3. Possibles estratègies davant del canvi climàtic	
Referències bibliogràfiques	77

Síntesi

El clima actual és el resultat de l'evolució dels diferents sistemes naturals de la Terra durant milers de milions d'anys. En aquest sentit, la paleoclimatologia –literalment, l'estudi del clima del passat– pretén reconstruir la història climàtica de la Terra amb l'objectiu de poder entendre quina ha estat l'evolució del clima i disposar d'elements per preveure possibles tendències futures del mateix.

L'estudi del paleoclima, per exemple, permet tenir una perspectiva històrica de les conseqüències de l'increment de la concentració de gasos amb efecte d'hivernacle (GEH) en els sistemes naturals i humans i la importància relativa dels canvis que s'estan produint actualment en les condicions climàtiques del Planeta.

Els humans hem contribuït a modificar la composició de l'atmosfera a través de la combustió a gran escala de combustibles fòssils. L'increment de la concentració de gasos amb efecte d'hivernacle a l'atmosfera des dels inicis de la revolució industrial és de la mateixa magnitud que el que hi ha hagut durant les diverses transicions naturals que han anat succeint-se de forma cíclica des de fa milions i milions d'anys, entre els períodes glacials o freds i els interglacials o càlids (com és el període en el qual ens trobem actualment). De fet, les concentracions de diòxid de carboni a l'atmosfera són més del 30% superiors a les concentracions naturals d'aquest gas en períodes anàlegs a l'actual des de fa més de 400.000 anys i, molt probablement, durant milions d'anys.

No obstant això, el canvi climàtic no depèn només de l'increment o la davallada de la concentració de GEH, sinó també de la interacció entre diversos elements del Planeta, tant interns (atmosfera, hidrosfera, biosfera i criosfera) com externs (variabilitat de la irradiació solar, insola-

ció, vulcanisme, etc.), d'una manera que tot just ara s'està començant a comprendre. De la mateixa manera, també cal comptar amb els múltiples impactes dels humans sobre el seu entorn. Molts d'aquests factors de canvi climàtic interaccionen per retroaccions –positives o negatives– i sovint estant relacionats entre ells de forma no lineal. Això comporta que, per unes condicions determinades, pugui haver-hi més d'un estat d'equilibri i que la transició entre ells pugui ser reversible o irreversible, i que sovint es produeixi molt ràpidament (en el termini d'una o diverses desenes d'anys).

La sensibilitat del sistema a variacions de qualsevol factor climàtic encara no està del tot ben establerta, però es podria afirmar que varia en funció de cada un d'ells. Això posa de manifest que encara manca molta informació per poder arribar a comprendre totalment la mecànica del sistema, que presenta una complexitat molt elevada. Això fa que l'increment de la concentració de GEH a l'atmosfera pugui tenir uns efectes incerts sobre les condicions climàtiques, especialment a escala regional.

Com en qualsevol altra àrea del món, els climes de Catalunya responen de forma genèrica a canvis naturals del sistema climàtic a escala global, com les glaciacions o la variabilitat a un termini de temps més curt (mil·lenis, segles o episodis extrems) d'èpoques glacials o interglacials. Alguns estudis mostren que des de fa milers d'anys sembla haver-hi una tendència natural cap a l'aridificació del territori, amb un descens del volum de precipitació i un increment de les temperatures. Aquesta tendència contrasta, però, amb la davallada de temperatures que va produir-se al nord d'Europa durant el mateix període. Tot i això, encara cal avançar en l'estudi de la paleoclimatologia per tal de poder entendre la variabilitat i la tendència al canvi natural dels climes

catalans, les seves causes i la resposta adaptativa dels sistemes naturals i socials als canvis produïts en les condicions climàtiques.

Les societats complexes, encara que puguin reaccionar davant els canvis climàtics, no tenen un grau d'adaptació infinit. En aquest sentit, disposem de força exemples de civilitzacions que van entrar en decadència i, fins i tot, van desaparèixer coincidint amb canvis ambientals molt profunds, ràpids i persistents en el temps. Encara que potser el clima no n'hagi estat l'únic responsable, podria haver contribuït de forma molt significativa a la desaparició d'aquestes civilitzacions, així com a l'extinció de determinades espècies animals i vegetals i l'alteració profunda de la composició de certs ecosistemes (amb unes repercussions evidents sobre la població humana per les conseqüències que podrien tenir aquestes transformacions sobre els sistemes de producció d'aliments).

En el passat, Catalunya va ser l'escenari de canvis climàtics abruptes i situacions meteorològiques extremes, seguint les mateixes tendències i amb la mateixa freqüència amb que es van produir en altres indrets del planeta. No obstant això, no es disposa de prou informació per poder establir quines són les pautes de variabilitat natural del clima del nostre país (la freqüència d'episodis extrems, la diversitat de registres pluviomètrics arreu del territori, etc.).

La contribució del diòxid de carboni a l'escalfament de la Terra és un altre dels aspectes dels quals encara no es té un grau total de comprensió. De la mateixa manera, tot i que es té coneixement del fet que les activitats antròpiques que generen diòxid de carboni també produeixen aerosols i que aquests, al seu torn, contribueixen a refredar el clima, encara no s'ha arribat a comprendre totalment la distribució i el comportament dels aerosols a l'atmosfera. També hi ha algunes llacunes de coneixement en relació als canvis sobtats que es produeixen en les condicions climàtiques, tant pel que fa als factors que els generen com en quin moment es produeixen.

Finalment cal tenir present que, independentment de les actuacions que es duguin a terme, el clima continuarà experimentant canvis, com ha passat des que la Terra existeix. L'evidència d'aquests canvis, produïts tant per causes naturals com antropogèniques, no ha de fer desistir de prendre accions en aquest àmbit.

Així, caldria elaborar un pla d'acció per reduir comportaments de risc de la nostra societat que puguin alterar el comportament natural del clima, així com investigar sobre les conseqüències a escala regional del canvi climàtic global per poder elaborar, a partir de tota la informació, una estratègia d'adaptació davant dels possibles efectes d'aquest fenomen.

A2.1. Introducció

En aquest capítol de l'estudi sobre els possibles efectes del canvi climàtic a Catalunya es descriuen, breument, alguns aspectes de l'evolució del clima durant períodes geològics relativament recents. L'objectiu és mostrar com ha canviat el clima de forma natural, sense la intervenció humana, i contextualitzar, des d'un punt de vista històric els canvis climàtics que s'han produït al llarg dels segles XX i XXI (potencialment relacionats, per tant, amb l'efecte de les activitats antròpiques sobre els sistemes naturals).

En paraules de Winston Churchill, citades sovint pels paleoclimatòlegs: *«the further backward you can look, the further forward you are likely to see»* («com més enrera pots mirar, més cap endavant és probable que vegis»).

A2.1.1. La paleoclimatologia

El clima actual és el resultat de l'evolució dels diferents sistemes naturals de la Terra durant milers de milions d'anys. Per tant, entendre com ha estat aquest viatge del planeta en el temps és clau per poder comprendre els factors que l'han anat configurant tal i com és actualment, així com per intentar preveure com podria ser en el futur. En aquest sentit, doncs, l'estudi del paleoclima –el clima del passat– es fa totalment imprescindible.

Una de les grans utilitats d'estudiar el paleoclima, per exemple, és que permet establir rela-

cions causa-efecte entre diverses variables climàtiques. Per exemple, la temperatura de l'aire pot canviar a causa de la composició atmosfèrica dels gasos amb efecte d'hivernacle, però també per les erupcions volcàniques, la radiació solar, etc. Aquestes variables poden caracteritzar el clima, directament (com la temperatura) o bé de forma indirecta (com la presència de glaç als continents, la qual no només depèn de la temperatura, sinó que també és dependent d'altres variables, com per exemple, de la precipitació).

Aquesta informació es pot obtenir, fins a un cert punt, amb les dades procedents dels registres instrumentals de variables climàtiques que s'han anat acumulant durant els darrers segles. En termes generals, aquests tipus de registres són molt precisos, però encara són inexistent en zones remotes del planeta i poc abundants en països poc o gens desenvolupats científicament. Per altra banda, fa poc temps que es prenen mesures meteorològiques i, per tant, els registres instrumentals són insuficients per recollir la veritable variabilitat del sistema climàtic i per ajudar a esbrinar quines són les causes dels canvis climàtics.

La figura A2.1 presenta un exemple del fet que s'acaba de comentar. En l'estudi al qual fa referència la figura, es va determinar que els increments de temperatura observats a la zona tropical de l'oceà Pacífic durant els episodis de «El Niño» estaven relacionats amb una disminució de les precipitacions a l'Amèrica del Nord.

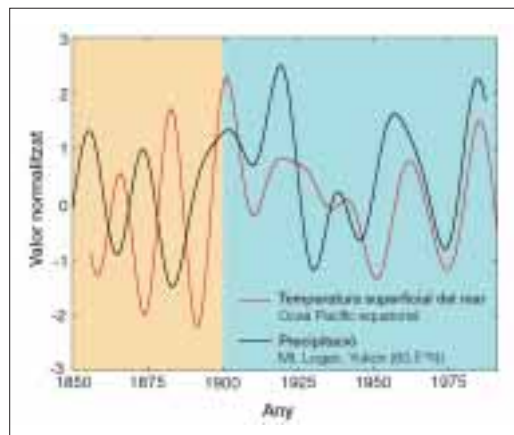


Figura A2.1. Registre normalitzat i simplificat per mostrar la variabilitat decadal de dues sèries de dades des de mitjans del segle XIX fins a finals del segle XX. En vermell es representa un índex dels canvis en la temperatura de l'oceà Pacífic a l'equador lligat als episodis de *El Niño* (Kaplan et al., 1998). En negre es representa el registre de precipitació en un testimoni de gel al Mt. Logan, al Canadà, a 60.5°N. Abans del 1900, els registres tenen correlacions oposades, mentre que a partir d'aquest any els registres estan correlacionats positivament. El canvi en el tipus de correlació entre els registres és un exemple de com la suposició que les relacions causa-efecte en el sistema climàtic, entre zones geogràficament allunyades, no poden mantenir-se al llarg del temps.

Font: (ALVERSON et al., 2001), adaptat de (MOORE et al., 2001).

Aquesta fet només s'observava abans de l'any 1900, a partir del qual, i de forma sorprenent, la relació entre les variables es va invertir. Aquest canvi en la relació entre les dues variables en el temps és un exemple de com registres climàtics curts poden no reflectir acuradament la relació existent entre algunes variables, com a conseqüència de la complexitat del sistema climàtic. Així doncs, i reprenent el cas que s'acabava d'apuntar, models climàtics que només consideressin la relació entre els paràmetres mostrats a la figura A2.1 després de l'any 1900 per tal de simular el futur no serien fiables.

Estudiant com era el clima fa centenars, milers o desenes de milions d'anys, es pot estendre aquestes sèries climàtiques temporalment i espacial. També es poden identificar èpoques anàlogues a l'actual i veure com les variables del sistema climàtic van anar evolucionant mentre diversos factors de canvi variaven. Per exemple,

es creu que fa 400.000 anys, durant l'anomenat estadi isotòpic marí 11, les condicions del sistema climàtic eren força semblants a les del període actual (Loutre and Berger, 2003). Alternativament, es pot provar d'identificar un període del passat quan les concentracions atmosfèriques de diòxid de carboni eren tant o més elevades que les actuals i veure com és un món amb un fort efecte d'hivernacle (els anomenats «*greenhouse worlds*», en anglès). Es creu que aquestes condicions s'han donat diverses vegades durant el Fanerozoic (és a dir, en els darrers 550 milions d'anys) i que la darrera probablement va ser durant la transició entre els períodes geològics del Paleocè i l'Eocè, ara fa uns 57 milions d'anys (Bains et al., 1999).

La paleoclimatologia també permet validar la fiabilitat dels models que s'utilitzen per a simular escenaris climàtics futurs. Aquesta simulació, que requereix l'ús de computadors, es realitza a partir de models matemàtics extremadament complexos, on es tenen en compte els diversos components del sistema climàtic i les seves interaccions. Una de les maneres més eficaces de garantir que aquests models són fiables és analitzant la capacitat dels models per simular els climes del passat, els quals s'infereixen de les reconstruccions paleoclimàtiques. Si els models són robustos, han de ser capaços de reproduir el sistema climàtic amb unes condicions molt diferents de les actuals, tant amb les que hi va haver en el passat com en les que podríem trobar en el futur (Kohfeld i Harrison, 2000).

Abans de començar a descriure com els canvis climàtics de fa centenars o milions d'anys ens poden ajudar a entendre el present i a predir el futur, però, cal entendre com s'obté la informació dels paleoclimes. Aquest tema es tracta a l'apartat següent.

A2.1.2. Eines de paleoreconstrucció: principis bàsics

La reconstrucció del clima que hi havia a la Terra abans que es disposés de mesures instrumen-

tals de les diverses variables climàtiques requereix l'ús del que s'ha anomenat *proxis* –o *pròxims*– climàtiques, les quals s'obtenen, entre d'altres, de l'anàlisi dels registres fòssils enterrats als sediments dels fons oceànics i dels llacs, de l'estudi dels anells dels arbres, dels esculls corral·lins o dels gels dels casquet polars i de les glaceres.

Evidentment, per estudiar el clima en èpoques més remotes, quan no existien els humans ni l'escriptura, cal utilitzar els registres fòssils que hi ha a l'abast (com, per exemple, els grans de pol·len descoberts en jaciments arqueològics o en sediments marins i lacustres). Això ens permet, per exemple, inferir canvis en la vegetació en les zones properes on es va dipositar el pol·len en el passat i fins i tot reconstruir les temperatures de l'aire. Per fer això, però, cal començar per associar la distribució actual de plantes i el seu pol·len amb els règims climàtics que trobem avui i els marges de temperatura dominants a la Terra. Quan s'analitza un pol·len fòssil, es mira de relacionar la seva composició (el tipus de plantes que representa) amb la distribució actual de pol·len (i les plantes que el produeixen) en alguna zona del planeta. A partir d'aquí, i mitjançant un tractament estadístic, es pot estimar els valors de temperatura més probables on les plantes que van produir aquell pol·len fòssil vivien. Actualment és tan important la identificació visual dels restes fòssils d'organismes com la caracterització dels seus paràmetres químics i físics. De fet, els grans avanços de la paleoclimatologia en les darreres dècades s'han obtingut de l'anàlisi de les relacions isotòpiques de l'oxigen, tant en els carbonats dels sediments marins com del gel de l'Antàrtida i Groenlàndia, del qual principalment es deriva informació sobre la temperatura de l'aire en els casquets polars o del mar, així com del volum del gel en els continents.

Una altra font d'informació molt rellevant són les restes arqueològiques i els fons de documentació històrica, com ara els arxius existents en

moltes esglésies. A Catalunya, per exemple, alguns registres de rogatives per demanar pluja i altres pregàries relacionades amb fenòmens meteorològics diversos han permès reconstruir sèries temporals de fins a 4 segles de variabilitat climàtica (Martín-Vide i Vallvé, 1995). El tipus de cerimònia religiosa –i el seu cost– també ha permès d'estimar la intensitat de l'episodi climàtic al qual es dedicava i fer-ne una quantificació.

Una condició important per aplicar qualsevol *proxia* és que s'ha de calibrar mitjançant el seu estudi en l'entorn actual i s'ha de poder relacionar una determinada mesura amb una o més variables climàtiques i obtenir, d'aquesta manera, una funció o relació amb la qual poder estimar les condicions passades. D'aquests estudis sovint s'aprèn que la majoria de *proxies* donen una informació aproximada sobre una o més variables climàtiques. Per tant, qualsevol interpretació paleoclimàtica ofereix una visió aproximada de com era el passat.

Quan es fa ús del pol·len, per exemple, és difícil diferenciar entre variables climàtiques i ecològiques a l'hora d'interpretar la seva presència en un determinat emplaçament. És molt possible que el pol·len hagi arribat a una determinada zona d'estudi a través del vent i de l'aigua i, per aquest motiu, a vegades pot ser difícil determinar si la reconstrucció paleoclimàtica és representativa de la conca del llac d'on s'ha extret el pol·len o bé ho és d'un altre indret, més o menys llunyà, on es va originar. D'altra banda, hi ha plantes que produeixen més pol·len que altres, de la mateixa manera que la seva supervivència en el temps pot ser diferent per diversos tipus de plantes en funció de les condicions ambientals. És molt important, per tant, que en els estudis paleoclimàtics s'utilitzi més d'un mètode de paleoreconstrucció per confirmar els resultats d'una i altra tècnica.

Per últim, també cal avaluar l'abast espacial de la reconstrucció. La temperatura de l'aire a Tarra-

gona o Vancouver serà normalment força diferent a causa de la localització d'aquestes ciutats, afectades per diferents règims climàtics en el planeta. Això vol dir que cal estudiar molts registres d'arreu del món per poder tenir una imatge precisa de canvis globals en el clima. Per altra banda, els canvis en la concentració atmosfèrica de diòxid de carboni o del nivell del mar sí que tenen lloc simultàniament a escala global, ja que els gasos es barregen relativament ràpidament a l'atmosfera i els mars i oceans estan interconnectats, en la seva major part.

Una altra qüestió important –potser força òbvia però de difícil aplicació– és la determinació de l'edat dels registres que s'analitzen. Com més enrera en el temps es vulgui anar més difícil resulta l'estudi, ja que es fa més difícil trobar registres que siguin continus, vàlids i dels quals se'n puguin interpretar les propietats de forma precisa. El mateix dinamisme de la Terra destrueix els registres paleoclimàtics, al mateix moment que se'n van creant de nous. Així, encara que l'Antàrtida faci desenes de milions d'anys que està coberta de gel, l'edat màxima d'aquest gel no sobrepasa el mig milió d'anys a causa del dinamisme glacial, que fa que el casquet polar estigui en constant moviment i s'acabi abocant a l'oceà. Els sediments marins també eventualment són destruïts o transformats en les zones de subducció dels marges continentals. Molts llacs de grans dimensions també són de formació relativament recent. Al Baikal, per exemple, l'edat dels sediments no sobrepasa els 25.000.000 d'anys.

A més a més, com més antigues són les mostres que s'estudien més difícil es fa datar-les d'una manera precisa. El mètode que s'utilitza de forma més habitual és la datació per carboni 14, encara que només és aplicable a l'hora de datar mostres que continguin carboni d'una edat no superior als 55.000-60.000 anys. Per datar materials més antics hi ha una diversitat de tècniques, però o bé no mesuren edats absolutes o el seu error fa que no es puguin resoldre canvis cli-

màtics de menys d'uns quants milers d'anys. En comparació, l'error del mètode del carboni 14 se situa al voltant d'unes desenes d'anys.

A2.2. Els canvis climàtics dels darrers 150 anys en el context de la història recent del clima

Durant els darrers 150 anys, la temperatura de l'aire s'ha anat incrementant de forma gradual a escala global (figura A2.2). Aquest augment de les temperatures mitjanes s'ha produït al mateix temps que s'incrementaven les concentracions de gasos amb efecte d'hivernacle a l'atmosfera (figura A2.3). Semblaria força evident, doncs, que hi ha una relació causa-efecte entre l'evolució de la temperatura i la de la concentració atmosfèrica de gasos amb efecte d'hivernacle (principalment el diòxid de carboni o CO₂). A partir d'aquesta observació, es posen de manifest altres aspectes que cal estudiar, com per exemple quins són els marges de variabilitat natural de la temperatura i del CO₂ en la història recent del planeta, la velocitat en que s'han produït aquests increments de temperatura i CO₂ (anòmals en el marc de la variabilitat natural del sistema climàtic), la possible reacció del planeta en cas que s'hagin assolit valors semblants en el passat i, finalment, la possible contribució d'altres factors a l'increment de la temperatura de l'aire.

A2.2.1. La temperatura

Durant 4.000 milions d'anys, la Terra s'ha mantingut dins d'un estret marge de condicions ambientals, les quals han permès la presència d'aigua líquida i, per tant, l'existència de vida. Al llarg d'aquests anys, però, les condicions climàtiques han anat variant constantment (dins d'uns marges). Així, per exemple, la Terra està experimentant un procés de refredament des de fa una trentena de milions d'anys (aproximadament des que l'Antàrtida es va recobrir d'un casquet polar).

De fet, el clima de la Terra ha oscil·lat entre períodes més càlids que l'actual i èpoques molt més fredes, en els quals àrees extenses del planeta

van estar cobertes de gel. El període actual és relativament fred, com ho demostra el fet que els pols estiguin recoberts per gel (aquest és un fenomen que va començar fa una quinzena de milions d'anys, sobretot a l'entrar al període Quaternari, ara fa uns 2,5 milions d'anys). Altres períodes relativament freds es van donar fa 280 (en la transició del període Carbonífer al Pèrmic), 440, 600-800 i 2.200-2.500 milions d'anys. La magnitud global d'aquests refredaments –i posteriors escalfaments– al llarg de desenes de milions d'anys encara no ha estat determinada a causa de la manca de *proxis* climàtiques que permetin quantificar amb precisió canvis de temperatura que s'hagin produït centenars de milers d'anys enrera. En tot cas, però, hi ha prou restes geològiques que demostren el caràcter canviant del clima.

A partir de registres geològics més recents –del Quaternari– alguns estudis intenten donar una idea de la magnitud dels canvis experimentats pel clima de la Terra. Per exemple, utilitzant una *proxi* geoquímica, l' U^{K}_{37} (Rosell Melé, 2003) s'ha determinat que a la vora de Namíbia, a l'Atlàntic, les temperatures del mar han disminuït al voltant de 10°C durant els darrers 4,5 milions d'anys (figura A2.4). És possible que en altres indrets del planeta la davallada de temperatures durant aquest període fos més petita, però aquest fet encara està per determinar.

En els estudis paleoclimàtics, una de les mesures més utilitzades en sediments marins és la mesura de la relació entre la quantitat d'isòtops d'oxigen (^{18}O i ^{16}O , expressada com $\delta^{18}O$) en els esquelets calcaris d'organismes microscòpics marins. Aquesta mesura ofereix, essencialment, dos senyals climàtics combinats. Un, de caràcter local, és la temperatura del mar on vivien els organismes analitzats. L'altre, global, és el volum de gel continental i, per tant, el nivell del mar (per a més informació, vegeu Lowe and Walker, 1997). El que es mesura és el fraccionament dels isòtops naturals d'oxigen de l'aigua de mar. Les molècules d'aigua que contenen l'isòtop d'oxigen més lleu-

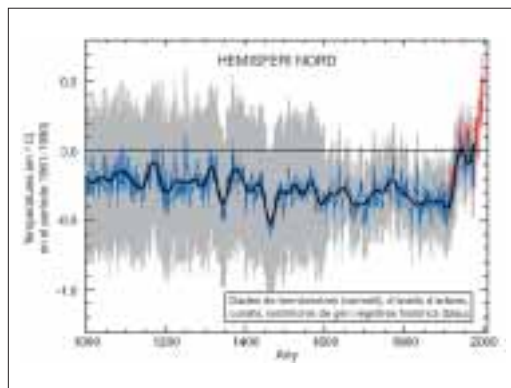


Figura A2.2. Reconstrucció anual (corba blava i vermella) i de la mitjana de cada 50 anys (corba negra) de les variacions de la temperatura de l'aire, respecte la mitjana, durant l'últim mil·lenni a l'hemisferi nord (Mann et al., 1999). L'interval de confiança (95%) de les variacions anuals està representat per la regió grisa. La incertesa s'incrementa per als resultats més antics degut al menor nombre de dades disponibles i al fet que estan obtinguts de reconstruccions estimades amb *proxis* climàtiques. Només la corba vermella està obtinguda amb dades instrumentals.
Font: IPCC, 2001.

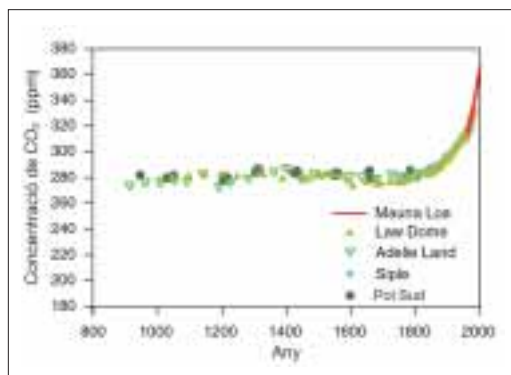


Figura A2.3. Concentració de CO_2 a l'atmosfera en els darrers 1.000 anys. Els resultats s'han obtingut a partir de la mesura directa de mostres atmosfèriques durant dècades recents a Mauna Loa, així com de l'estudi de testmonis de gel de l'Antàrtida.
Font: IPCC, 2001.

ger (^{16}O) són més volàtils que les que tenen l'isòtop més pesant. Per tant, el vapor d'aigua de l'atmosfera, la pluja, neu i les glaceres tenen una proporció més alta d'aigua amb ^{16}O . Com més gel s'acumula als continents, a les glaceres i als casquets polars, menys molècules amb ^{16}O hi ha al mar. Com més calenta és la temperatura del mar, més ^{18}O s'evapora, i viceversa.

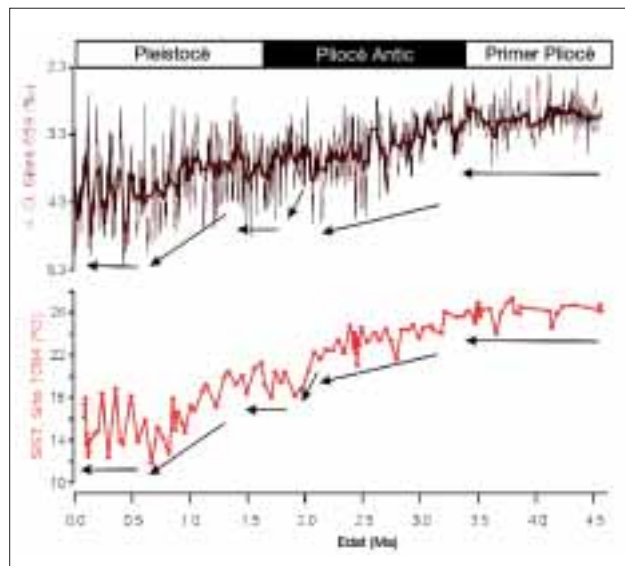


Figura A2.4. Registres paleoclimàtics de testimonis sedimentaris marins de l'Atlàntic, vora les costes d'Àfrica, dels darrers 4,5 milions d'anys (Ma). El registre superior fou obtingut a la vora de les costes de Mauritània (Tiedemann et al., 1994) i correspon a isòtops d'oxigen ($\delta^{18}\text{O}$) mesurats en foraminífers bentònics, que és una *proxí* per al volum de gel continental. La línia més prima correspon als resultats originals i la més prima als resultats promitjats (20 point running mean). El registre inferior fou obtingut a la vora les costes de Namíbia (Marlow et al., 2000) i és de l'índex U_{37}^K , una *proxí* per les temperatures mitjanes anuals de la superfície del mar.

Els organismes marins fan servir l'aigua que els envolta per sintetitzar els seus esquelets i, si s'analitza la proporció d'isòtops d'oxigen en aquests esquelets es constata que és la mateixa que hi ha en l'aigua que els envolta. Per tant, si es mesura el $\delta^{18}\text{O}$ en fòssils marins, s'obté una estimació de la proporció del $\delta^{18}\text{O}$ de l'aigua del mar quan l'organisme era viu.

El que és realment útil és mesurar el $\delta^{18}\text{O}$ en fòssils de zones on la temperatura del mar variï molt poc, com aquells que viuen en els fons de l'oceà on les temperatures estan quasi sempre al voltant dels 4°C. D'aquesta manera, s'obté una estimació de la quantitat d'aigua atrapada en els continents, que majoritàriament està en forma de gel. Quan es va fer aquesta mesura en organismes calcaris en sediments marins (foraminífers, un tipus de zooplàncton) es va obtenir un dels registres clàssics de la paleoclimatologia (un exemple és en la part superior de la figura A2.4),

que mostra com des de fa milions d'anys s'ha anat acumulant gel als continents i, per tant, globalment el clima s'ha anat refredant.

La figura A2.4 també evidencia l'existència de cicles climàtics. Així, la Terra oscil·la entre èpoques relativament fredes (glacials) i més càlides (interglacials), d'una manera progressiva i constant. Aquest canvis se succeeixen al mateix ritme en què varia la insolació, que és funció de paràmetres astronòmics recollits dins la teoria de Milankovitch. Aquest matemàtic serbi, tot i no ser el primer en proposar aquesta teoria, va demostrar d'una forma convincent com l'aparició de les èpoques glacials està relacionada amb l'excentricitat de l'òrbita de la Terra i de la inclinació i precessió del seu eix de rotació. Aquests canvis astronòmics són molt constants i s'han anat repetint des de fa molts milions d'anys en cicles d'aproximadament

23.000, 41.000 i 100.000 anys (Shackleton et al., 1988). Un dels fets més sorprenents d'aquests cicles és que les variacions en la radiació solar que arriba a la Terra com a conseqüència dels canvis en l'excentricitat de l'òrbita planetària són insuficients per explicar la magnitud dels cicles climàtics, malgrat que ambdós es donen en cicles de 100.000 anys molt marcats (Imbrie et al., 1993). D'alguna manera, les petites variacions en l'energia que es rep del sol són amplificades o magnificades per retroaccions, per processos naturals encara poc entesos (Shackleton, 2000). Hi ha sistemes de la Terra (com la circulació oceànica o la biosfera) que actuen com amplificadors o amortidors de canvis en el balanç energètic de la Terra amb l'espai.

Fent servir la teoria de Milankovitch com a base es pot predir que, en principi, l'actual període interglacial s'acabarà d'aquí a 50.000 anys i que el proper màxim glacial serà d'aquí a 100.000

anys (figura A2.5). Aquestes previsions són vàlides si no es tenen en compte els possibles efectes de les activitats antròpiques sobre el clima.

De fet, durant la dècada dels anys 60, la preocupació sobre el clima era per saber quan seria el següent període glacial, més que no pas sobre l'escalfament global (Kukla et al., 1972). Cal dir que és bo que encara faltin anys per a la propera gran glaciació, ja que la magnitud dels canvis de temperatura entre períodes glacials i interglacials és de 5-6°C graus de temperatura i, per tant, és més gran que la de l'escalfament global registrat fins ara, el qual arriba, globalment, al voltant d'un grau. Actualment la Terra es troba en un període interglacial el qual, com tots els períodes interglacials, és lluny de ser climatològicament estable (encara que ho és més que no pas un període glacial). Durant les èpoques interglacials, la magnitud dels canvis ràpids (els que es produeixen en un parell de segles o menys) sembla ser de no més de 2-3°C de temperatura, com queda reflectit a l'exemple de la figura A2.6

En aquest registre també queda ben palès que les temperatures de la regió estudiada i, probablement, de la major part d'Europa del nord i la regió de l'Atlàntic Nord han anat davallant des de fa poc més de 7.000 anys, durant l'Holocè (Marchal et al., 2002), encara que en altres indrets la tendència sigui, precisament, l'oposada (Davis et al., 2003; Rimbu et al., 2003). Així doncs, en determinades zones del planeta actualment no s'estaria en la situació de màxim escalfament global, on sí es va estar fa milers d'anys. És més, en el passat s'han donat períodes interglacials més càlids que l'actual i, en alguns casos, les oscil·lacions de les temperatures han estat notables (Chapman and Shackleton, 1998; Kukla et al., 2002; Petit et al., 1999; Shackleton et al., 1988). Per tant, les temperatures actuals no són inusuals i no resultaria gens d'estrany que s'incrementessin més de forma natural en el futur. Això no es pot interpretar, en cap cas, com un menyspreu cap a les conseqüències i causes de l'escalfament global actual. Al capdavall, l'escalfament del segle xx trenca la relativa estabili-

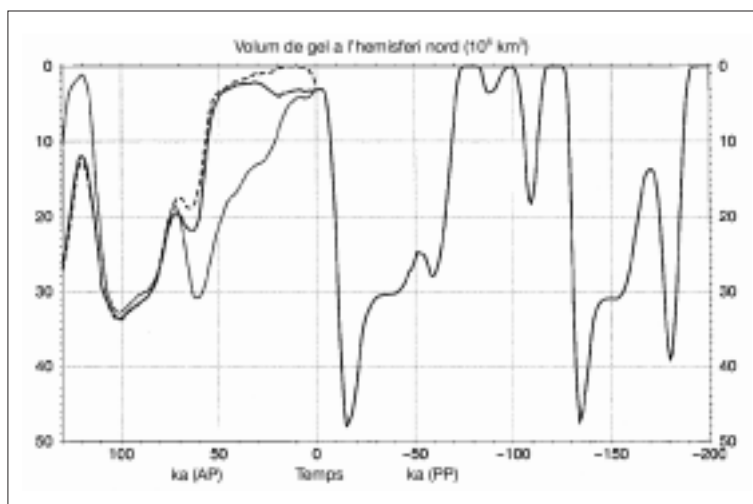


Figura A2.5. Simulació del volum de gel continental a l'hemisferi nord, amb el model LLN 2-D, per als darrers 200.000 anys i per als propers 130.000 anys. El volum de gel s'incrementa cap avall. Les diferents línies representen els resultats de la simulació per als propers 130.000 anys en funció de la concentració atmosfèrica de CO₂. S'han considerat tres escenaris: concentracions de CO₂ que varien d'acord amb pautes naturals (línia contínua) i concentracions constants per als propers 130.000 anys a 210 ppm (línia de punts) i a 750 ppm (línia discontinua).

Font: Berger and Loutre, 1997; Loutre and Berger, 2.000b.

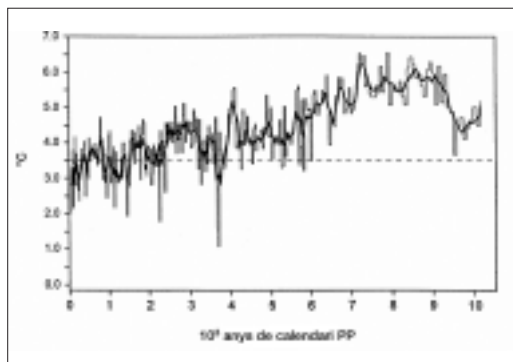


Figura A2.6. Reconstrucció de les paleotemperatures del nord de Noruega durant 10.000 anys a partir dels isòtops d'oxigen d'una estalagmita a la cova Mo i Rana.

Font: Lauritzen and Lundberg, 1999; Linge et al., 2001.

tat climàtica dels darrers 1.000 anys a l'hemisferi Nord (figura A2.2). Els resultats dels quals es disposa actualment mostren que el canvi de tendència fa que l'escalfament global iniciat al segle xx sigui inusual. És lícit, per tant, que es generi certa preocupació sobre aquest fenomen i se'n vulguin aclarir les causes.

A2.2.2. La contribució del diòxid de carboni a l'efecte d'hivernacle

Si es comparen les figures A2.2 i A2.3, no queden gaire dubtes sobre la contribució del CO_2 i altres gasos amb efecte d'hivernacle a l'increment de temperatura experimentat durant el segle xx. Al capdavant és lògic esperar que, com més CO_2 hi hagi a l'atmosfera, més augmenti la capacitat d'aquesta d'absorbir energia, com ja s'ha descrit en el capítol anterior. Per altra banda, s'ha de tenir en compte que el clima no només depèn del CO_2 o d'altres GEH. Així com hi ha factors que fan augmentar la temperatura, n'hi ha d'altres que fan que disminueixi, com per exemple els aerosols (que reflecteixen la llum del sol), la concentració dels quals a l'atmosfera segueix una tendència semblant a la d'altres gasos com a conseqüència de les emissions antropogèniques (figura A2.7). Estudiant només els registres dels darrers segles, corresponents a les concentracions atmosfèriques de gasos i aerosols, és difícil demostrar de forma concloent el lligam entre clima i CO_2 .

L'estudi del testimoni de gel a l'Antàrtida i a Groenlàndia, juntament amb l'anàlisi detallada de sediment marins i de llacs amb taxes elevades d'acumulació de sediments, han revolucionat la forma d'entendre el clima. En primer lloc, pel fet de mostrar l'estreta relació entre l'abundància dels GEH i el clima i, després, perquè han revelat la freqüència dels episodis de canvi climàtic abrupte, a escales inferiors a un segle, tema que es discutirà a l'apartat següent.

El gel dels casquets polars conté l'atmosfera congelada de fa centenars de milers d'anys. A l'Antàrtida hi ha els rastres de l'atmosfera de quasi bé l'últim mig milió d'anys (figura A2.8; Petit et al., 1999). A Groenlàndia, els testimonis de gel recuperats abasten els últims 110.000 anys (Johnsen et al., 1972). En part, això es deu al fet que hi neva més, la qual cosa comporta que els registres de gel de Groenlàndia siguin de més alta resolució temporal i que fins i tot permetin mesurar la variabilitat anual en la composició de l'atmosfera. En el registre de l'atmosfera de Vostok (en referència a l'estació russa d'on s'obtingueren les mostres), a l'Antàrtida, els valors més alts de GEH (diòxid de carboni i metà) es troben durant els períodes interglacials i els més baixos durant els glacials (figura A2.8). La correlació entre els valors de metà i diòxid de carboni amb les temperatures sobre l'Antàrtida (estimades mitjançant la mesura de les relacions isotòpiques de l'hidrogen del gel) indica un estret lligam entre aquests gasos i el clima i demostren el dinamisme dels embornals de carboni oceànics i continentals en resposta als canvis climàtics.

Ara bé, encara no s'entén ben bé com els GEH interaccionen amb el sistema climàtic. Les concentracions dels gasos augmenten milers d'anys abans que els grans casquets polars de les èpoques glacials es desglacin totalment o parcial (Shackleton, 2000). Així, no està totalment clar si és el canvi en els GEH o la insolació solar, o tots dos, els que causen el pas d'una època glacial a l'interglacial i a l'inrevés. Sigui quin sigui el mecanisme iniciador, tampoc està clar què fa

que el metà i diòxid de carboni fluctuïn d'una manera natural a escales de milers d'anys.

De tota manera, en el context actual d'increment de GEH queda ben palès, mirant la figura A2.8, que les concentracions de diòxid de carboni són les més altes dels darrers 420.000 anys i no tenen precedent natural en tot aquest temps. La concentració de diòxid de carboni actual és de 370 ppm, mentre que els màxims dels darrers tres interglacials no han sobrepassat les 300 ppm, encara que normalment els valors assolits en èpoques anàlogues a l'actual estan al voltant de 280 ppm (similar a les concentracions d'aquest gas en l'era preindustrial). Al ritme actual de creixement del contingut de diòxid de carboni a l'atmosfera, es pot preveure que d'aquí a pocs anys el creixement de la concentració d'aquest gas a l'atmosfera, prenent com a referència el segle XIX, ja sobrepassi de llarg el creixement de les con-

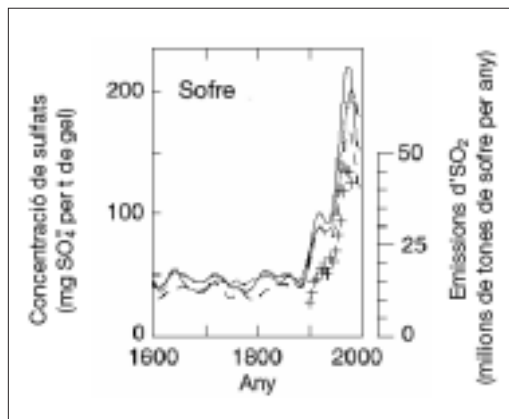


Figura A2.7. Influència de les emissions industrials de diòxid de sofre (SO_2) en latituds mitjanes sobre la concentració de sulfat a l'hemisferi nord, que contribueix al refredament de l'atmosfera. La sèrie temporal està estimada a partir de l'anàlisi de sulfat en testimons de gel de Groenlàndia (corresponent a les varies línies contínues), de les quals s'ha restat efecte de les erupcions volcàniques. Les creus corresponen a les emissions estimades de SO_2 .

Font: IPCC, 2001.

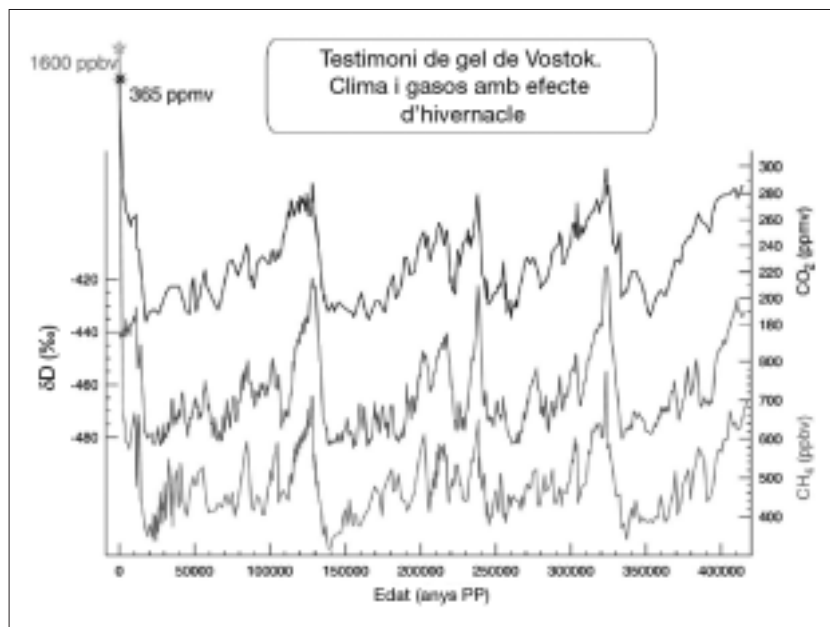


Figura A2.8. Canvis en els nivells de gasos amb efecte d'hivernacle (diòxid de carboni i metà) durant els darrers quatre cicles climàtics, obtinguts de l'anàlisi del testimoni de gel de Vostok, a l'Antàrtida, i comparats amb els valors actuals d'aquests gasos. Les dades estan representades juntament amb un registre dels canvis de relacions isotòpiques del gel (δD) que equival al canvi de temperatures de l'aire a l'estació de Vostok (δD més negatiu equival a més fred). El mostratge dels testimons de gel es fa en unes condicions extremadament dures (l'estació russa de Vostok està a 3.488 m d'altitud, amb una temperatura mitja anual de $-55,5^\circ\text{C}$).

Font: Petit et al., 1999.

centracions atmosfèriques de CO₂ entre èpoques glacials (200ppm) i interglacials (280ppm). Pel que fa al metà, els seus valors actuals (1.600 ppb) ja són més del doble dels valors normals dels períodes interglacials (700 ppb) i el seu creixement des de l'època pre-industrial ha més que duplicat (900 ppb) el creixement normal des del màxim glacial fins l'interglacial (350ppb).

Encara que no s'acabin d'entendre exactament les conseqüències que es poden derivar d'aquests increments o que no es puguin demostrar, no és estrany que arreu del món hi hagi tanta gent preocupada pels nivells creixents de GEH a l'atmosfera. Realment, és un àmbit que encara presenta incerteses importants. Finalment, cal apuntar la preocupació creixent sobre la possibilitat que la pertorbació que l'increment dels GEH a l'atmosfera pugui causar sobre el clima pugui comportar reorganitzacions abruptes de part o de tot el sistema climàtic, com demostren els registres paleoclimàtics (aquest aspecte es tracta a l'apartat següent).

A2.3. El canvi natural abrupte del clima

A2.3.1. Mecanismes i pautes de canvi

Els canvis climàtics depenen de l'increment o davallada dels GEH, però també de la interacció d'elements interns (com l'atmosfera, la hidrosfera, la biosfera i la criosfera) i externs (com la variabilitat de la irradiació solar, la insolació, l'activitat volcànica, entre altres) del planeta, a través d'uns processos que tot just ara es comencen a comprendre. Ja s'ha discutit la influència de les variacions de l'òrbita de la Terra sobre el clima, a una escala de desenes de milers d'anys. A escales de temps curtes, factors com l'activitat volcànica o la variabilitat de l'activitat solar poden ser també importants.

Les erupcions volcàniques emeten milions de tones de gasos amb sofre i cendres a les capes altes de l'atmosfera, on poden ser transportats pel vent al voltant del planeta i poden romandre-hi durant anys. Els gasos es transformen en aerosols i, juntament amb les cendres, reflecteixen la llum del sol i refreden aquelles zones del planeta

on són presents. Amb el temps, aquests materials desapareixen de l'atmosfera i les temperatures tornen als valors anteriors (Zielinski, 2000).

Els anells de creixement dels arbres de les zones boreals d'Amèrica del Nord i d'Euràsia permeten reconstruir la història d'aquests episodis. La figura A2.9 mostra com les erupcions més potents han fet disminuir les temperatures de l'atmosfera. Això ha minvat el creixement dels arbres i ha quedat registrat en els seus anells de creixement, que són més estrets i densos quan corresponen a anys amb erupcions volcàniques (ja que feia més fred). La majoria d'erupcions només afecten les temperatures d'un any, tot i que les més potents tenen efectes durant anys.

Els canvis que es produeixen en l'activitat solar afecten la producció de certs isòtops inestables a l'atmosfera (com el ¹⁰Be i ¹⁴C). Aquests canvis es troben registrats en testimonis de gel, anells dels arbres i altres registres més o menys exòtics. Hi ha un bon nombre d'arxius paleoclimàtics que mostren una correlació entre aquestes *proxis* per l'activitat solar i el clima i que suggereixen que la variabilitat en la radiació solar pot explicar alguns aspectes de la variabilitat climàtica en escales de temps compreses entre uns anys i uns quants centenars d'anys (tal i com mostra la figura A2.10). Cal dir, però, que no hi ha un consens total sobre aquest tema, encara que en el estudis climàtics hi ha poques qüestions on s'assoleixi un consens total.

El sistema climàtic (o, més ben dit, els seus subsistemes) no sempre respon d'una manera immediata a una determinada pertorbació. Els models climàtics poden simular situacions en les que, quan alguns factors de canvi comencen a variar, les variables climàtiques continuen inalterades o mostren una variació molt petita fins que es creua un llindar. A partir d'aquest moment, el sistema es reorganitza ràpidament fins arribar a una altra situació de relatiu equilibri. En altres paraules, el sistema climàtic es pot comportar de forma no lineal (Stocker, 2000).

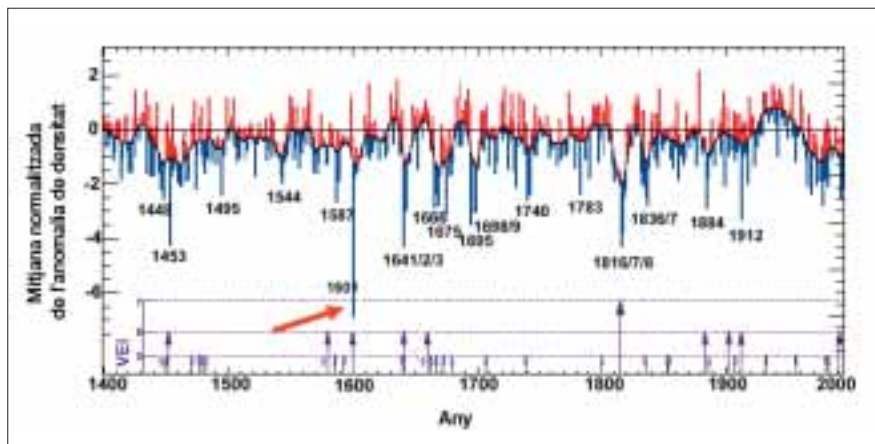


Figura A2.9. Registre de les temperatures en les zones boscoses boreals de l'hemisferi nord, a la primavera/estiu, estimades a partir de la densitat dels anells dels arbres. El registre s'ha comparat amb les erupcions volcàniques més potents de les quals es té constància en els darrers 600 anys, la magnitud de les quals és indicada per l'índex VEI (Volcanic Explosivity Index). Totes les erupcions conegudes han afectat les temperatures de l'hemisferi nord. La majoria només han tingut un impacte anual, excepte les dels anys 1641 i 1816, que han durat uns quants anys.

Font: Briffa et al., 1998.

Aquest tipus de situacions són molt corrents. Per exemple, i utilitzant un exemple citat abastament en la literatura, si els ocupants d'una canoa s'inclinen lleugerament cap a un costat, la canoa oscil·la una mica, però si s'inclinen una mica més, la barca es capgira completament i ells cauen a l'aigua. De fet, en el sistema climàtic s'han identificat molts llindars que operen a diverses escales de temps i que donen lloc a canvis, per la qual cosa s'anomenen iniciadors (de l'anglès *triggers*). Aquests llindars poden ser atribuïbles al fet que els continents assoleixin una determinada configuració (això explicaria el model de circulació oceànica actual), que les condicions orbitals modifiquin la insolació (tal i com va passar en el procés de desertització del Sàhara) o que es produeixi el vessament de grans llacs glacials cap a l'oceà (relacionat amb el *Younger Dryas*, per exemple; figura A2.11), però també es poden explicar per la producció de GEH pels humans o per processos caòtics. Els canvis inicials poden ser amplificats per retroaccions que fan que un petit forçament del sistema inicial tingui uns efectes molt més grans que la causa que els produeix sobre el sistema climàtic.

El sistema climàtic també pot tenir diversos patrons estables de funcionament, encara que els factors de canvi no variïn gaire. Un exemple d'això seria la circulació oceànica, que pot variar molt ràpidament entre diferents patrons estables si la salinitat superficial de l'Atlàntic Nord davalla per sota d'uns determinats valors (Rahmstorf, 2002; Stommel, 1961). Hi ha models climàtics que podrien demostrar que, des d'un punt de

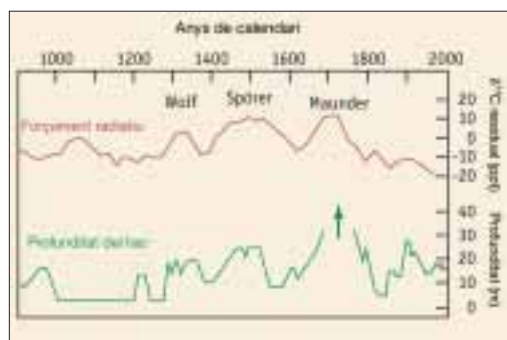


Figura A2.10. Exemple del possible efecte de la variabilitat solar sobre el clima. Els registres mostren una comparació entre la profunditat del llac Crescent Island Crater a Etiòpia per estimar la incidència de sequeres prolongades, i la producció a l'atmosfera de ^{14}C , que és una proxy per l'activitat solar.

Font: Verschuren et al., 2000.

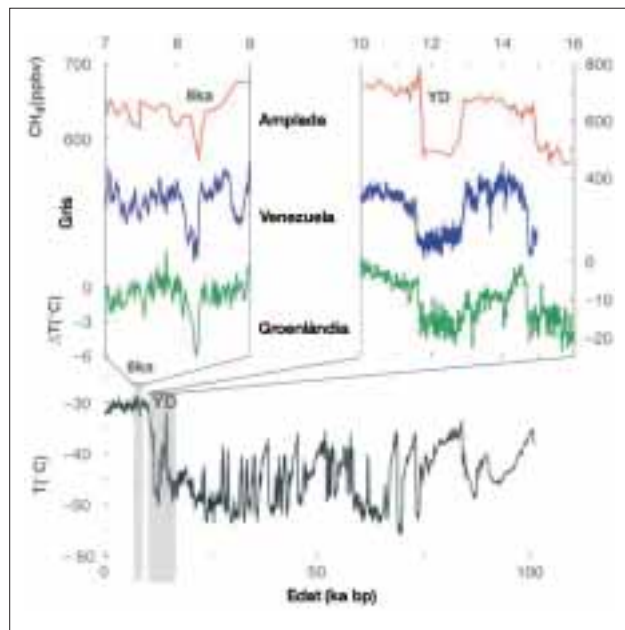


Figura A2.11. Exemples de canvi climàtic abrupte. La gràfica inferior mostra la història de les temperatures de l'aire al mig de Groenlàndia durant els darrers 100.000 anys. Les dues gràfiques superiors són un zoom en els episodis climàtics coneguts com el Younger Dryas (YD) i l'episodi fred experimentat fa 8.200 anys. Els valors de metà (CH₄) indiquen canvis globals en zones d'aiguamolls, on es produeix aquest gas. El registre anomenat «grey» reflecteix canvis en el règim de pluges a la conca de Cariaco, Venezuela.

Font: Alley et al., 2003.

vista climàtic, el Sàhara és tan estable ara, com a desert, com quan estava cobert de vegetació, fa menys de 10.000 anys (Claussen, 1998). Això també és rellevant per explicar perquè en els registres paleoclimàtics es poden observar tant sovint canvis climàtics extremadament ràpids, que es produeixen en qüestió de poques desenes o centenars d'anys. Les troballes més emblemàtiques sobre aquest tipus de canvi corresponen bàsicament a l'àrea de l'Atlàntic Nord.

A2.3.2. Exemples i conseqüències del canvi climàtic

A2.3.2.1. La circulació termohalina

S'ha demostrat a bastament que durant l'època glacial la variabilitat de les temperatures va ser molt elevada (entre 8 i 16°C), especialment a latituds altes, i que els canvis tèrmics es van produir

repetidament en el termini d'una dècada o menys (Severinghaus et al., 1998; Stocker, 2000). Els gels de Groenlàndia contenen un registre d'aquests canvis (figura A2.11), que s'anomenen *cicles de Dansgaard-Oeschger* (DO) (Dansgaard et al., 1993). És força probable que aquests cicles es deuguin a la variabilitat de l'anomenada circulació termohalina oceànica (Ganapolski and Rahmstorf, 2001; per a una discussió detallada d'altres hipòtesis, vegeu Broecker, 2003).

De forma molt simplificada, la circulació general oceànica es pot descriure com una cinta contínua d'aigua que es mou de sud a nord i de nord a sud a cavall de l'oceà Atlàntic, amb els extrems situats al nord del mar d'Islàndia i a la vora de l'Antàrtida. En el seu moviment de sud a nord, el corrent d'aigua és superficial, mentre que quan el sentit és invers ho fa pel fons de l'oceà. La velocitat de la cinta ve donada pel gradient de salinitat a l'Atlàntic Nord (des de la superfície cap al fons), que fa que l'aigua en superfície sigui més densa que la de sota i que, per tant, s'enfonsi. En el seu moviment, aquest corrent transporta calor des del sud cap al nord del planeta. Actualment, aquest flux d'aigua –i de calor– està en funcionament, cosa que fa que al nord d'Europa (com a Noruega, per exemple) hi hagi unes condicions climàtiques molt més benignes que al Canadà. Si s'aturés, però, l'Atlàntic Nord i Europa es podrien refredar.

Molts paleoceanògrafs creuen que és normal que es produeixin canvis periòdics en la salinitat superficial de l'oceà Atlàntic, a causa del desglaç o d'increments de la precipitació. Si tenen lloc en períodes interglacials, el canvi climàtic que se'n deriva té una magnitud més petita que si succeeixen en períodes glacials. En la situació d'escalfament global que està experimentant la Terra, s'ha apuntat que les aigües polars superfi-

cials podrien esdevenir més càlides, la qual cosa podria alentir la circulació termohalina en fer disminuir la densitat de l'aigua superficial. A més, s'incrementaria el transport atmosfèric de vapor d'aigua a l'incrementar-se l'evaporació i aquest vapor, en precipitar, faria baixar la salinitat de l'aigua polar. Tot això podria comportar una aturada de la circulació termohalina i una reorganització de la circulació oceànica, amb conseqüències encara difícils de predir, però entre les quals podria haver-hi un refredament de la regió de l'Atlàntic Nord (Rahmstorf, 2002).

Els registres climàtics demostren que s'han produït canvis climàtics abruptes de forma freqüent i repetida. Ara per ara, la seva causa és incerta i, encara que s'hagin descrit els mecanismes que els poden explicar i que la seva modelització estigui millorant, els models que s'utilitzen per establir els impactes dels efectes antròpics sobre el clima no simulen prou acuradament els climes del passat i els canvis que s'han produït al llarg del temps. El problema no seria, segons sembla, la interpretació errònia de les reconstruccions paleoclimàtiques, sinó l'omissió d'alguns factors de canvi naturals en les simulacions matemàtiques i en el propi disseny d'aquestes (Manabe and Stouffer, 1997; Pinot et al., 1999; Stocker, 2002).

Actualment, el debat sobre el canvi climàtic se centra en els efectes de les emissions dels GEH sobre el clima i els seus impactes sobre els humans i els ecosistemes, però no es té gaire present la possibilitat que els grans canvis climàtics que es puguin produir siguin ràpids. De fet, la literatura sobre els impactes del canvi climàtic utilitza fonamentalment escenaris de canvi lents i graduals (per exemple, Streets and Glantz, 2000) i, en general, s'ignora la possibilitat real que es produeixin canvis sobtats.

A2.3.2.2. L'efecte del clima sobre les civilitzacions: l'exemple de les sequeres

Els registres paleoclimàtics mostren que fa quasi 10.000 anys que hi ha un clima relativament càlid, com correspon a un estadi interglacial. En

aquest període no hi ha hagut oscil·lacions climàtiques comparables a les de l'últim període glacial, excepte algunes excepcions puntuals (figura A2.11). No obstant això, sí que hi ha hagut anomalies climàtiques, com sequeres, que han durat dècades (tal i com il·lustra la figura A2.10) i de les quals encara s'han d'explicar les causes. En tot cas és probable que, si avui ens afectessin aquestes sequeres prolongades, els efectes fossin catastròfics.

Les restes arqueològiques existents arreu del món ofereixen molts exemples de civilitzacions que han desaparegut o entrat en decadència de forma sobtada. En alguns casos, aquest fet es pot relacionar amb canvis ambientals ràpids i persistents. Un exemple seria el col·lapse de la civilització acàdia, que es va produir fa 4.200 anys (figura A2.12). Els acadis van dominar Mesopotàmia entre els anys 4300-4200 AC. L'existència d'aquest imperi es basava en l'agricultura que es practicava a les planures del nord de Mesopotàmia, la qual depenia de les pluges que queien en aquesta zona semi-àrida. Inicialment, la desintegració de l'imperi es va atribuir a problemes polítics.

No obstant això, les excavacions realitzades mostraren indicis que la zona fou abandonada ràpidament a causa de l'arribada d'un període àrid (Weiss et al., 1993). Aquesta hipòtesi va ser corroborada posteriorment per l'anàlisi de testimonis marins extrets al golf d'Oman, els quals van permetre detectar una deposició més alta de pols originària de Mesopotàmia en el fons marí coincidint amb el període en el qual va desaparèixer aquesta civilització (Cullen et al., 2000). També s'han trobat evidències de l'arribada d'aquest període més àrid a Turquia, Israel i Egipte.

Un prolongat període de sequera també podria ser el responsable del col·lapse i posterior desaparició de l'imperi maia (cap a l'any 900 DC) tot just quan es trobava en el seu zenit (figura A2.13). Tot i que s'han apuntat les guerres, els problemes socials, la desforestació i la sobrepoblació com a

principals causes d'aquest fet, cal tenir present que la desintegració de l'imperi maia va tenir lloc durant el període de sequera més forta que ha experimentat l'Amèrica Central en els darrers 2.000 anys (Hodell et al., 2001; Haug et al., 2003).

Aquests i altres exemples semblen indicar que les societats complexes, encara que poden reaccionar als canvis climàtics, no tenen un grau d'a-

daptació infinit. Aquests canvis, però, també afecten l'esfera ecològica i fenòmens com el *Younger Dryas* o el refredament experimentat fa 8.200 anys (figura A2.11) causaren o contribuïren a que, en un període que comprèn poques dècades, es produís l'extinció de diverses espècies de mamífers, així com canvis ens els ecosistemes (Petee, 2000; Tinner and Lotter, 2001). Les antigues civilitzacions s'enfrontaren a canvis

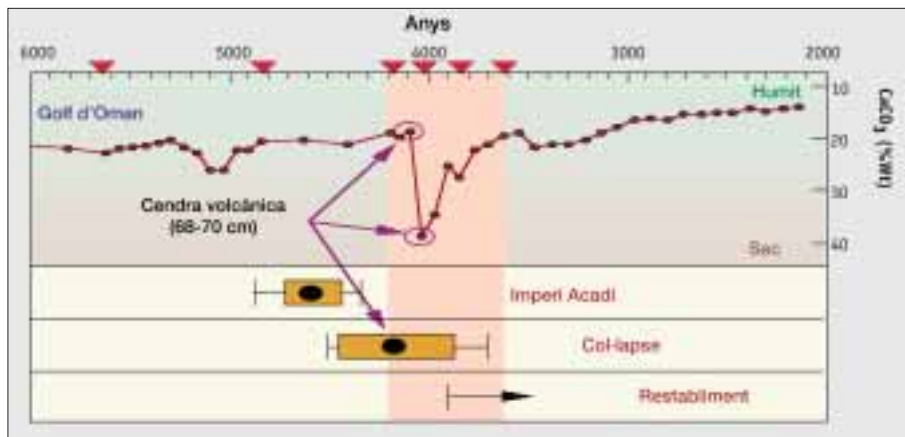


Figura A2.12. Registre del contingut de carbonat (CaCO_3) en un testimoni sedimentari marí del golf d'Oman de fa 4.000 anys. La disminució en els continguts de carbonat ve donada per un increment en la deposició de pols, que es pot relacionar amb sequeres en les regions veïnes a l'imperi Acadi (Mesopotàmia). Aquesta sequera prolongada va coincidir amb el col·lapse de l'imperi Acadi.
Font: Cullen et al., 2000.

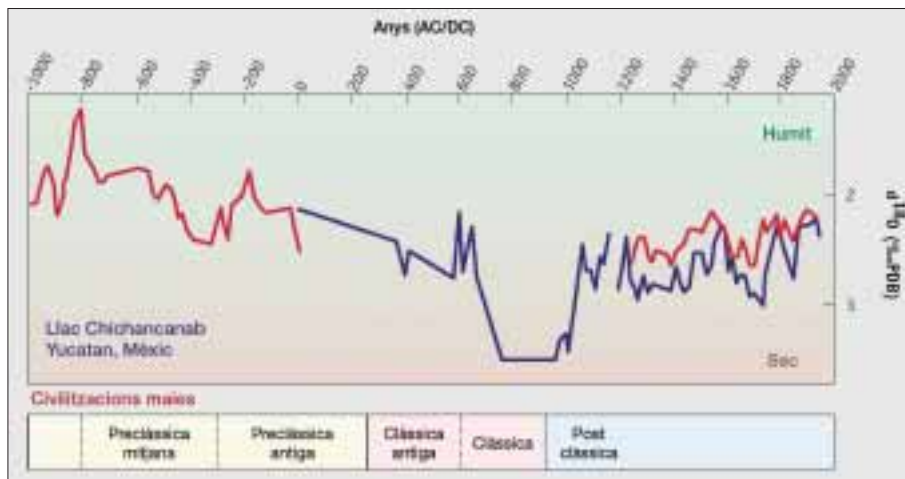


Figura A2.13. El col·lapse de la civilització maia coincidí amb una forta i prolongada sequera. Aquesta s'ha inferit de la mesura d'isòtops d'oxigen en microfòssils (ostracodes) en sediments de llacs.
Font: extret de Alverson et al., 2001.

climàtics molt més forts que els actuals i molt més persistents en el temps. Encara que potser el clima no ha estat l'únic factor desencadenant de la desaparició de determinades civilitzacions, espècies o ecosistemes, sí que poden haver-hi contribuït significativament. La majoria de les infraestructures (per exemple preses, canalitzacions, estructures per a la protecció de les costes) estan dissenyades per a tolerar extrems climàtics d'acord amb la informació que es té dels registres instrumentals. Aquests són massa curts per descriure adequadament la variabilitat real del clima. Els estudis paleoclimàtics permeten provar si la probabilitat dels conceptes com «una inundació cada 100 anys» és una quimera o realitat.

A2.4. Tendències naturals dels canvis climàtics a Catalunya en el context global

L'extrapolació de les tendències de canvi climàtic global a Catalunya no és una tasca trivial. Com es descriu en els capítols posteriors d'aquest estudi, la climatologia de Catalunya és especialment complicada com a resultat de les característiques fisiogràfiques del país. Aquesta variabilitat climatològica fa que estudis paleoclimàtics duts a terme en diferents punts del territori continguin un fort component local i sovint no siguin representatius dels canvis climàtics en zones extenses del territori. D'altra banda, encara que actualment la recerca paleoclimàtica al nostre país estigui representada per un bon nombre de laboratoris, fins fa pocs anys l'estudi dels canvis climàtics a Catalunya ha estat duta a terme per un nombre reduït de grups de recerca. És per això que, en comparació a altres països, la història climàtica de Catalunya encara és força desconeguda.

El clima de Catalunya respon, de forma genèrica, a canvis naturals del sistema climàtic que tenen lloc a escala global, com serien les glaciacions o la variabilitat a més curt termini (mil·lenis o segles) d'èpoques glacials o interglacials. Tenint en compte el que ha passat a la resta del planeta és d'esperar que, a la zona que avui correspon a Ca-

talunya, el clima hagi experimentat un refredament durant els darrers milions d'anys. En aquest sentit, un estudi fet sobre una seqüència pol·línica al Garraf trobà que les temperatures mitjanes anuals en aquesta zona durant el Pliocè van ser entre 1 i 5 °C més altes que avui, i que la precipitació mitjana anual va ser entre 400 i 1.000 mm més alta (Fauquette et al., 1998). La seqüència pol·línica de l'Abric Romaní (a la vora de Capellades), corresponent a un període comprès entre 40.000 i 70.000 anys enrera, ofereix un exemple notable de com la variabilitat climàtica de Catalunya, a escales de milers i centenars d'anys, està lligada a la de la regió de l'Atlàntic Nord i, per tant, als canvis de la circulació oceànica (Burjachs and Julià, 1994).

Una de les primeres seqüències contínues que permeteren lligar el clima de Catalunya amb el dels patrons globals a llarg termini fou un registre de pol·len del llac de Banyoles, que abasta els darrers 30.000 anys, produït per Pérez-Obiol i Julià (1994). Aquesta seqüència pol·línica mostrà com la vegetació present a la conca de drenatge del llac canvià en consonància amb el clima de la regió de l'Atlàntic Nord, amb oscil·lacions durant el període glacial i profundes variacions a l'acabament del període glacial. El registre mostrà com a partir d'aquest moment es passà d'una vegetació estèpica i amb matollars a una altra amb un predomini de l'estrat arbore. Posteriorment, durant els períodes *Bølling-Allerød* i *Younger Dryas*, hi hagué un època amb alternància de temporades fredes i càlides, abans de començar la relativa estabilitat de l'Holocè, ara fa uns 10.000 anys. La transició cap al clima més fred del Younger Dryas, després del període càlid de l'*Allerød*, va manifestar-se tant en zones d'alta muntanya com a la terra baixa, tal i com han mostrat Ponel et al. (1999) en l'estudi de restes d'insectes al massís del Carlit.

Tot i que l'Holocè va ser un període relativament estable des d'un punt de vista climàtic, es van produir uns canvis notables en la vegetació del país. Al començament d'aquest període, el clima

que hi havia a la costa i a les terres més baixes no era mediterrani. Així ho indica la vegetació temperada decidua existent en aquella època, la qual cosa implica que hi havia hiverns més freds que els actuals i que durant l'època de creixement dels arbres la temperatura era molt més freda que no pas ara (Burjachs et al., 1994; Huntley and Prentice, 1988; Pérez-Obiol, 1987; Pérez-Obiol, 1988; Planchais, 1985; Prentice et al., 1996; Riera i Mora, 1994; Riera i Mora and Esteban Amat, 1994). L'actual clima mediterrani, caracteritzat per un hivern suau i un estiu sec i calorós, es va anar estenent des del sud a Catalunya cap al nord del país (Jalut et al., 1997). Així, per exemple, mentre al sud-est peninsular aquestes condicions es donaven fa més de 10.000 anys, al sud de Catalunya no es comencen a donar fins fa uns 7.600 anys i, al centre i nord del país, fins entre 4.000 i 5.000 anys enrera (Jalut et al., 2000). En aquest temps la vegetació decidua va anar sent reemplaçada per l'escleròfila i, a partir de fa 2.900 anys, esdevingué habitual la presència de sequeres persistents a l'estiu.

Mitjançant l'anàlisi de grans de cereals trobats en jaciments arqueològics, s'ha determinat que actualment les condicions climàtiques de Catalunya són més àrides (menys pluges i temperatures més altes) que durant el neolític (fa 7.000-5.000 anys) i les edats del bronze (fa 5.000-3.000 anys) i el ferro (fa 3.000-2.200 anys) (Araus et al., 1997). En termes generals, sembla que des de fa mil·lenis el país està experimentant un increment de l'aridesa de forma natural, com també passa a la resta de la península Ibèrica i, sobretot, al sud-est peninsular. Aquesta tendència pot haver-se interromput en períodes com, per exemple, l'edat del ferro (fa 3.000 anys) i la Petita Edat del Gel (segles XIV al XVIII) (vegeu-ne discussió a Araus et al., 1997; Vallvé i Martín-Vide, 1998).

Les causes d'aquest increment de l'aridesa encara no són prou clares, però és molt probable que siguin naturals. Així, en una síntesi de sèries pol·líniques d'arreu d'Europa s'ha trobat que el

sud del continent europeu i el Mediterrani s'han anat escalfant de forma lineal des de fa 8.000 anys (figura A2.14) —abans, per tant, que hi hagués cap impacte antropogènic significatiu— i al mateix ritme que en èpoques recents, que és quan hi ha hagut els canvis ambientals d'origen antròpic més importants (Davis et al., 2003). A més, és força interessant que aquesta tendència a l'escalfament en el nostre territori és oposada a la que s'ha trobat al nord d'Europa (figura A2.6 i figura A2.14).

La magnitud de l'escalfament al sud d'Europa, des de fa 8.000 anys fins ara, s'ha estimat en 3°C, encara que localment pot haver-hi hagut variacions significatives a escala local a causa de les condicions fisiogràfiques específiques de cada lloc. Aquesta tendència ha estat confirmada per altres estudis basats en *proxis* no pol·líniques on s'ha trobat que al sud de França, a l'est de l'Estat espanyol i, en general, a la Mediterrània feia més fred, pluvia més i els nivells dels llacs eren més elevats a l'holocè mitja i anterior que no pas ara (Terral and Mengüal, 1999; Harrison and Digerfeldt, 1993; McDermott et al., 1999; Roca and Jullia, 1997; Giralt et al., 1999; Reed et al., 2001). Concretament, Terral i Mengüal (1999) van determinar, mitjançant l'estudi de restes d'olivera, que fa entre 8.000 i 4.000 anys les temperatures del Rosselló eren al voltant de 2°C més fredes que ara. Pel que fa a les condicions marines a la vora Catalunya, malauradament no es disposa de gaire informació. De fet, els estudis geogràficament més propers que analitzen sèries oceanogràfiques temporals contínues corresponen al golf de Lleó (Rohling and De Rijk, 1999; Rohling et al., 1998). Aquests estudis, juntament amb altres fets al mar d'Alboran (Cacho et al., 1999; Cacho et al., 2001), mostren que la Mediterrània ha respost a les grans oscil·lacions climàtiques de la regió de l'Atlàntic Nord durant el darrer cicle glacial amb, per exemple, fortes davallades i pujades de temperatura.

La figura A2.15 mostra una reconstrucció de les temperatures estivals de les aigües superficials

del mar Mediterrani durant el darrer màxim glacial (fa uns 21.000 anys), obtinguda pels Drs Hayes i Kucera de la Royal Holloway University de Londres mitjançant l'estudi de l'abundància relativa de microfòssils.

Els valors estimats de les temperatures del mar oscil·len entre els 11 i els 13°C, clarament molt més freds que els que trobem actualment a l'estiu, que sobrepassen els 20°C. La formació de sapropels (dipòsits sedimentaris extremadament rics en matèria orgànica) són també una característica remarcable del Mediterrani, atès que actualment els sediments que s'acumulen a les conques mediterrànies tenen continguts molt baixos en matèria orgànica (ja que el mar és oligotròfic i altament oxigenat). La presència de sapropels indica que les condicions oceanogràfiques poden canviar radicalment, fent que s'acumulin al mar tasses de matèria orgànica similars a la de molts llacs i estuaris (Sancetta, 1999).

També és interessant identificar la freqüència i intensitat d'episodis climatològics extrems comuns a la zona mediterrània (com les inundacions i les sequeres). En aquest sentit, Vallvé i Martín-Vide han trobat que la freqüència d'i-

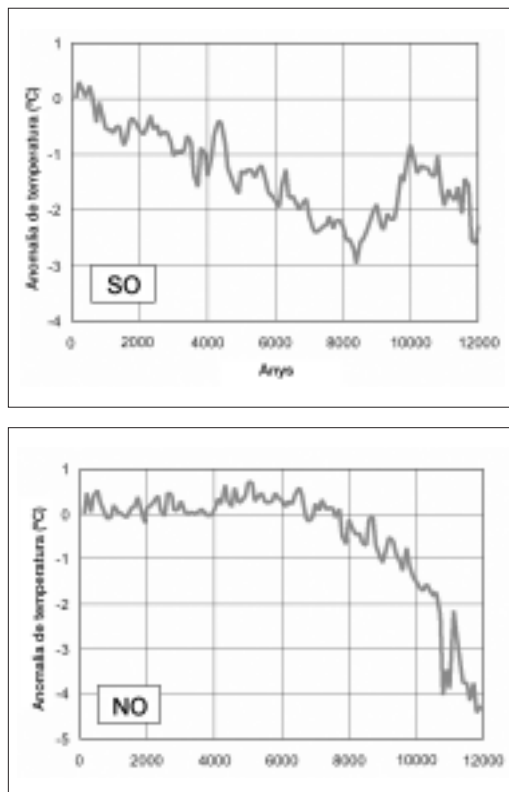


Figura A2.14. Reconstrucció de la variació en les temperatures mitjanes anuals de l'aire durant l'Holocè al sud-oest (SO) d'Europa (Península Ibèrica) i al nord-oest (NO), a partir d'una síntesi de registres pol·línics. Font: Davis et al., 2003).

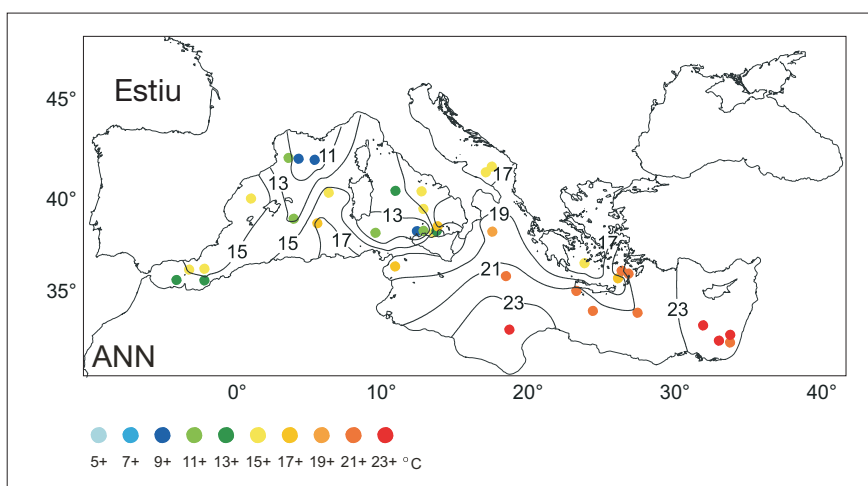


Figura A2.15. Temperatures superficials del mar Mediterrani a l'estiu en el darrer màxim glacial, al voltant de fa 21.000 anys. Els valors són estimats a partir de la mesura de l'abundància relativa d'espècies de foraminífers i anàlisi de les dades amb xarxes neuronals.

Font: Hayes, Kucera et al, submitted.

nundacions catastròfiques (aquelles que causen forts danys materials o la destrucció d'infraestructures, edificis i collites) al litoral català entre els segles XIV i XIX és més alta a la tardor, especialment a l'octubre i al sud del país.

En aquest mateix treball es mostra com la freqüència d'inundacions catastròfiques no és constant en el temps, sinó que és molt alta en certs períodes (els quals són seguits per èpoques de relativa calma). Així, a finals del segle XVI i començaments del XVII, a l'últim quart del segle XVIII i a mitjans del XIX, es produïren inundacions catastròfiques amb una freqüència molt per sobre de la mitjana, sent especialment dolents els anys 1603 i 1604. Els autors fan notar que aquests tres períodes de màxima freqüència pel que fa a les inundacions catastròfiques coincideixen amb la Petita Edat del Gel, que va del segle XIV al XIX, i que es poden associar –amb certa cautela– amb tres avanços de les glaceres del Grindelwald.

Les causes de tot plegat encara estan per determinar. No obstant això, aquestes constatacions permeten contextualitzar algunes inundacions catastròfiques recents. Per exemple, Llasat et al. han analitzat la inundació que va afectar la part baixa de la conca del Llobregat l'any 2000. Aquesta fou semblant a les 21 inundacions catastròfiques que s'han produït en aquesta zona des del segle XIV, encara que el fet que fos a la primavera la fa força inusual (amb la informació disponible, es constata que al Llobregat només s'ha produït una inundació primaveral cada segle, les quals van tenir lloc en els anys 1603, 1794 i 1835).

A2.5. Sumari: aprendre de les lliçons del passat per entendre el futur

A2.5.1. L'estat actual del coneixement

Els estudis de reconstrucció paleoclimàtica són molt més que un exercici acadèmic, ja que ens permeten conèixer el dinamisme real del clima i els factors que determinen que el sistema climàtic

canvii a diferents escales temporals i espacials. Ens permeten tenir, per tant, una certa perspectiva sobre les conseqüències de l'increment de la concentració de gasos amb l'efecte d'hivernacle a l'atmosfera i la importància relativa dels canvis climàtics que poden estar tenint lloc actualment, més enllà de les interpretacions que ens ofereixen diferents grups socials amb interessos diversos. Està ben demostrat que les activitats antròpiques han contribuït decididament a canviar la composició de l'atmosfera, la qual conté unes concentracions de gasos amb efecte d'hivernacle notablement superiors als nivells naturals existents durant els darrers 400.000 anys i, probablement, durant milions d'anys. De fet, la magnitud de l'increment d'aquests gasos a l'atmosfera des de començaments de l'era industrial fins ara és la mateixa que la de les transicions naturals que se succeeixen de forma rítmica des de fa milions i milions d'anys, entre els períodes glacials i els càlids, o interglacials.

El canvi climàtic, però, no només depèn de l'increment o davallada dels gasos amb efecte d'hivernacle, sinó que també depèn de la interacció d'elements interns (per exemple l'atmosfera, la hidrosfera, la biosfera i la criosfera) i externs (per exemple, la variabilitat de la irradiació solar, la insolació i el vulcanisme) del planeta, d'una manera que tot plegat ara es comença a entendre. És clar que també cal comptar amb l'impacte dels humans sobre l'entorn. A part de la importància específica que el gran nombre d'elements que configuren el sistema, també cal considerar el fet que molts d'ells interaccionen per retroaccions negatives o positives i que sovint estan relacionats entre ells d'una manera no lineal. Això comporta que, per unes determinades condicions, pugui haver-hi més d'un estat d'equilibri i que la transició entre ells pugui ser reversible o irreversible i, sovint, molt ràpida (una o diverses desenes d'anys). La sensibilitat del sistema a variacions de qualsevol factor de canvi tampoc està ben establerta i no és la mateixa per a tots ells.

Encara manca molta informació per poder comprendre la mecànica del sistema climàtic, tot i que se sap que és complexa i que la majoria d'elements que el componen estan relacionats entre ells. Davant d'aquesta complexitat, l'ús de models matemàtics resulta imprescindible per sospesar el pes relatiu dels diversos components del sistema i poder predir la seva probable evolució. Aquests models, però, encara són imperfectes, i junt amb el nostre pobre coneixement de la mecànica del sistema climàtic la predicció de les tendències futures del clima són de moment exercicis d'aproximació.

Pel que fa a Catalunya, el seu clima –o climes– responen de forma genèrica a canvis naturals globals en el sistema climàtic, com serien les glaciacions o la variabilitat a més curt termini (mil·lenis o segles) d'èpoques glacials o interglacials. Hi ha però una gran manca d'estudis paleoclimàtics al territori català que permetin entendre la variabilitat i tendència al canvi natural dels climes catalans, les seves causes, i la resposta d'adaptació dels sistemes naturals i socials als canvis. De fet no existeixen registres històrics/paleoclimàtics de l'evolució de la temperatura del mar vora el litoral català i hi ha molt poques seqüències contínues climàtiques a terra que abastin més d'uns centenars d'anys. Només n'hi ha una que abasti els darrers 30.000 anys i que hagi estat publicada a revistes internacionals indexades.

Al sud d'Europa, les temperatures s'han anat incrementant progressivament durant els darrers 8.000 anys. L'actual clima mediterrani, predominant a grans zones de Catalunya, es va anar estenent pel territori des del sud cap al nord durant l'Holocè. Així, mentre al sud-est peninsular aquestes condicions es donaven fa més de 10.000 anys, al sud de Catalunya no es troben fins fa uns 7.600 anys i, al centre i nord del país, fins fa 4.000-5.000 anys. En aquest temps la vegetació decidua de zones costaneres va anar sent reemplaçada per l'escleròfila, i a partir de fa 2.900 anys esdevingueren habituals les sequeres

persistents a l'estiu. Sembla haver-hi una tendència natural cap a un increment de l'aridesa del territori, amb cada cop menys pluges i temperatures més altes. Aquesta tendència contrasta amb la davallada de temperatures que es dona al nord d'Europa durant l'Holocè.

A2.5.2. Els reptes en el coneixement del paleoclima a Catalunya

En el passat, Catalunya ha experimentat canvis climàtics abruptes i situacions meteorològiques extremes (com inundacions catastròfiques), seguint tendències i freqüències semblants a les d'altres indrets del planeta. No obstant això, no hi ha prou estudis per establir quines són les pautes de variabilitat natural del clima a Catalunya, els quals permetin definir, per exemple, la freqüència de les situacions climàtiques extremes o la variabilitat del règim de pluges als diferents punts del territori. No se sap fins a quin punt és possible que es donin situacions climàtiques adverses molt més extremes que les que s'han pogut registrar des que es disposa de registres instrumentals de variables climàtiques. Tampoc s'ha determinat la resposta dels sistemes naturals més vulnerables del territori. A diferència d'altres països, per exemple, no se sap com els canvis del clima afectaran les àrees costaneres (especialment les zones deltaïques) i els ecosistemes d'alta muntanya, o com el clima català respon –tant a escala general com local– a fenòmens d'abast global com *El Niño* o a possibles canvis abruptes relacionats amb el vulcanisme, la variabilitat solar o la circulació oceànica.

És d'esperar que en els propers anys la situació canviï. L'avanç conjunt en l'estudi dels paleoclimes i en les tècniques de modelització ha de permetre resoldre alguns dels elements o qüestions claus que es plantegen. Una d'aquests és esbrinar la probabilitat que en els propers 50 anys es produeixin canvis climàtics abruptes com a resultat de processos climàtics no lineals i de canvis en factors naturals i/o d'origen antròpic. Un exemple d'això seria un possible canvi en els corrents marins de l'Atlàntic Nord (l'anomenada

circulació termohalina), que contribueixen a escalfar el nord d'Europa. De fet, alguns models climàtics suggereixen que una de les possibles conseqüències de l'escalfament global seria un refredament abrupte d'Europa com a resultat de l'aturada del corrent del Golf. Aquest element del sistema climàtic, la circulació oceànica en el seu ramal de l'Atlàntic Nord, és el responsable de la variabilitat del clima en escales de dècades (o fins i tot menys temps) a la regió de l'Atlàntic Nord, amb reverberacions a la resta del planeta.

Un altre element clau és esbrinar quina serà la resposta del cicle de carboni, de fet la part que pertany a la biosfera terrestre i marina, a les elevades concentracions de diòxid de carboni a l'atmosfera. Hi ha un intens debat a la comunitat científica, amb moltes ramificacions polítiques, per esbrinar a on hi ha embornals de diòxid de carboni i com, o si és lícit, estimular-los per tal que absorbeixin «l'excés» de diòxid de carboni atmosfèric. En aquest cas es planteja la qüestió de si passat un cert llindar els embornals de carboni es poden saturar, i per tant cessar el seu procés de captació, o bé fins i tot que alguns sistemes es tornin en emissors de carboni cap a l'atmosfera, com podria ser el cas de les zones afectades per permagel o fins i tot les selves tropicals.

També és clau entendre com el diòxid de carboni contribueix a l'escalfament de la Terra. La relació existent entre l'increment en la concentració d'aquest gas a l'atmosfera i l'augment de la temperatura de l'aire encara no es coneix amb prou detall, a causa del gran nombre de variables que influeixen en el clima. Així, per exemple, les mateixes activitats humanes que emeten diòxid de carboni a l'atmosfera també produeixen aerosols que contribueixen a refredar el clima. No obstant això, la distribució i comportament dels aerosols a l'atmosfera encara no s'ha acabat d'entendre a la perfecció. En definitiva, ara per ara no és possible demostrar la importància relativa dels diversos factors. De fet, hi ha alguns científics influents (una minoria) que no

creuen que el diòxid de carboni jugui un paper tant important en l'actual escalfament global. Al capdavall, tot passa per demostrar la importància relativa dels factors naturals i antròpics en el control dels canvis climàtics observats en les darreres dècades.

Per últim, tots aquests processos esmentats tenen comportaments que es podrien considerar sorprenents —encara que no inusuals— i que causen preocupació en un nombre substancial de científics. Això és així perquè la resposta d'un sistema a un estímul no ha de ser necessàriament immediata. A vegades s'ha de superar un cert llindar d'estimulació per obtenir una resposta, que pot ser sobtada i de signe inesperat i que pot portar a un nou equilibri del sistema de condicions totalment diferents a les actuals. És a dir, malgrat el notable increment de gasos amb efecte d'hivernacle en els darrers 150 i escaig d'anys, hi ha un elevat grau d'incertesa sobre si es pot haver arribat ja o no al llindar màxim de concentracions que facin que es generi una resposta en el sistema climàtic en la seva totalitat o en molts dels seus elements que el configuren.

Hi ha nombrosos exemples, en el món natural i durant la història del clima, que mostren com aquest sovint canvia a batzegades. Així, preocupa que si es creua aquest llindar, es pugui generar molt ràpidament una situació molt diferent a l'actual, potser irreversible, amb una redistribució del règim pluvial (que podria comportar veure un Sàhara florit i una Amazonia ressecada). De moment tot són hipòtesis, però sí que se sap que ha succeït en el passat. Per tant, és clau descobrir (fent servir una de les diverses analogies que s'han fet servir abastament) si les activitats antròpiques estan alimentant un fenomen que, superada una determinada concentració de gasos a l'atmosfera, pot desencadenar-se en la seva plenitud i provocar alteracions profundes i, potser, irreversibles del sistema climàtic (amb els corresponents impactes ambientals, econòmics i socials que aquestes puguin causar).

A2.5.3. Possibles estratègies davant del canvi climàtic

El clima de la Terra és dinàmic i ha anat evolucionant des que el nostre planeta existeix. En aquest context, doncs, cal ser conscients que continuarà canviant, malgrat les actuacions que es puguin desenvolupar i que, a efectes pràctics, el fet que aquest canvi estigui originat per causes naturals o antropogèniques és secundari (Hulme et al, 1999; Parry et al., 1998).

Lluitar contra aquest fenomen és un exercici que pot resultar poc efectiu, atès que es tracta d'un procés inevitable. Caldria ser conscients d'aquest fet, doncs, i optar pel disseny d'estratègies d'adaptació als efectes que aquest canvi climàtic pugui generar en el futur. No obstant això, cal reduir els comportaments de risc de la nostra societat que puguin suposar una alteració del comportament natural del clima. Això implicaria, per exemple, reduir el consum de combustibles fòssils fins aconseguir una estabilització de la concentració de gasos amb efecte d'hivernacle a l'atmosfera. Hem de ser conscients, però, de l'efecte limitat que podria tenir aquesta mesura, ja que encara que es reduïssin a zero, d'un dia per l'altre, les emissions d'aquests gasos, el clima continuaria canviant, per causes naturals o bé antròpiques.

Referències bibliogràfiques

- ALLEY, R. B.; MAROTZKE, J.; NORDHAUS, W. D.; OVERPECK, J. T.; PETEET, D. M.; PIELKE, R. A.; PIERRREHUMBERT, R. T.; RHINES, P. B.; STOCKER, T. F.; TALLEY L. D.; I WALACE, J. M. «Abrupt climate change». *Science*, núm. 299 (5.615) (2003), p. 2005-2010.
- ALVERSON, K., BRADLEY, R., PEDERSEN, T. F. *Environmental variability and climate change*. IGBP, 2001. p. 31.
- ARAUS, J.L., FEBRERO, A., BUXÓ, R., CAMALICH, M.D.; MARTÍN, D., MOLINA, F., RODRÍGUEZ ARIZA, M.O.; ROMAGOSA, I. «Changes in carbon isotope discrimination in grain cereals from different regions of the western Mediterranean Basin during the past seven millennia. Paleoenvironmental evidence of a different change in aridity during the late Holocene». *Global Change Biology* 3(2) (1997), p. 107-118.
- BAINS, S.; CORFIELD, R.M., NORRIS, R.D. Mechanisms of climate warming at the end of the Paleocene. *Science*, núm. 285 (5.428) (1999), p. 724-727.
- BRIFFA, K. R., JONES, P. D., SCHWEINGRIBER, F. H., I OSBORN, T. J. (1998). «Influence of volcanic eruptions on Northern Hemisphere summer temperature over the past 600 years». *Nature*, núm. 393, p. 450-455.
- BURJACHS, F. I JULIA, R. (1994). «Abrupt Climatic Changes During the Last Glaciation Based on Pollen Analysis of the Abric-Romani, Catalonia, Spain». *Quaternary Research*, núm. 42(3), p. 308-315.
- BURJACHS, F., PÉREZ-OBIOL, R., ROURE, J. M., I JULIA, R. (1994). «Dinámica de la vegetación durante el holoceno en la isla de Mallorca». *X simposio A.P.L.E.*, p. 199-209.
- CACHO, I., GRIMALT, J. O., CANALS, M., SBAFFI, L., SHACKLETON, N. J., SCHONFELD, J., I ZAHN, R. (2001). «Variability of the western Mediterranean Sea surface temperature during the last 25.000 years and its connection with the Northern Hemisphere climatic changes». *Paleoceanography*, vol. 16, núm. 1, p. 40-52.
- CACHO, I., GRIMALT, J. O., PELEJERO, C., CANALS, M., SIERRO, F. J., FLORES, J. A., I SHACKLETON, N. (1999). «Dansgaard-Oeschger and Heinrich event imprints in Alboran Sea paleotemperatures». *Paleoceanography*, núm. 14, p. 698-705.
- CHAPMAN, M. R; SHACKLETON, N. J. (1998). «Millennial scale fluctuations in North Atlantic heat flux during the last 150.000 years». *Earth and Planetary Science Letters*, núm. 159, p. 57-70.
- CLAUSSEN, M. (1998). «On multiple solutions of the atmosphere-vegetation system in present-day climate». *Global Change Biology*, vol. 4, núm. 5, p. 549-559.
- CULLEN, H. M.; DEMENOCAL, P. B.; HEMMING, S., HEMMING, G.; BROWN, F. H.; GUILDERTSON, T.; SIROCKO, F. (2000). «Climate change and the collapse of the Akkadian empire: Evidence from the Deep Sea». *Geology*, vol. 28, núm. 4, p. 379-382.
- DANSGAARD, W.; JOHNSEN, S. J.; CLAUSEN, H. B.; DAHL-JENSEN, D.; GUNDESTRUP, N. S.; HAMMER, C. U.; HVIDBERG, C. S.; STEFFENSEN, J. P.; SVEINBJRNSDOTTIR, A. E.; JOUZEL, J.; BOND, G. (1993). «Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record». *Nature* 364, p. 218-220.
- DAVIS, B. A. S.; BREWER, S.; STEVENSON, A. C.; GUIOT, J. (2003). «The temperature of Europe during the Holocene reconstructed from pollen data». *Quaternary Science Reviews*, vol. 22, núm. 15-17, p. 1701-1716.

- FAUQUETTE, S.; GUIOT, J.; SUC, J. P. (1998). «A method for climatic reconstruction of the Mediterranean Pliocene using pollen data». *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, vol. 144, núm. 1-2, p. 183-201.
- GANAPOLSKI, A.; RAHMSTORE, S. (2001). «Rapid changes of glacial climate simulated in a coupled climate model». *Nature*, núm. 409, p. 153-158.
- HARRISON, S. P.; DIGERFELDT, G. (1993). «European Lakes as Paleohydrological and Paleoclimatic Indicators». *Quaternary Science Reviews*, vol. 12, núm. 4, p. 233-248.
- HAUG, G. H.; GUNTHER, D.; PETERSON, L. C.; SIGMAN, D. M.; HUGHEN, K. A.; AESCHLIMANN, B. (2003). «Climate and the collapse of Maya civilization». *Science*, vol. 299, núm. 6.613, p. 1731-1735.
- HODELL, D. A.; BRENNER, M.; CURTIS, J. H.; GUILDERSON, T. (2001). «Solar forcing of drought frequency in the Maya lowlands». *Science*, vol. 292, núm. 5.520, p. 1.367-1.370.
- HULME, M.; BARROW, E. M.; ARNELL, N. W.; HARRISON, P. A.; JOHNS, T. C.; DOWNING, T. E. (1999). «Relative impacts of human-induced climate change and natural climate variability». *Nature*, vol. 397, núm. 6.721, p. 688-691.
- HUNTLEY, B.; PRENTICE, I. C. (1988). «July Temperatures in Europe from Pollen Data, 6000 Years before Present». *Science*, vol. 241, núm. 4.866, p. 687-690.
- IMBRIE, J.; BERGER, A.; BOYLE, E. A.; CLEMENS, S. C.; DUFFY, A.; HOWARD, W. R.; KUKLA, G.; KUTZBACH, J.; MARTINSON, D. G.; MCINTYRE, A.; MIX, A.; MOLFINO, B.; MORLEY, J. J.; PETERSON, L. C.; PISIAS, N. G.; PRELL, W. L.; RAYMO, M. E.; SHACKLETON, N. J.; TOGGWEILER, J. R. (1993). «On the structure an origin of major glaciation cycles. 2. The 100.000-year cycle». *Paleoceanography*, núm. 8, p. 699-735.
- IPCC. (2001). *Climate Change 2001: the scientific basis: Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate*. Cambridge: Cambridge University Press.
- JALUT, G.; AMAT, A. E.; BONNET, L.; GAUQUELIN, T.; FONTUGNE, M. (2000). «Holocene climatic changes in the Western Mediterranean, from south-east France to south-east Spain». *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, vol. 160, núm. 3-4, p. 255-290.
- JALUT, G.; AMAT, A. E.; MORA, S. R. I.; FONTUGNE, M.; MOOK, R.; BONNET, L.; GAUQUELIN, T. (1997). «Holocene climatic changes in the western Mediterranean: installation of the Mediterranean climate». *Comptes Rendus de l'Academie Des Sciences, Serie Ii Fascicule a-Sciences de la Terre et des Planetes*, vol. 325, núm. 5, p. 327-334.
- JOHNSEN, S. J.; DANSGAARD, W.; CLAUSEN, H. B.; LANGWAY, C. C. (1972). «Oxygen isotope profiles through the Antarctic and Greenland ice sheets». *Nature*, núm. 235, p. 429-434.
- KOHFELD, K. E.; HARRISON, S. P. (2000). «How well can we simulate past climates? Evaluating the models using global palaeoenvironmental datasets». *Quaternary Science Reviews*, núm 19, p. 321-346.
- KUKLA, G. J.; BENDER, M. L.; DE BEAULIEU, J. L.; BOND, G.; BROECKER, W. S.; CLEVERINGA, P.; GAVIN, J. E.; HERBERT, T. D.; IMBRIE, J.; JOUZEL, J.; KEIGWIN, L. D.; KNUDSEN, K. L.; MCMANUS, J. F.; MERKT, J.; MUHS, D. R.; MULLER, H.; POORE, R. Z.; PORTER, S. C.; SERET, G.; SHACKLETON, N. J.; TURNER, C.; TZEDAKIS, P. C.; WINOGRAD, I. J. (2002). «Last interglacial climates». *Quaternary Research*, vol. 58, núm. 1, p. 2-13.
- KUKLA, G. J.; MATTHEWS, R.; MITCHELL, M. (1972). «Present Interglacial: How and When Will it End?» *Quaternary Research*, p. 261-269.
- LAURITZEN, S. E.; LUNDBERG, J. (1999). «Speleothems and climate: a special issue of The Holocene». *Holocene*, vol. 9, núm. 6, p. 643-647.
- LINGE, H.; LAURITZEN, S. E.; LUNDBERG, J.; BERTAD, I. M. (2001). «Stable isotope stratigraphy of Holocene speleothems: examples from a cave system in Rana, northern Norway». *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, vol. 167, núm. 3-4, p. 209-224.
- LLASAT, M. D.; RIGO, T.; BARRIENDOS, M. (2003). «The 'Montserrat-2000' flash-flood event: A comparison with the floods that have occurred in the northeastern Iberian Peninsula since the 14th century». *International Journal of Climatology*, vol. 23, núm. 4, p. 453-469.
- LOUTRE, M. F.; BERGER, A. (2000). «Future climatic changes: Are we entering an exceptionally long interglacial?» *Climatic Change*, vol. 46, núm. 1-2, p. 61-90.
- LOUTRE, M. F.; BERGER, A. (2003). «Marine Isotope Stage 11 as an analogue for the present interglacial». *Global and Planetary Change*, vol. 36, núm. 3, p. 209-217.
- LOWE, J.; WALKER, M. (1997). *Reconstructing Quaternary Environments*. Longman.
- MANN, M., BRADLEY, R.; HUGHES, M. (1999). «Northern Hemisphere Temperatures During the Past Millennium: Inferences, Uncertainties, and Limitations». *Geophysical Research Letters*, núm. 26, p. 759.

- MARCHAL, O.; CACHO, I.; STOCKER, T. F.; GRIMALT, J. O.; CALVO, E.; MARTRAT, B.; SHACKLETON, N.; VAUTRAVERS, M.; CORTIJO, E.; VAN KREVELD, S.; ANDERSSON, C.; KOC, N.; CHAPMAN, M.; SBAFFI, L.; DUPLESSY, J. C.; SARNTHEIN, M.; TURON, J. L.; DUPRAT, J.; JANSEN, E. (2002). «Apparent long-term cooling of the sea surface in the northeast Atlantic and Mediterranean during the Holocene». *Quaternary Science Reviews*, vol. 21, núm. 4-6, p. 455-483.
- MARLOW, J. R.; LANGE, C.; WEFER, G.; ROSELLMELÉ, A. (2000). «Upwelling intensification as part of the Pliocene–Pleistocene climate transition». *Science*, núm. 290, p. 2.288-2.291.
- MARTIN-VIDE J.; VALLVE, M. B. (1995). «The Use of Rogation Ceremony Records in Climatic Reconstruction - a Case-Study from Catalonia (Spain)». *Climatic Change*, vol. 30, núm. 2, p. 201-221.
- MOORE, G. W. K.; HOLDSWORTH, G.; ALVERSON, K. (2001). «Extra-tropical response to ENSO as Expressed in an ice core from the Saint Elias Mountain range». *Geophysical Research Letters*, vol. 28, núm. 18, p. 3457-3460.
- PARRY, M.; ARNELL, N.; HULME, M.; NICHOLLS, R.; LIVERMORE, M. (1998). «Adapting to the inevitable». *Nature*, vol. 395, núm. 6.704, p. 741-741.
- PÉREZ-OBIOL, R. (1987). *Evolució del paisatge vegetal quaternari a les zones d'Olot i Sils*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona. (Tesi doctoral).
- PÉREZ-OBIOL, R. (1988). «Histoire tardiglaciaire et holocène de la végétation de la région volcanique d'Olot (NE péninsule ibérique)». *Pollen et spores*, núm. 30, p. 189-202.
- PÉREZ-OBIOL, R.; JULIA, R. (1994). «Climatic-Change on the Iberian Peninsula Recorded in a 30.000- Yr Pollen Record from Lake Banyoles». *Quaternary Research*, vol. 41, núm. 1, p. 91-98.
- PETIT, J. R.; JOUZEL, J.; RAYNAUD, D.; BARKOV, N. I.; BARNOLA, J. M.; BASILE, I.; BENDER, M.; CHAPPELLAZ, J.; DAVIS, M.; DELAYGUE, G.; DELMOTTE, M.; KOTLYAKOV, V. M.; LEGRAND, M.; LIPENKOV, V. Y.; LORIUS, C.; PEPIN, L.; RITZ, C.; SALTZMAN, E.; STIEVENARD, M. (1999). «Climate and atmospheric history of the past 420.000 years from the Vostok ice core, Antarctica». *Nature*, núm. 399, p. 429-436.
- PINOT S.; RAMSTEIN G.; HARRISON S. P.; PRENTICE I. C.; GUIOT J.; STUTE M.; JOUSSAUME S. (1999). «Tropical paleoclimates at the Last Glacial Maximum: comparison of Paleoclimate Modeling Intercomparison Project (PMIP) simulations and paleodata». *Climate Dynamics*, vol. 15, núm. 11, p. 857-874.
- PLANCHAIS, N. (1985). «Analyses polliniques du remplissage holocène de la lagune de Canet (Plaine du Roussillon département des Pyrénées orientales). Paleohydrological changes in the temperate zone in the last 15.000 years. *Ecologia Mediterranea*, núm. 11, p. 117-127.
- PONEL, P.; COOPE, G. R.; ANDRIEU-PONEL, V.; REILLE, M. (1999). «Coleopteran evidence for a mosaic of environments at high altitude in the eastern Pyrenees, France, during the climatic transition between the Allerod and Younger Dryas». *Journal of Quaternary Science*, vol. 14, núm. 2, p. 169-174.
- PRENTICE, I. C.; GUIOT, J.; HUNTLEY, B.; JOLLY, D.; CHEDDADI, R. (1996). «Reconstructing biomes from palaeoecological data: A general method and its application to European pollen data at 0 and 6 ka». *Climate Dynamics*, vol. 12, núm. 3, p. 185-194.
- RAHMSTORF, S. (2002). «Ocean circulation and climate during the past 120.000 years». *Nature*, núm. 419, p. 207-214.
- RIERA i MORA, S. (1994). *Evolució del paisatge vegetal holocè al pla de Barcelona, a partir de dades pol·líniques*. Barcelona: Universitat de Barcelona. (Tesi doctoral).
- RIERA i MORA, S.; ESTEBAN AMAT, A. (1994). «Vegetation history and human activity during the last 6000 years on the central Catalan coast (north eastern Iberian Peninsula)». *Veg. Hist. Archaeobot*, núm. 3, p. 7-23.
- RIMBU, N.; LOHMANN G.; KIM J.-H.; ARZ H. W.; SCHNEIDER R. (2003). «Arctic/North Atlantic Oscillation signature in Holocene sea surface temperature trends as obtained from alkenone data». *Geophysical Research Letters*, vol. 30, núm. 1.280, p. 13-14.
- ROHLING, E. J.; DE RIJK, S. (1999). «Holocene Climate Optimum and Last Glacial Maximum in the Mediterranean: the marine oxygen isotope record». *Marine Geology*, vol. 153, núm. 1-4, p. 57-75.
- ROHLING, E. J.; HAYES, A.; DE RIJK, S.; KROON, D.; ZACHARIASSE, W. J.; EISMA, D. (1998). «Abrupt cold spells in the northwest Mediterranean». *Paleoceanography*, vol. 13, núm. 4, p. 316-322.
- ROSELL MELÉ, A. (2003). «Biomarkers as proxies of climate change». A: A. MACKAY; R. W. BATTARBEE; J. BIRKS; F. OLDFIELD (eds.). *Global Changes in the Holocene*. p. 358-372.
- ARNOLD SANCETTA, C. (1999). «The mystery of sapropels». *Nature*, núm. 398, p. 27-29.
- SEVERINGHAUS, J. P.; SOWERS, T.; BROOK, E. J.; ALLEY, R. B.; BENDER, M. L. (1998). «Timing of abrupt climate change at the end of the younger Dryas interval

from thermally fractionated gases in polar ice». *Nature*, núm. 391, p. 141-146.

SHACKLETON, N. J. (2000). «The 100.000-year ice-age cycle identified and found to lag temperature, carbon dioxide and orbital eccentricity». *ScienceK*, núm. 289, p. 1897-1902.

SHACKLETON, N. J.; IMBRIE, J.; PISIAS, N. G. (1988). «The evolution of oceanic oxygen-isotope variability in the North Atlantic over the past three million years». *Phil.Trans. R.Soc.Lond.B*, núm. 318, p. 679-688.

STOCKER, T. F. «Past and future reorganizations in the climate system». *Quaternary Science Reviews*, núm. 19 (2000), p. 301-319.

STOCKER, T. F. «North-south connections». *Science*, vol. 297, núm. 5.588 (2002), p. 1.814-1.815.

STOMMEL, H. «Thermohaline convection with two stable regimes of flow». *Tellus*, núm. 13 (1961), p. 224-230.

TERRAL, J. F.; MENGUAL, X. «Reconstruction of Holocene climate in southern France and eastern Spain using quantitative anatomy of olive wood and archaeological charcoal». *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, vol. 153, núm. 1-4 (1999), p. 71-92.

VALLVÉ, M. B., MARTÍN-VIDE, J. «Secular climatic oscillations as indicated by catastrophic floods in the Spanish Mediterranean coastal area (14th-19th centuries)». *Climatic Change*, vol. 38, núm. 4 (1998), p. 473-491.

VERSCHUREN, D.; LAIRD, K. R.; CUMMING, B. F. «Rainfall and drought in equatorial east Africa during the past 1.100 years». *Nature*, vol. 403, núm. 6.768 (2000), p. 410-414.

ZIELINSKI, G. A. «Use of paleo-records in determining variability within the volcanism-climate system». *Quaternary Science Reviews*, núm. 19 (2000), p. 417-438.

A3. Factors geogràfics, regionalització climàtica i tendències de les sèries climàtiques a Catalunya

Javier Martín-Vide

Catedràtic de Geografia Física
Universitat de Barcelona

Javier Martín-Vide (Barcelona, 1954) és llicenciat en Ciències Matemàtiques i doctor en Geografia i Història (secció Geografia) per la Universitat de Barcelona, amb premi extraordinari. Actualment és catedràtic de Geografia Física a la Universitat de Barcelona. Ha centrat la seva activitat investigadora en l'anàlisi probabilística de la precipitació, els episodis extrems, l'anàlisi sinòptica, el clima urbà i el canvi climàtic.

Ha publicat 21 llibres i uns 200 articles i ha participat en un centenar de reunions i congressos sobre geografia, climatologia i meteorologia. La seva tesi doctoral, titulada *Característiques climatològiques de la precipitació en la franja costera mediterrània de la península Ibèrica*, va ser presentada el 1982 i publicada el 1987.

Entre els projectes de recerca en que ha participat com a investigador principal destaquen els europeus *ADVICE* i *IMPROVE*, sobre variabilitat climàtica en el passat. És president de l'*Asociación Española de Climatología* i del Consell Assessor del Servei Meteorològic de Catalunya.

Síntesi	85
A3.1. La diversitat dels factors geogràfics i la regionalització climàtica a Catalunya	87
A3.1.1. La singularitat climàtica derivada de la latitud subtropical i la posició occidental	
A3.1.2. La influència dels factors geogràfics en el clima	
A3.1.3. La circulació de l'oest i l'estabilitat anticiclònica estival	
A3.1.4. L'oposició entre les masses d'aire polars i les tropicals	
A3.1.5. La influència de l'anticicló de les Açores	
A3.1.6. La complexitat climàtica actual i el problema de la seva regionalització	
A3.1.7. Les dificultats de la generalització de les projeccions climàtiques	
A3.2. Els elements del clima de Catalunya i la seva importància davant del canvi climàtic	95
A3.2.1. La precipitació	
A3.2.2. La temperatura i altres elements	
A3.2.3. Els esdeveniments meteorològics extrems	
A3.3. El senyal del canvi climàtic en les sèries instrumentals catalanes	99
A3.3.1. Les dificultats en la detecció del senyal climàtic	
A3.3.2. Les tendències seculars i recents de la temperatura	

A3.3.3. Les tendències seculars i recents de la precipitació	
A3.3.4. Altres senyals climàtics: la pressió atmosfèrica	
A3.4. Conclusions i suggeriments	108
Referències bibliogràfiques	110

Síntesi

Des d'un punt de vista climàtic Catalunya constitueix un espai singular, amb influències subtropicals i temperades, i atlàntiques i mediterrànies. La diversitat climàtica de Catalunya obliga a l'ús del plural –els climes–, més encara quan augmenta la resolució espacial de l'anàlisi fins a un nivell comarcal o supracomarcal. Els grans contrastos d'altitud, el compartiment del relleu, i d'altres factors geogràfics, produeixen un complex mosaic de climes, amb unes condicions climàtiques (temperatura, pluviometria, etc.) molt variades, poc comú en espais d'una superfície comparable, destacant l'elevat nombre de règims pluviomètrics estacionals. D'aquesta manera, es fa difícil la generalització, i, en conseqüència, es requereix un gran nombre d'estacions meteorològiques per conèixer la diversitat climàtica passada, actual i futura del territori. Aquesta complexitat requereix noves investigacions per comprendre a fons i a una escala espacial detallada el comportament de l'atmosfera i de la resta de components del sistema climàtic al Principat. Conseqüentment, l'obtenció de sèries climàtiques de qualitat (llargues i homogènies), el manteniment de les estacions meteorològiques i la cura dels seus observadors són del tot indispensables.

La complexitat climàtica del territori dificulta notablement la determinació i l'avaluació dels canvis actuals i, en especial, l'establiment de les previsions de cara al futur. Malgrat que les reduïdes dimensions del territori català no permeten pensar més que en un únic escenari futur per a cada escenari particular d'emissions, és evident que aquest serà complex ja que els factors geogràfics causants de la diversitat del territori seguiran essent presents. Si la regionalització climàtica actual del nostre país és complexa (es poden considerar fins a 15 subtipus de clima amb criteris fisiogràfics), difícil de plasmar en un mapa, els llandars i divisòries futurs semblen

també molt difícils de preveure. En tot cas, convé recolzar-se, ara i en escenaris futurs, en les unitats fisiogràfiques a l'hora d'establir divisòries climàtiques, a causa del pes dels factors geogràfics del país.

En el cas de Catalunya, l'anticicló de les Açores és el centre d'acció més important, però l'Oscil·lació de l'Atlàntic Nord (*North Atlantic Oscillation*; NAO) té una influència modesta (a la costa catalana la precipitació hivernal presenta correlació negativa però molt dèbil amb l'índex NAO). La investigació de patrons de variabilitat de baixa freqüència pròpiament mediterranis, que permetin comprendre el comportament autònom de la conca del *Mare Nostrum*, i, en analitzar les seves tendències, projectar resultats futurs per al Mediterrani occidental i la península Ibèrica, s'entreveu com una línia d'investigació necessària.

Davant de la modèstia general de l'input pluviomètric i l'acusada variabilitat de la precipitació a Catalunya (coeficient de variació anual superior al 20%, tret de la Val d'Aran), aquest element climàtic és decisiu a l'hora de projectar previsions sobre el clima futur i els seus efectes socioeconòmics al país. La inseguretats en les contribucions hídriques que suposaria una elevació de la variabilitat pluviomètrica probablement seria, a Catalunya, tant o més greu que una reducció moderada dels totals pluviomètrics. La variabilitat pluviomètrica anual al llarg del segle xx al nostre país probablement ha augmentat, però la variabilitat de l'últim període internacional no resulta desconeguda ja que és comparable a la de finals del segle xix.

Fent servir sèries pluviomètriques anuals properes a un segle, no hi ha l'evidència que a Catalunya s'hagin produït canvis significatius en la quantitat de precipitació anual. La suposada re-

ducció pluviomètrica no troba un aval clar en les sèries pluviomètriques seculars. En canvi, sí que és significativa ($\alpha = 0.90$) una tendència a la baixa de la precipitació anual a tot el conjunt del territori català durant l'últim període internacional (1961-1990).

Pel que fa a la temperatura, en el conjunt de Catalunya ha mostrat unes variacions i tendències similars i paral·leles a les observades a escala global des de l'últim terç del segle XIX. Igualment, s'aprecia clarament l'escalfament dels anys 80 i 90 del segle XX i que la dècada dels anys 90 ha estat la més càlida des de l'inici dels registres instrumentals. Les aigües marítimes litorals mostren també tendències tèrmiques positives.

D'altra banda, és possible que al llarg del segle XX s'hagi produït un augment de la pressió atmosfèrica a Catalunya, tant anualment com en els mesos d'hivern, d'acord amb un comportament similar observat a la conca mediterrània, coherent amb una migració del cinturó d'altres pressions subtropicals cap al nord.

L'anàlisi, a partir dels seus efectes negatius, dels esdeveniments meteorològics extrems que han tingut lloc en països que, com Catalunya, han patit profundes transformacions socials, econòmiques i ambientals és de gran interès, tot i que pot conduir a conclusions errònies sobre les tendències temporals com a fenomen natural. En aquest sentit, el principal problema per poder fer aquesta anàlisi és la poca garantia d'homogeneïtat de les sèries, tenint en compte els canvis d'usos socials i del sòl i la seva possible influència en l'ocurrència del propi esdeveniment extrem.

Fins ara no s'ha demostrat que a Catalunya s'hagi produït, en els últims lustres, un augment de les pluges amb més volum de precipitació, encara que els efectes d'aquest risc meteorològic hagin produït pèrdues econòmiques més fortes. Es requereixen, per tant, nous estudis i anàlisis dels riscos climàtics per descobrir les veritables tendències actuals i la seva projecció futura (pel que fa a la seva freqüència, intensitat i persistència), considerat en la seva vessant natural i en la seva interacció amb la societat.

A3.1. La diversitat dels factors geogràfics i la regionalització climàtica a Catalunya

Al sud-oest d'Europa, Catalunya ocupa una posició planetària certament singular. D'una banda, propera als confins occidentals del continent eurasiàtic i relativament propera a Àfrica. De l'altra, no gaire llunyana de l'oceà Atlàntic, a ponent, però alhora amb una àmplia façana de cara al Mediterrani, a llevant. En resum, gairebé entre dos mars i dos continents. Per tant, en una cruïlla d'influències diverses i contraposades, tant marítimes com continentals. A més, la complexitat orogràfica del territori, amb una notable gamma d'altituds i diverses alineacions muntanyoses perifèriques, interfluvis i depressions, dota les terres catalanes d'uns trets climàtics propis, que modulen en major o menor mesura el joc entre les influències esmentades anteriorment.

La situació latitudinal de bona part de Catalunya (excepte la Val d'Aran) és mediterrània i, tècnicament, el seu clima –el clima mediterrani– és un clima subtropical de façana occidental. Això suposa que Catalunya està afectada per una dinàmica atmosfèrica pinçada entre la dels climes marítimes de façana occidental, al nord, i la dels desèrtics tropicals, al sud. Aquest fet explica la singularitat d'aquest tipus de clima atès que s'hi posen de manifest trets atmosfèrics clarament contraposats.

La diversitat climàtica de Catalunya obliga sempre a utilitzar el plural –és a dir, a parlar dels cli-

mes– quan augmenta la resolució espacial de l'anàlisi fins a una escala comarcal o supracomarcal. Els grans contrastos d'altitud i exposició (orientació i pendent) configuren, encara sense baixar a escala microclimàtica, un complex mosaic de climes.

El pes de la geografia (en el seu sentit més físic) en la climatologia de Catalunya és tan marcat que a vegades es fa difícil generalitzar trets climàtics vàlids per la totalitat del territori. En aquesta línia, cal apuntar que hi ha molts enclavaments de clima singular respecte la regió on s'ubiquen (ombres pluviomètriques, illots plujosos, etc.), que reflecteixen la diversitat dels factors geogràfics, especialment l'altitud, la disposició del relleu, la relativa llunyania del mar, etc. Si a escala climàtica la diversitat i complexitat del país són dos dels fets més notables, en l'àmbit de la meteorologia el temps es mostra sovint amb caràcters molt contrastats, fins i tot entre comarques veïnes. No és estrany, doncs, que a Catalunya la prognosi meteorològica sigui una tasca certament complexa (més, sense cap mena de dubte, que en latituds mitjanes i altes d'Europa).

Els apartats següents descriuen de forma resumida el paper dels principals factors climàtics i s'apunten algunes de les característiques aerològiques més notables de Catalunya.

A3.1.1. La singularitat climàtica derivada de la latitud subtropical i la posició occidental

Catalunya s'emmarca en el feix latitudinal delimitat pels paral·lels 42° 53' 00" N (al nord de la Val d'Aran) i 40° 31' 23" N (al sud del Montsià). Són gairebé dos graus i mig de latitud o, el que és el mateix, uns 260 km d'amplada en la direcció del meridià. Es tracta d'un marc latitudinal bàsicament mediterrani o subtropical, però en la seva franja septentrional. Tant és així que les terres situades més al nord de Catalunya (bàsicament, la Val d'Aran) no tenen caràcter mediterrani, sinó que pertanyen a una altra tipologia climàtica: la dels climes d'influència marítima o oceànica de latituds mitjanes.

Aquesta variació latitudinal suposa una petita –encara que gens negligible– variació de l'alçada del sol sobre l'horitzó, amb la corresponent repercussió en la intensitat de la radiació solar incident sobre la superfície terrestre. A les terres més septentrionals de Catalunya, en el migdia astronòmic del dia del solstici d'estiu el sol assoleix una alçada d'uns 70,6° sobre l'horitzó, respecte als 72,9° de l'extrem sud. En el solstici d'hivern són 23,7° i 26,0°, respectivament. En una latitud intermèdia de Catalunya, com la de Barcelona, el dia dura 9 hores 11 minuts en el solstici d'hivern i 15 hores 11 minuts en el d'estiu (comptant des de la sortida del sol fins a l'ocàs, sense els crepuscles). Conseqüentment, a qualsevol comarca catalana el període diürn és d'una duració apreciable tot l'any, ben al contrari del que succeeix a latituds elevades a l'hivern, tot i que la variació de l'estiu a l'hivern és marcada (a diferència del que passa en les latituds properes a l'equador). Així, a Catalunya la insolació és un recurs potencialment important a qualsevol època tot i el seu cicle anual, que és apreciable.

La posició occidental de Catalunya en el continent eurasiàtic és manifesta. Les terres catalanes són part de la façana occidental d'aquest continent, la qual cosa, unida a la seva latitud subtropical, confereix als seus climes el caràcter medi-

terrani. Com és sabut, les façanes occidentals dels continents d'aquesta franja latitudinal són més suaus que les oposades o orientals. Els fluxos aeris generals de l'oest i sud-oest, caracteritzats per la seva suavitat tèrmica, i, en el cas de la Península Ibèrica, la influència de les aigües càlides del corrent del Golf, són factors que dulcifiquen el clima.

Tanmateix, Catalunya, com altres regions de l'est de la Península Ibèrica, no entreveu el mar exclusivament pel seu rumb oest, sinó d'una forma molt més propera per llevant. Aquest fet, desconegut en altres regions del planeta amb climes de filiació mediterrània (com la regió central de Xile o Califòrnia), dota el clima mediterrani de Catalunya i de les regions espanyoles més properes al mar homònim de trets singulars, contribuint d'aquesta manera a amplificar la diversitat climàtica del país. A gran part de Catalunya els vents de l'oest són secs i al litoral i al prelitoral, a sotavent, poden bufar amb trets similars al *föhn*. En canvi, el vent de llevant és humit en la façana més exposada al Mediterrani i sovint va acompanyat de nuvolositat baixa i pluja. La influència del mar Mediterrani en una àmplia franja de terres catalanes – precisament la hipotenusa o costat més llarg del triangle a què es pot assimilar el Principat– és evident. No obstant això, aquesta influència no és nítida a mesura que es penetra a l'interior del país, a causa de l'existència d'un sistema orogràfic constituït per les serralades Litoral i Prelitoral, paral·leles a la línia costera, que aïllen l'interior de la influència marítima i donen trets de continentalitat al seu clima.

Finalment, convé aclarir que la influència o el caràcter mediterrani del clima de Catalunya no és sinònim de la influència que exerceix el mar. En el primer cas s'al·ludeix al seu caràcter subtropical, més clar com més al sud. En el segon, a les influències atmosfèriques del mar que hi ha a llevant de les seves terres.

A3.1.2. La influència dels factors geogràfics en el clima

Catalunya té una altitud mitjana apreciable: la tercera part de la seva superfície està situada en una franja altitudinal compresa entre els 600 i els 1.000 metres, una dècima part entre els 1.000 i els 2.000 metres i prop d'un 7% supera la cota dels 2.000. Es tracta d'unes altituds considerables, que condicionen fortament la temperatura, degut a la coneguda davallada tèrmica amb l'alçada. Si s'aplica el gradient tèrmic vertical mitjà a la troposfera –que és de 0,65°C/100 m– la temperatura mitjana anual de Catalunya presenta una variació de més de 20°C a causa de la l'alçada (cal recordar que Catalunya té cotes d'altitud compreses entre els 0 metres sobre el nivell del mar i els 3.143 de la Pica d'Estats, el cim més elevat del país). D'aquesta manera, si al nivell del mar a les costes catalanes la temperatura mitjana anual no difereix gaire de la mitjana planetària (15°-17°C), a les cotes més elevades del país, per sobre d'uns 2.500 m d'altitud, és negativa. En definitiva, doncs, Catalunya posseeix un ventall molt ampli de valors tèrmics, que es pot explicar per diferències altitudinals.

La influència del relleu en el clima no es redueix a l'efecte del factor altitudinal, el tractament del qual és relativament fàcil i conegut. En canvi, es fa molt més difícil determinar la incidència de la disposició o orientació de les alineacions muntanyoses, la seva amplada i robustesa, així com, a escala microclimàtica, dels pendents. En el cas de Catalunya, és certament curiós que l'ordenació i sistematització de les principals unitats de relleu es fa de forma relativament recent, ja entrat el segle xx (Vilà Valentí, 1991), fet que reflecteix clarament la seva complexitat. Algunes divisòries hidrogràfiques notablement elevades (com els altiplans del Lluçanès, Moianès i Solsonès, entre altres) es confonen amb alineacions muntanyoses o unitats de relleu pròpiament dites.

Tampoc hi ha coincidència entre les divisions geològiques, hidrogràfiques i litològiques. Així, per exemple, des d'un punt de vista geològic la

plana de Vic forma part de la conca de l'Ebre, però les seves aigües queden lluny dels afluents d'aquest riu i la seva pluviometria també difereix, en volum i distribució estacional, de la del centre de la depressió de l'Ebre. Un relleu abrupte com el de Montserrat ha de ser exclòs, des d'un punt de vista geològic, de la serralada Prelitoral, encara que el seu efecte en el clima sigui el que correspon a una alineació prelitoral.

Els elements del relleu de Catalunya més significatius pel que fa a la seva incidència en el clima, al marge de l'altitud, són els següents:

- 1) La presència d'una serralada elevada al nord –el Pirineu–, que marca clarament el límit septentrional del clima de caràcter subtropical (només la Val d'Aran, amb desguàs cap a l'oceà Atlàntic, sobrepassa la frontera climàtica) i protegeix el país de les masses d'aire fred procedents de latituds elevades.
- 2) L'estretor de la faixa de les terres baixes litorals i la presència d'un sistema muntanyós doble (serralades Litoral i Prelitoral), que limita la influència marítima directa a una franja reduïda, pràcticament lineal en molts trams si es té en compte l'escassa articulació de la línia costera.
- 3) La compartimentació de la topografia, composant un escaquer configurat per un conjunt de sectors elevats juntament amb altres topogràficament deprimits.

En termes generals dominen les alineacions muntanyoses amb orientació zonal o subzonal (SW-NE). Com a conseqüència d'això, els fluxos aeris de direcció nord o sud es troben amb un seriós obstacle. Així, les diferències entre els climes del nord i del sud són superiors a les que correspondria a la mera distància respecte el meridiana. En contrapartida, els principals cursos fluvials han excavat valls ortogonals a les principals alineacions del relleu. Això ha generat una nítida compartimentació de la topografia en de-

pressions o valls limitades per serres o interfluvís, observant-se al mateix temps una major diferenciació en les variables climàtiques i un augment dels tipus i els subtipus de climes, fet que dificulta la generalització quan es parla del clima a Catalunya. Per tot això, es requereix un gran nombre de punts d'observació meteorològica per abastar tota la diversitat climàtica del territori català.

Un fet que resulta paradoxal per la seva incidència climàtica és la proximitat de Catalunya al Mediterrani, que banya el costat més llarg del triangle ideal al que s'aproxima el contorn del país, i, al mateix temps, la reduïda influència directa que exerceix el mar sobre el seu clima. Així, les comarques de la depressió Central catalana mostren uns trets d'acusada continentalitat, sorprenent si es té en compte la relativa proximitat del Mediterrani. Pel que fa a la continentalitat s'hauria d'afegir que, en tractar-se d'un mar gairebé tancat, les terres riberenques del Mediterrani tenen un grau de continentalitat relativament alt en comparació amb les costes atlàntiques. Així, per exemple, l'amplitud tèrmica mitjana anual de Barcelona —és a dir, la diferència entre les temperatures mitjanes dels mesos més càlid i més fred— és de 15°C, apreciablement superior a la de les costes gallegues, a l'Atlàntic, on l'amplitud tèrmica és de només uns 10°C.

A3.1.3. La circulació de l'oest i l'estabilitat anticiclònica estival

En qualsevol esquema de la circulació general atmosfèrica —és a dir, l'organització dels grans sistemes de vent i de pressió a escala planetària—, Catalunya se situa entre el règim dels vents dominants de l'oest i sud-oest al nord i els anticiclons subtropicals o tropicals al sud. En el primer cas es tracta dels típics fluxos de ponent, atlàntics, que escombren bona part de l'Europa occidental des de les latituds del nord de la Península Ibèrica. Sembla que tot el que succeeix a l'atmosfera en aquestes latituds ve de l'oest, per la qual cosa a l'hora de fer una prognosi meteorològica correcta cal mirar cap a aquesta direcció.

El temps característic associat al sistema de vents dominants de l'oest, el nord-oest i el sud-oest és humit i inestable. El pas dels típics fronts i de depressions mòbils suposa l'agreuament més clar de les característiques esmentades. Catalunya també assisteix amb certa freqüència al règim esmentat, fora del trimestre estival, encara que a vegades amb temps fins i tot oposat a causa de la seva situació a sotavent.

A l'estiu, els anticiclons subtropicals dominen l'atmosfera a gran part de la Península Ibèrica, almenys a les capes mitjanes i altes de la troposfera. El seu reflex superficial més conegut és l'anticicló de les Açores perquè apareixen baixes pressions d'origen tèrmic sobre els substrats continentals com l'ibèric o l'africà proper. En tot cas, aquestes baixes pressions no arriben a alterar el patró típic de gran estabilitat associat als anticiclons. En el cas de Catalunya no es pot parlar amb propietat de baixa tèrmica, però sí de pantà baromètric, és a dir, d'un camp bàric superficial amb gradient molt escàs i valors propers als normals, característic dels mesos estivals.

Així, doncs, a gran part del territori ibèric l'estiu és sec o molt sec i assolellat, mentre que durant la resta de l'any l'afebliment o la retirada de les altes pressions subtropicals permet estratificacions de l'aire inestables i un dinamisme atmosfèric més important, amb fluxos d'aire de procedència diversa. L'absència de pluges a l'estiu no és atribuïble a la proximitat del Mediterrani, sinó a un tret de subtropicalitat, és a dir, de la instal·lació de la subsidència subtropical sobre les latituds peninsulars, que assoleix la seva culminació durant l'estiu. El Mediterrani és, potencialment, un àmbit generador o dinamitzador de processos d'inestabilitat atmosfèrica i precipitacions, especialment a la tardor (Martín-Vide i Olcina, 2001).

Els dos patrons descrits presenten, com la resta de sistemes de la circulació general atmosfèrica, una migració o pulsació estacional (a l'estiu cap al nord i a l'hivern cap al sud). D'aquesta manera s'explicaria que a l'estiu bona part de Catalunya

quedi sumida en la dinàmica anticiclònica subtropical i que durant la resta de l'any estigui sotmesa a unes condicions més variades. Això no obsta perquè dinàmiques atmosfèriques de l'oest puguin afectar el país en els mesos estivals (o a la inversa). A efectes de circulació atmosfèrica, la Península Ibèrica és, per la seva ubicació geogràfica, un escenari interessant, on coincideixen situacions meteorològiques molt variables al llarg de l'any. Tot això dóna lloc a un ampli ventall de situacions sinòptiques (mapes del temps) i uns tipus de temps molt diversos i contrastats.

A3.1.4. L'oposició entre les masses d'aire polars i les tropicals

La franja latitudinal que abraça Catalunya és una àrea de contrast entre dos tipus de masses d'aire molt diferenciades denominades, clàssicament, *polars* i *tropicals*. Les primeres s'originen a latituds mitjanes-altes i les segones a latituds mitjanes-baixes, establint-se la frontera entre ambdues al voltant del paral·lel 55°N. Aquesta frontera es denomina *front polar* i les seves ondulacions donen lloc a les típiques borrasques ondulatòries o frontals de latituds mitjanes o altes, amb els seus característics fronts fred i càlid. L'anomenada *regió brollador* o *font de les masses d'aire*, on aquestes s'originen a causa de l'estancament prolongat de l'aire sobre aquesta regió, condiciona les seves característiques meteorològiques. En aquest sentit, les masses d'aire polars són fredes o fresques i les tropicals càlides.

La pulsació estacional que experimenta el front polar (cap al sud a l'hivern i cap al nord a l'estiu) permet que les masses d'aire polars afectin la Península Ibèrica i les terres properes amb força freqüència durant el semestre fresc o fred de l'any, mentre que a l'estiu les masses tropicals s'apropien de l'atmosfera sobre gran part del territori. L'arribada d'una massa d'aire d'un tipus o de l'altre, darrera del pas d'un front, dóna lloc a un augment de la temperatura (darrera el front càlid, amb l'arribada de la massa tropical) o a un descens bruscat (darrera el front fred amb la

irrupció de la massa polar). Com més al nord, més netes són les invasions d'aire polar.

Resumint, les masses d'aire que afecten Catalunya són les següents:

- 1) **Polar marítima**. Té la seva regió font a l'Atlàntic nord i es caracteritza per una temperatura freda o fresca i una humitat relativa elevada. Els fluxos o adveccions del nord-oest, que solen acompanyar el pas de fronts freds d'aquesta procedència, suposen la invasió d'aire polar marítim més característica.
- 2) **Polar continental**. Té la seva regió font a l'interior del continent europeu o, fins i tot, eurasiàtic durant els mesos freds de l'any. Es tracta d'aire fred i sec. Les adveccions del nord-est, sovint en forma d'autèntiques «onades de fred», constitueixen la situació sinòptica més ben definida per l'arribada d'aquest tipus de massa d'aire.
- 3) **Tropical marítima**. Té la seva regió font a l'Atlàntic subtropical i tropical i es caracteritza per unes temperatures altes i una elevada humitat absoluta. Els fluxos o adveccions del sud-oest per la Península Ibèrica comporten l'arribada d'aquest tipus d'aire.
- 4) **Tropical continental**. Té la seva regió font al Sàhara, especialment a l'estiu, i comporta aire càlid i sec, sovint carregat de pols en suspensió. Els fluxos de component sud per la Península Ibèrica i el Mediterrani occidental aporten aire amb les característiques esmentades.
- 5) **Àrtica marítima**. Té la seva regió font a la conca àrtica; posseïx, per tant, una temperatura baixa i una humitat relativa alta, encara que no absoluta. Algunes adveccions del nord permeten la seva arribada a la Península Ibèrica.
- 6) **Àrtica continental**. Té la seva regió font a Sibèria, a l'hivern, i per tant és molt freda i seca. No es pot considerar que afecti pròpiament

Catalunya, ja que en el seu llarg trajecte es van modificar considerablement les seves característiques inicials. No obstant això, a l'hivern se'n parla amb certa freqüència davant l'arribada d'aire del nord-est, d'aire siberià (expressió certament exagerada) (Martín-Vide i Olcina, 2001).

- 7) **Mediterrània.** Aquesta massa d'aire, de la qual s'ha parlat alguna vegada, estaria originada per l'estancament prolongat de l'aire a la Mediterrània, confinat per la configuració tancada i rodejada d'alts relleus que té aquesta conca (Jansà, 1959). Es caracteritzaria per una temperatura suau i una humitat elevada, encara que és poc espessa i la seva capacitat de penetració cap a l'interior és limitada a causa del confinament ja esmentat.

A3.1.5. La influència de l'anticicló de les Açores

El centre d'acció, és a dir, la cèl·lula anticiclònica o depressionària amb més influència sobre el conjunt del clima de Catalunya és l'*anticicló de les Açores*. Es tracta d'un dels grans anticiclons que conformen l'anomenat cinturó subtropical o tropical d'anticiclons de l'hemisferi nord, el reflex climàtic del qual en els continents són els grans deserts boreals planetaris (Sàhara, Aràbia, etc.). La seva posició, propera a l'arxipèlag de les illes Açores (lleugerament al sud d'aquestes illes), constitueix un obstacle insalvable per a les pertorbacions atlàntiques que viatgen en el règim de vents de l'oest i el sud-oest. L'anticicló de les Açores provoca que es desviïn de la seva trajectòria inicial cap a latituds més altes que les ibèriques. Fins i tot, amb força freqüència l'anticicló de les Açores projecta una falca anticiclònica cap a la Península Ibèrica, protegint-la encara més de les depressions atlàntiques. A l'hivern a vegades arriba a establir-se un pont anticiclònic sobre la Península entre l'anticicló de les Açores i l'anticicló tèrmic centreeuropeu.

El resultat de la presència de l'anticicló de les Açores és que bona part de la Península Ibèrica rep una precipitació relativament escassa, a la modèstia de la qual també contribueixen altres factors.

Altres configuracions bàriques que caracteritzen tipus de temps significatius a Catalunya són la *borrasca d'Islàndia*, la *depressió de Gènova o Ligúria*, la *baixa del golf de Cadis*, la *baixa d'Algèria*, la *baixa africana* i l'*anticicló centreeuropeu* (Martín-Vide i Olcina, 2001). A continuació es tracta breument cada una d'elles.

- 1) **Borrasca d'Islàndia.** Malgrat la seva llunyania, la presència i profunditat d'aquesta borrasca, centre d'acció d'origen primordialment dinàmic, té efectes sobre el clima del sector més nord-occidental de Catalunya, guiant amb rapidesa els fluxos i depressions atlàntics. El dipol constituït per l'anticicló de les Açores i la borrasca d'Islàndia conforma la denominada *Oscil·lació de l'Atlàntic Nord* o *NAO* (*North Atlantic Oscillation*), que té una incidència notable sobre el clima d'Europa occidental a l'hivern.

La fase positiva d'aquest patró atlàntic de variabilitat de baixa freqüència o teleconnexió s'estableix quan hi ha una gran diferència de pressió en superfície entre les Açores o l'atlàntic subtropical proper a la Península Ibèrica i Islàndia, a causa de la presència de pressions altes en aquest arxipèlag i baixes a Islàndia o a l'Atlàntic subpolar veí. En aquest cas, les latituds mitjanes-altes d'Europa reben precipitacions abundants, ja que s'estableix un règim vigorós de l'oest, els fluxos humits i depressions del qual escombren les ja esmentades terres europees. En canvi, bona part de la Península Ibèrica, en especial el centre i el sud-oest, rep quantitats de pluja clarament inferiors a les normals, a causa de la proximitat de l'anticicló de les Açores.

Durant la fase negativa de la NAO s'inverteixen els valors de pressió, essent la diferència baromètrica normalitzada entre les Açores i Islàndia negativa a causa de la desaparició de l'anticicló de les Açores i, simultàniament, a la presència de valors de pressió relativament alts a Islàndia. En aquest cas, el nord d'Europa

experimenta un període d'escassetat de pluges, mentre que a l'extrem sud-oest del continent europeu les precipitacions solen ser abundants, sovint associades a depressions properes al golf de Cadis. En el cas de Catalunya, el patró NAO té una influència relativament modesta a causa de la posició a sotavent de la Península Ibèrica. A la costa catalana la correlació de la precipitació hivernal amb l'índex NAO és negativa i molt dèbil ($-0,3$ per Barcelona, al desembre, durant el segle xx). Només en terres lleidatanes la correlació negativa és estimable, amb valors per sota de $-0,5$ (Martín-Vide i Fernández, 2001).

- 2) **Baixa de Ligúria o del golf de Gènova.** Aquesta configuració bàrica és un desenvolupament ciclogènic que es forma a sotavent dels Alps, preferentment a l'hivern, com a reflex de la gènesi o profundització de depressions sobre el Mediterrani occidental. La seva incidència es fa sentir a Catalunya.
- 3) **Baixa del golf de Cadis.** Aquesta configuració és d'origen dinàmic i reflecteix l'existència d'un embossament d'aire fred en altura al sud-oest de la Península Ibèrica. La seva presència durant els mesos d'hivern a l'àrea delimitada pel golf homònim, Madeira i Canàries no és aliena a la precipitació a Catalunya.
- 4) **Baixa d'Algèria.** La formació d'aquesta baixa a la tardor, a l'hivern i a la primavera té gran rellevància per al registre de precipitacions, generalment intenses o torrencials, a l'est i sud-est de la Península Ibèrica i d'esquitllada al sud de Catalunya. És tracta d'un altre desenvolupament ciclogènic del Mediterrani occidental, a sotavent de la serralada de l'Atlas, que a més està vinculat a condicions de forta inestabilitat a l'atmosfera, a causa de la coincidència d'aire fred a les capes altes, amb una capa inferior d'aire càlid mediterrani.
- 5) **Baixa africana.** A diferència de les anteriors, la baixa africana és estival i de caràcter tèrmic,

fruit de l'intens rescalfament del substrat saharià a l'estiu. Fins i tot té el seu reflex en la baixa tèrmica –sovint només relativa– de l'interior de la Península Ibèrica a les hores centrals dels dies calorosos. La baixa africana abraça molt freqüentment part de l'espai ibèric, en forma de prolongació o tàlveg, i d'ella és possible individualitzar-ne la *baixa tèrmica ibèrica*, la qual rarament toca Catalunya (encara que les condicions atmosfèriques siguin similars). El temps calorós i caliginós és el temps característic associat a aquesta configuració sinòptica. Als Pirineus orientals no és estrany que, amb aquesta situació, es puguin desenvolupar algunes tempestes.

- 6) **Anticicló centroeuropeu.** Aquesta configuració bàrica també té una naturalesa tèrmica, fruit del refredament superficial del centre i est d'Europa a l'hivern. El temps fred i sovint amb boires s'apropia de l'atmosfera de l'interior del país, tot reforçant les característiques continentals del clima.

En resum, doncs, a efectes climàtics les terres catalanes constitueixen un espai singular, amb influències múltiples (tropicals i polars, atlàntiques i mediterrànies) i amb efectes aerològics regionals i locals diversos, com a conseqüència de les influències del relleu, la qual cosa produeix contrastos molt notables (tèrmics, pluviomètrics, etc.) i, per tant, temps variats i climes diversos. Com a exemple de la complexitat pluviomètrica de Catalunya, el mapa de règims pluviomètrics estacionals del país (l'ordenació de les estacions de l'any en ordre decreixent de quantitats mitjanes) compta amb no menys de 8 tipus diferents (Martín-Vide, 1992a), 9 si es té en compte que la precipitació es distribueix de forma regular entre les quatre estacions a la Val d'Aran.

A3.1.6. La complexitat climàtica actual i el problema de la seva regionalització

La realitat climàtica de Catalunya és molt rica i variada, difícil de plasmar en un mapa per la seva complexitat. Aquesta és el resultat de tot el

que s'ha apuntat en els apartats anteriors, és a dir:

- 1) D'una situació a la franja septentrional del món mediterrani (excepte pel cas de la Val d'Aran).
- 2) D'una posició occidental en el marc continental eurasiàtic, però oriental en el de la Península Ibèrica.
- 3) D'uns factors geogràfics (altitud, disposició del relleu, etc.) molt diversos i contrastats.

En tot cas, a l'hora d'establir divisòries climàtiques convé recolzar-se en les unitats fisiogràfiques a causa del pes dels factors geogràfics en el país. D'aquesta manera es poden jerarquitzar els

diferents climes en diversos nivells. La taula A3.1 (Martín Vide, 1992b), adoptada al *Llibre blanc del Servei de Meteorologia de Catalunya*, recull una possible classificació climàtica pel que fa al territori català. Consta de tres nivells, el primer dels quals l'estableix la divisió fonamental, a escala planetària, entre el clima mediterrani i l'oceànic de latituds mitjanes. El segon nivell l'estableixen les cinc unitats fisiogràfiques bàsiques de Catalunya: Pirineu, Prepirineu, depressió Central, Prelitoral, i Litoral. Finalment, una tercera subdivisió o subtipus la proveeix la divisió interna de les unitats fisiogràfiques esmentades.

En definitiva, doncs, es tracta de dos grans grups climàtics, que donen lloc a 6 tipus i a 15 subtipus, definits per les variables climàtiques més importants: la precipitació mitjana anual (P), el

Grups/tipus		Subtipus (exemple)	P (mm)	RPE	T (°C)	ΔT (°C)
OCEÀNIC		Val d'Aran (Arties)	900-1.100	Equilibrat	6-10	13-15
MEDITERRANÍ	Pirinenc	Oriental (Núria)	1.000-1.200	Màxim a l'estiu i mínim a l'hivern	3-9	13-16
		Occidental (Cabdella)	1.000-1.300		2-9	
	Prepirinenc	Oriental (Olot)	850-1.100	Màxim a l'estiu o a la primavera i mínim a l'hivern	9-12	16-19
		Central (Berga)	750-1.000			
		Occidental (La Pobla de Segur)	650-900			
	Continental	Humit o Oriental (Vic)	700-850	Mínim a l'hivern	11-13	17-20
		Subhumit o Central (Súria)	550-700		12-14	
		Sec o Occidental (Lleida)	350-550	Màxims equinoccials		
	Prelitoral	Septentrional (Girona)	750-1.000	Màxims equinoccials	14-15	15-18
		Central (Terrassa)	600-900	Màxim a la tardor	11-15	
Meridional (Prades)		600-800	Màxims equinoccials	12-14		
Litoral	Septentrional (St. Feliu de Guíxols)	550-750	Màxim a la tardor	14,5-16	14-15	
	Central (Barcelona)	550-700		14,5-16,5		
	Meridional (Tarragona)	500-600		15,5-17		

Taula A3.1. Divisió climàtica de Catalunya
 Font: Martín-Vide, 1992b.

règim pluviomètric estacional (RPE), la temperatura mitjana anual (T) i l'amplitud tèrmica mitjana anual (ΔT).

A3.1.7. Les dificultats de la generalització de les projeccions climàtiques

La complexitat climàtica del territori, passada i present, s'erigeix en un element de notable dificultat a l'hora d'establir i avaluar els canvis actuals i, especialment, les previsions futures. El complex mosaic de tipus i subtipus climàtics de Catalunya ja està responent de forma lleugerament diferent davant dels primers senyals del canvi climàtic d'origen antròpic. No pot esperar-se que en el futur la resposta sigui igual a tota la regió, sinó que cal esperar matisos suaument contrastats.

No obstant això, potser no calgui esperar un ventall d'escenaris climàtics futurs per a Catalunya. Sembla clar que l'escalfament a la regió serà general, amb algunes diferències en la seva intensitat entre les àrees de muntanya i les terres baixes. La superfície del país, relativament reduïda, garanteix uns patrons sinòptics futurs d'afectació general. Cal pensar, doncs, en un únic escenari futur, tot i que complex a causa de la diversitat geogràfica del territori. D'aquesta manera, les pautes pluviomètriques, entre elles el seu règim estacional, es podrien modificar en direccions diferents en el futur segons els àmbits espacials.

A3.2. Els elements del clima de Catalunya i la seva importància davant del canvi climàtic

Aquest apartat no té com a objectiu descriure de forma detalla els valors de les diverses variables climàtiques i la seva distribució espacial. En aquest sentit poden ser útils l'*Atlas Climàtic de Catalunya* i els capítols «El clima» de la *Geografía de España* (Martín Vide, 1992a) i de la *Geografía General dels Països Catalans* (Martín Vide, 1992b), almenys pel que fa a la precipitació i la temperatura. En tot cas, aquest capítol selecciona aquells fets, elements i processos climàtics especialment significatius pel que fa a:

- 1) La seva importància climàtica intrínseca.
- 2) La seva susceptibilitat a patir modificacions per causes naturals o antròpiques.
- 3) El seu valor com a indicadors climàtics.
- 4) La seva potencial repercussió socioeconòmica.

Un cop realitzat aquest plantejament, s'observa que la variable precipitació és la més destacada en el cas de Catalunya, a diferència d'altres indrets del planeta. La relativa modèstia i l'elevada variabilitat de la pluja al país li confereixen una importància climàtica i econòmica de primer ordre, per sobre d'altres variables climàtiques. És per aquest motiu que els subapartats següents dediquen una especial atenció a la pluviometria, des d'una òptica no convencional.

A3.2.1. La precipitació

En l'àmbit espacial de la Península Ibèrica, en conjunt Catalunya presenta una precipitació mitjana anual allunyada dels extrems més plujós i més sec. Una part del Principat pertany a la Ibèria plujosa, si com a tal es consideren les terres on es sobrepassen els 700 mm, encara que en alguns sectors s'excedeix dels 1.200 mm. Una altra part lleugerament més àmplia del país queda per sota d'aquest llinar, però per sobre dels 300 mm i, per tant, està inclosa dins de la Ibèria seca. Es tracta de valors moderats en el context ibèric però més aviat escassos en el context planetari, la precipitació mitjana del qual s'aproxima als 1.000 mm anuals. Malgrat aquesta moderació global, a Catalunya es produeixen contrastos molt marcats en les quantitats mitjanes anuals.

El mapa pluviomètric anual de Catalunya dibuixa una àrea humida (amb més de 700 mm de precipitació) que abasta, a l'oest del Llobregat, una mica més del terç nord del país, des del Montsec i bona part del Solsonès i Berguedà fins a la frontera francesa. A l'est del Llobregat la isohieta dels 700 mm trenca la seva direcció gene-

ral oest-est, girant cap al sud fins arribar a Sant Llorenç del Munt i, cap a l'est, fins al Montseny i arribant a la costa del Maresme a través del Montnegre, a tall d'una dorsal pluviomètrica submeridiana. Fora d'aquesta àrea hi ha nuclis que superen l'esmentat llinar, especialment els Ports de Beseit. De la mateixa manera, en el seu interior es poden observar algunes ombres pluviomètriques molt vistoses, com a l'Alt Urgell (La Seu d'Urgell) i al Pallars Sobirà (Estèrri d'Àneu), a la Noguera Pallaresa i els seus afluents. L'àrea més seca queda ben delimitada per la isohieta dels 500 mm, que conforma un triangle amb un dels costats recolzat a la divisòria administrativa amb Aragó, abraça les planes de Lleida fins a sectors de la Segarra i es prolonga fins a la cubeta de Móra.

Els registres disponibles actualment no permeten localitzar amb una seguretat absoluta quin és l'indret o sector més plujós de Catalunya. La capçalera del riu Flamicell i la divisòria d'aigües de les conques hidrogràfiques de la Noguera Pallaresa, la Noguera Ribagorçana i la Garona són alguns dels sectors més plujosos del país, tal com evidencien els observatoris de Cabdella o de l'estany Gento, amb precipitacions mitjanes anuals properes als 1.250 mm. El sector Moixeró-Puigmal també assolix aquests valors, tal i com apunta l'estació de La Molina.

Aquest valor de precipitació no és especialment destacada en el context dels Pirineus, les parts centrals i occidental dels quals, fora de Catalunya, són més humides. Cal indicar, també, que l'òptim pluviomètric amb l'alçada, és a dir, el nivell altitudinal que registra una precipitació mitjana més elevada, s'ha de situar entre uns 800-1.100 m a la serralada Prelitoral i a prop d'uns 1.000 metres més als Pirineus lleidatans. A partir dels 2.000 metres d'altitud, aproximadament, la precipitació no augmenta al nord de Catalunya. En el costat més oposat, el punt més sec de Catalunya sí que pot localitzar-se amb més precisió: no deu ser gaire lluny de la confluència del Segre amb el Cinca, al sud-oest de Lleida.

En els balanços hídrics, un augment de la temperatura posaria de manifest la modèstia general de les precipitacions a Catalunya, fins i tot suposant la inexistència de variacions en l'input pluviomètric. A les planes de Lleida se'n reforçaria l'acusada aridesa. Els òptims pluviomètrics observats amb l'alçada probablement pujarien de cota altitudinal a causa d'una elevació del nivell de condensació.

Una de les variables pluviomètriques amb més influència ambiental i socioeconòmica és el règim pluviomètric estacional, és a dir, el repartiment mitjà de la precipitació per estacions. En aquest cas, la diversitat del territori català pot qualificar-se d'extraordinària. Amb la possibilitat de permutar les estacions de 24 maneres diferents (4 factorial), a Catalunya es donen ni més ni menys que 8 d'aquestes ordenacions, atenent a l'ordenació decreixent de les seves mitjanes pluviomètriques:

- 1) Tres règims amb màxim tardorenc (tardor-primavera-hivern-estiu, o TPHE, TPEH i THPE), presents al litoral i prelitoral.
- 2) Tres règims amb màxim de primavera (PTEH, PTHE i PETH), al sector occidental de la depressió central.
- 3) Dos règims amb màxim estival (EPTH i ETPH), a bona part del Pirineu i Prepirineu, prolongant-se fins la pròpia plana de Vic. Fins i tot a la Val d'Aran es dona un règim que podria anomenar-se equilibrat, ja que la precipitació es reparteix regularment entre les quatre estacions. Els règims amb màxim estival, que es combinen amb un mínim hivernal, suposen la completa inversió del ritme característic del clima mediterrani, per la qual cosa convé utilitzar adjectius com submediterrani o altres alternatius per qualificar-los.

Probablement, una de les qüestions més complexes que es planteja a Catalunya és com el canvi climàtic pot afectar els règims pluviomètrics

estacionals, a causa de la seva diversitat actual. Cal pensar, a més, que conques hidrogràfiques com la del Llobregat o la del Ter, vitals pel que fa al subministrament d'aigua a ciutats i àrees metropolitanes molt poblades, mostren un comportament hídric estacional compensat, ja que els màxims estivals de les seves capçaleres contribueixen a l'estabilitat dels cabals de la resta de la conca amb una estació seca estiuenca. Una modificació d'aquests patrons, certament equilibrats, suposaria una alteració notable dels recursos hídrics disponibles en el seu repartiment temporal.

La freqüència de precipitació o nombre de dies en que aquesta apareix, en els seus diferents tipus, és una senzilla observació que, malgrat tot, no ha comptat amb criteris estàndard que permetin la seva comparació. La inclusió o no dels dies de precipitació inapreciable, l'acumulació de diverses quantitats diàries consecutives en una sola data, etc. impedeixen una anàlisi espacial rigorosa d'aquesta variable. Fins i tot en el cas de Catalunya les sèries temporals disponibles són de dubtosa homogeneïtat. Es pot, en tot cas, indicar que el nombre mitjà anual de dies de precipitació apreciable ($\geq 0,1$ mm) va des de poc més de 50 a la confluència del Segre i el Cinca i a l'embassament de Riba-roja, a uns 125 a la Val d'Aran. El nombre mitjà de dies amb neu anual, molt sensible a l'augment de temperatura, va des d'1 al litoral del Baix Ebre i el Montsià fins a més de 50 als cims dels Pirineus de Lleida. La innivació, tant en quantitat com en freqüència, molt probablement experimentarà un canvi significatiu en els seus valors com a conseqüència de l'escalfament climàtic global i regional. Això no significarà, però, la desaparició de les grans nevades (pels motius que s'explicaran més endavant), però sí un descens en la importància que la neu té en una part del territori.

La coneguda alta variabilitat pluviomètrica del clima mediterrani queda perfectament reflectida a Catalunya, ja que el coeficient de variació anual de la precipitació supera el llindar del

20% a tot el país (si s'exceptua la Val d'Aran), la qual cosa precisament avala descartar aquesta comarca de l'àmbit climàtic mediterrani. Aquests valors són indicatius d'una pluviometria on les mitjanes resulten poc significatives o, el que és el mateix, la pluja és un recurs amb un notable grau d'incertesa pel que fa al seu volum mitjà. Cal indicar, a més, que a les terres del litoral meridional el coeficient de variació anual arriba a assolir el 40% (en el cas, per exemple, de L'Ametlla de Mar), la qual cosa situa el Baix Ebre entre els territoris amb una pluviometria anual més variable de la Península Ibèrica, comparable a les d'algun sector del sud-est peninsular.

L'anàlisi espacial i temporal de la variable coeficient de variació anual és un dels que pot aportar llum sobre el comportament de la pluja a Catalunya en les dècades futures, essent a més un indicador molt important sobre les potencialitats i limitacions del recurs pluviomètric.

La intensitat de la precipitació és una altra de les variables de més importància en el clima mediterrani. Els seus elevats valors obliguen a considerar les precipitacions torrencials com un dels riscos climàtics més notables en aquest tipus de clima. Les sèries disponibles permeten distingir les franges litoral i prelitoral, així com certs sectors del Pirineu, com les àrees catalanes on la precipitació mostra intensitats instantànies i minutals més altes, amb puntes superiors a 5 mm/min durant alguns aiguats de tardor i tempestes estivals. Amb una resolució diària, en diversos observatoris pràcticament cada any s'excedeixen els 100 mm i, en algun cas, s'han arribat a superar els 400 mm en una única jornada. La inexistència de sèries llargues de dades procedents de pluviògrafs d'intensitat ben calibrats i que cobreixin raonablement el territori impedeix fer generalitzacions sobre les tendències de la intensitat de la pluja a Catalunya. Sí que poden realitzar-se, però, algunes comptabilitzacions sobre la major o menor recurrència de quantitats diàries per sobre de llindars elevats.

A3.2.2. La temperatura i altres elements

Sens dubte, i malgrat els importants contrastos en els seus valors a causa de les diferències altitudinals existents, a Catalunya la temperatura és una variable molt més fàcil de regionalitzar que la precipitació (com, per altra banda, passa en gairebé tots els territoris). La mitjana anual podria deduir-se raonablement d'un model de regressió múltiple amb tant sols dues variables independents: l'altitud i la latitud. En un altre ordre de coses, la latitud mitjana de les terres catalanes imposa un clar contrast tèrmic al llarg de l'any. Encara que sembli obvi, cal dir que és la temperatura la que defineix les estacions climàtiques a Catalunya, a diferència del que succeeix a latituds baixes. En termes generals, a Catalunya l'estiu és calorós, si s'exceptuen els cims pirinencs, i l'hivern moderadament rigorós (i fins i tot suau al litoral).

La isoterma anual dels 14°C distingeix la franja més càlida, les terres baixes del litoral i el prelitoral, prolongada per la vall de l'Ebre fins a la depressió Central (l'Urgell i el Segrià). En contrapartida, la isoterma dels 10°C rodeja les terres més fredes, pirinenques i prepirenques, així com els cims del Montseny.

Les previsions globals d'increment tèrmic fetes en el Tercer Informe de l'IPCC per l'horitzó de l'any 2100 ampliarien molt la superfície del territori català amb mitjanes anuals superiors a 14°C i disminuiria sensiblement la dels sectors amb menys de 10°C, independentment de l'escenari d'emissions. Suposant, a tall d'exemple, un augment de 3°C (que està per sota del punt central de l'interval de previsions, que va d'1,5°C a 6,0°C), la temperatura a les ribes de l'Ebre, des de Tortosa a Amposta, podria passar d'una temperatura mitjana anual de 17°C als 20°C, valor comparable a la d'alguns indrets del litoral de les illes Canàries. El nombre de graus-dia de refrigeració augmentarà clarament, la qual cosa comportarà l'augment del consum elèctric a l'estiu, mentre que el nombre de graus-dia de calefacció disminuirà, la qual cosa implicarà una reducció dels consums energètics per la calefacció.

L'amplitud tèrmica mitjana anual o diferència entre les temperatures mitjanes dels mesos més càlid i més fred, veritable índex de continentalitat, presenta valors realment elevats a l'àrea occidental de la depressió Central catalana i a la conca de Tremp, d'aproximadament 20°C. Al litoral, valors propers als 15°C denoten una influència marítima atenuada, en comparació amb l'efecte de l'oceà a altres costes ibèriques, fruit de les característiques pròpies del Mediterrani, un mar semitancat.

El tractament de les temperatures extremes sembla adquirir rang d'objecte d'anàlisi en l'àmbit dels riscos climàtics (gelades, onades de fred i onades de calor) quan aquests tenen una afectació econòmica destacada. El nombre mitjà anual de dies de gelada a la costa catalana és molt reduït, notable a la depressió Central i elevat als sectors més alts del país. L'escalfament global i regional comportarà, amb un marge de dubte molt petit, una disminució general del risc de gelades, encara que el col·lapse de la circulació termohalina oceànica pogués provocar anys notablement freds en períodes de pocs anys.

Altres elements climàtics, com la insolació, la nuvolositat, la humitat de l'aire, la velocitat i la direcció del vent, compten amb registres relativament escassos a Catalunya, que dificulten la seva conversió en sèries autènticament climàtiques, és a dir, llargues, homogènies i fiables. S'ha d'esperar que el canvi climàtic també afecti d'alguna manera aquestes variables, com ja s'ha començat a observar en algunes regions del planeta. Els possibles canvis en aquestes resulten molt hipotètics sense el recolzament de sèries climàtiques a l'efecte. En tot cas, no sembla que Catalunya hagi de deixar de tenir un notable potencial per l'aprofitament de l'energia solar, ja que actualment disposa, de mitjana, entre 1.800 i 2.800 hores de sol anuals. Encara que es produís una reducció en la insolació –aspecte que no està gents clar– l'energia solar seguiria constituint un recurs energètic destacat.

El relleu també seguiria mantenint el caràcter de ventós per l'extrem sud-occidental de Catalunya, a causa del mestral, i als cims més elevats del Pirineu, el Prepirineu i el Montseny. La tramuntana continuarà sent un dels vents més característics del país, encara que probablement la seva freqüència varii en modificar-se la probabilitat del patró sinòptic que la propicia.

A3.2.3. Els esdeveniments meteorològics extrems

Des de qualsevol punt de vista, un dels aspectes de més importància del canvi climàtic d'origen antròpic és la seva incidència en els esdeveniments o episodis meteorològics extrems –o riscos climàtics en el seu enfocament temporal ampli–, potencialment lesius per les persones, la societat en conjunt i els seus béns (econòmics, culturals, infraestructurals, etc.). Per aquest motiu, doncs, interessa conèixer les possibles variacions en la freqüència, la intensitat i la persistència d'aquest tipus d'esdeveniments. La gran diversitat de fenòmens existents, per altra banda, no sempre permet fer anàlisis estadístiques comunes o estàndards. A tot això cal afegir la complexitat i els problemes inherents a la mateixa informació o dades de partida, que podrien resumir-se en:

- 1) La necessitat de sèries climàtiques més llargues que les usuals, a causa de la baixa freqüència dels fenòmens que són objecte d'anàlisi.
- 2) La inseguretat de les dades d'origen, ja que alguns valors poden no haver estat registrats o haver-ho estat de forma incorrecta a causa de l'elevada magnitud dels esdeveniments considerats.
- 3) La dificultat per garantir la homogeneïtat de les sèries, tenint en compte els canvis d'usos socials i del sòl, que en moltes ocasions influeixen en l'ocurrència del propi esdeveniment extrem (per exemple, la freqüència d'allaus i les avingudes fluvials estan influïdes, respectivament, per l'increment en el trànsit d'esquiadors i la impermeabilització del sòl).

Assumint un augment de la variabilitat climàtica, amb increment dels paràmetres de tendència central de les variables o sense, s'ha d'esperar un nombre més elevat d'episodis extrems, ja que les cues de les distribucions de freqüència s'allarguen. No és fàcil, però, demostrar amb rigor que tal fet hagi estat observat a Catalunya, a causa dels problemes indicats anteriorment. Sembla que es té notícia d'un nombre més elevat de riudes amb efectes negatius a les rieres del Maresme ara que fa cinquanta o cent anys. Tornant a l'exemple anterior, però, aquest fet està fortament influït per un profund canvi en els usos del sòl de la comarca i un abús en l'ocupació dels seus marges i lleres. Davant d'un aiguat d'una magnitud fixa, l'escorrentiu superficial és més ràpid i abundant si la superfície està impermeabilitzada que si és natural o està poc alterada. Els efectes seran més notoris en el primer cas, més encara si la pressió demogràfica ha donat lloc a l'ocupació permanent o provisional de llits fluvials, marges i franges d'inundació. L'anàlisi dels esdeveniments meteorològics extrems en països que han patit profundes transformacions socials, econòmiques i ambientals, com Catalunya, a partir dels seus efectes negatius té un gran interès, però pot conduir a conclusions equivocades sobre les tendències temporals com a fenomen natural.

En aquest sentit, es requereixen estudis i anàlisis per desvetllar les veritables tendències actuals i la projecció futura dels riscos climàtics a Catalunya, considerats en la seva vessant natural i caracteritzats per la seva freqüència, intensitat i persistència. A això caldrà afegir les anàlisis dels seus efectes socioeconòmics.

A3.3. El senyal del canvi climàtic en les sèries instrumentals catalanes

A3.3.1. Les dificultats en la detecció del senyal climàtic

No és fàcil detectar i establir el senyal climàtic, és a dir, aquell estat o evolució, no conjuntural sinó estructural o permanent, del comporta-

ment de l'atmosfera o d'una de les seves variables. Fins i tot proposant-se una separació nítida entre temps i clima –estat conjuntural de l'atmosfera *versus* estat habitual o estructural d'aquesta, respectivament; canviant el primer, permanent el segon–, hi ha alguna ambigüitat en la seva delimitació pel que fa a la longitud de la successió de temps a considerar que conformen el clima. És evident, per exemple, que el clima mediterrani de bona part de Catalunya, amb tots els seus subtipus, no ha canviat ni canvia cada dia, ni cada any, ni cada segle, ni en períodes més amplis, mentre que el temps meteorològic presenta una altíssima variabilitat fins i tot a escales temporals de detall, de minuts i segons.

Tanmateix, es podria plantejar quina és la longitud de la seqüència temporal que permet obtenir una sèrie climàtica més precisa o amb una significació climàtica més gran, autènticament representativa i característica de l'estat típic de l'atmosfera. Les sèries climàtiques no només estan formades per valors propers als mitjans, normals, sinó també de valors extrems, encara que siguin menys freqüents. De fet, les sèries climàtiques d'un mateix lloc també presenten valors de les seves mesures estadístiques lleugerament diferents en funció del nombre de registres meteorològics que s'han fet servir en la seva composició. Incloure o no alguns valors extrems pot fer variar una mica les mesures i la resta d'índexs estadístics. L'ús d'un període temporal o altre també dóna lloc a valors climàtics diferents. Per tot això, cal destacar que, a qualsevol escala temporal, l'atmosfera presenta un caràcter variable. Amb altres paraules, la variabilitat és una de les característiques essencials del comportament atmosfèric a qualsevol escala temporal (fins i tot sense considerar els autèntics canvis climàtics que el planeta ha patit moltes vegades al llarg de la seva història geològica)(Martín Vide, 1999).

Per això, l'intent de detectar un senyal de canvi climàtic topa amb la variabilitat natural del clima. Així, un comportament extrem de l'atmosfera, fins i tot en períodes pluriannuals, no ha de

voler dir necessàriament un canvi o alteració del clima, sinó un simple episodi o anomalia pertanyent a una de les cues de la distribució estadística de la variable climàtica considerada. En aquest context, el propòsit de descobrir el senyal d'un canvi climàtic de causa antròpica és encara més difícil. La pròpia alteració climàtica per causa de l'activitat humana introdueix una variabilitat afegida o induïda en el comportament de les sèries. No serà fàcil, doncs, distingir-la de la natural.

Cal indicar que no només una variació significativa dels valors dels paràmetres estadístics de tendència central (mitjana, mediana, moda) pot constituir un canvi climàtic, sinó també una variació significativa en els seus paràmetres de dispersió (variància, coeficient de variació). En particular, en una àrea d'alta variabilitat temporal de la pluja com Catalunya, encara que es disposés d'uns totals anuals similars, si la variabilitat augmentés d'una forma significativa s'hauria de considerar la possibilitat que s'estigui esdevenint un canvi climàtic, d'indubtables repercussions en l'àmbit socioeconòmic. La inseguretat en les contribucions hidriques que suposa una elevació de la variabilitat pluviomètrica és, en un país com Catalunya, tant o més greu que una reducció moderada de les quantitats totals.

A3.3.2. Les tendències seculares i recents de la temperatura

Els patrons temporals de la temperatura són, en general, regionalitzables en àmbits espacials de l'extensió de Catalunya i superiors. En aquest sentit, és una variable més tractable que la pluja en l'anàlisi cronològic perquè, tot i disposar de menys sèries, les pautes temporals solen coincidir en àmplies àrees. Poques sèries llargues i fiables poden garantir una bona anàlisi cronològica. Tot i així, la diversitat geogràfica de Catalunya exigeix disposar de sèries representatives de, com a mínim, les seves grans regions fisiogràfiques (Pirineu i Prepirineu, depressió Central, Prelitoral i Litoral).

Els resultats més complets sobre les tendències de la temperatura a Catalunya amb sèries llargues i homogènies són els obtinguts amb la base de dades NESATv2 (Temperatures Ajustades del nord-est d'Espanya, versió 2), construïda pel Grup de Recerca del Canvi Climàtic de la Universitat Rovira i Virgili a partir de 23 observatoris, abastant amb resolució mensual el període 1869-1998 (Aguilar et al., 1999, 2001; Brunet-India i López Bonillo, 2001). Les dades s'expressen com anomalies respecte al període internacional més recent (1961-1990)¹.

Els gràfics corresponents no deixen cap mena de dubte pel que fa a la tendència recent d'aquesta variable, que per altra banda coincideix amb les pautes globals. Així, amb una resolució anual (figura A3.1), les anomalies positives mostren una clara acumulació a partir de la dècada dels anys 80 del segle xx fins al final de la sèrie i es bat el rècord en tres anys, la qual cosa implica una nítida tendència creixent. L'augment al llarg del període d'anàlisi s'estima en 0,007°C/any (Brunet et al., 2001).

El comportament general és molt similar al planetari, amb valors baixos durant el segle XIX, un augment de la temperatura durant la primera meitat del segle XX, anomalies negatives a la dècada dels anys 60 i 70 –especialment aquesta última en el cas de Catalunya– i l'esmentat increment final. L'anàlisi de les temperatures mitjanes de les màximes i de les mínimes revela pautes similars. Per altra banda, l'hivern i la primavera són les estacions que s'ajusten millor al comportament temporal descrit i que mostren un increment més elevat de temperatura.

La temperatura de les aigües marítimes constitueix una font d'informació addicional sobre l'escalfament global de gran importància, a causa de la seva inèrcia, ben coneguda. En el cas de Catalunya es compta amb un observatori (L'Estartit),

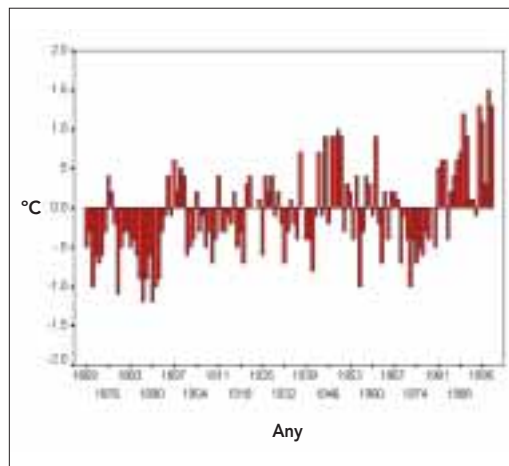


Figura A3.1. Evolució temporal de les anomalies tèrmiques anuals (°C) durant el període 1869-1998, respecte al període 1961-1990. Font: base de dades NESATv2, construïda pel Grup de Recerca del Canvi Climàtic de la Universitat Rovira i Virgili.

on l'extraordinària dedicació i minuciositat del seu observador meteorològic (Josep Pascual) permet disposar de sèries completes de la temperatura de les aigües del mar i de l'aire (i de la resta de variables climàtiques) corresponents a més d'un quart de segle (des de l'any 1974 al 2002). Els valors disponibles, registrats a les proximitats de les illes Medes (localització que queda protegida dels efectes locals de la costa), corresponen a profunditats de 0,5, 20, 50 i 80 m. La seva anàlisi estadística i la corresponent representació gràfica no deixen cap mena de dubte del significatiu escalfament recent, distingible fins i tot a la isòbata de -80 m, especialment des de principis dels anys 80 (figura A3.2). L'aproximació dels gràfics de la temperatura superficial de les aigües (-0,5 m) i la temperatura de l'aire, a causa de l'augment més ràpid d'aquesta, comportarà en poques dècades que la segona presenti un valor més elevat que la primera, la qual cosa, idealment i en còmput anual, significaria condicions més favorables per l'estabilitat atmosfèrica.

Finalment, cal indicar que un bon nombre de sèries brutes de temperatura de poblacions catalanes mostren clarament tendències a l'alça en les últimes dècades, la qual cosa no només es

1. <http://www.urv.es/centres/Departaments/geografia/clima/archive.htm>.

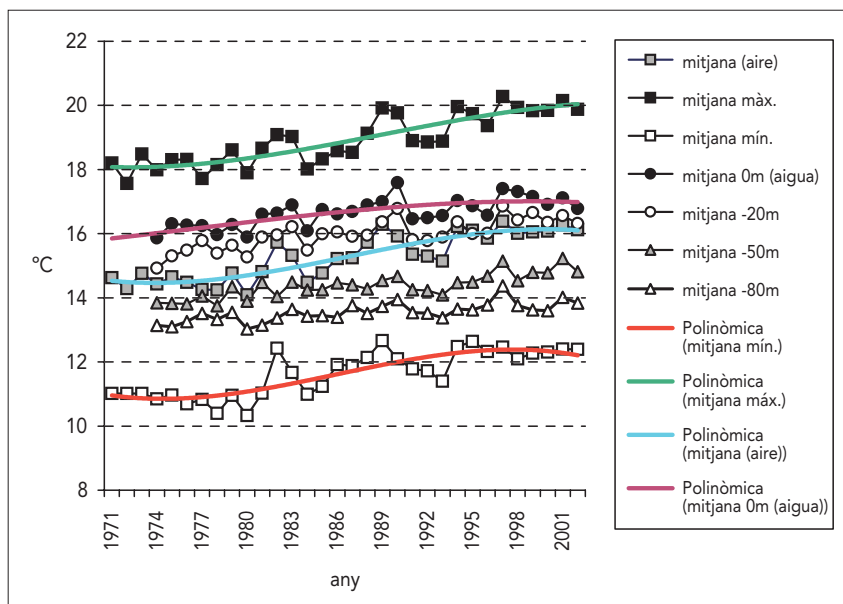


Figura A3.2. Evolució temporal de les temperatures de l'aire (mitjana i mitjanes de les màximes i de les mínimes) i de les aigües marines a l'Estartit, a 0', 5, 20, 50 i 80 metres de profunditat, durant el període bàsic 1974-2002.

Font: elaboració pròpia a partir dels registres de Josep Pascual, observador meteorològic de l'Estartit.

deu a l'escalfament global, sinó també al creixement de la pròpia urbs, que reforça el fenomen d'«illa de calor», anomalia tèrmica positiva en els centres urbans en contrast amb la perifèria. El cas de Gavà il·lustra bé aquest fet (figura A3.3) i posa de manifest la dificultat de discriminar el senyal global del pròpiament local o fruit de l'alteració urbana.

A3.3.3. Les tendències seculars i recents de la precipitació

La modèstia de la quantitat d'aigua rebuda globalment a Catalunya, encara que es pot considerar estimable, superior a la mitjana en el context ibèric, i la seva alta variabilitat temporal, d'acord amb una posició majoritàriament subtropical, obliga a plantejar no només l'anàlisi de les tendències dels totals pluviomètrics anuals, sinó també els possibles canvis en els seus paràmetres de dispersió estadística.

Fent servir sèries pluviomètriques anuals de prop d'un segle o més de durada, a Catalunya no

s'evidencien canvis significatius en la quantitat de precipitació. La suposada reducció pluviomètrica no troba un aval clar en les sèries de precipitació seculars. Així, les pluviomètriques de l'Observatori Fabra –les més analitzades de Catalunya i unes de les més fiables del país– mostren lleugers augments de la quantitat anual de precipitació i d'altres paràmetres pluviomètrics. Concretament, la sèrie anual que cobreix el període 1914-2001, normal, aleatòria i homogènia, té una mitjana de 616,8 mm i una desviació típica de 147,8 mm (CV = 24,0%) i valors extrems de 1.122,5 mm (any 1971) i 401,8 mm (any 1937), i presenta una lleu tendència a augmentar (3,1 mm/dècada), no significativa al nivell de confiança del 95% (figura A3.4).

Amb dades del mateix observatori, s'observa que s'ha produït una disminució, en aquest cas estadísticament significativa, en el nombre anual de dies de precipitació, tot i que no en el nombre de dies amb quantitats més altes de precipitació. Aquesta disminució és de l'ordre de 2

dies/dècada (Lana *et al.*, 2003). Això significa una tendència positiva de la intensitat de la precipitació anual expressada en mm/dia. Els mateixos autors suggereixen que això i l'augment del totals anuals pot ser resultat de l'efecte urbà.

Una altra sèrie secular, corresponent a la ciutat de Sabadell durant el segle xx, també normal, aleatòria i homogènia, de mitjana 616,5 mm, desviació tipus 152,5 mm (CV = 24,7%) i valors extrems de 1.203,9 mm (any 1996) i 339,8 mm (any 1912), també presenta una lleugera tendència a augmentar (6,2 mm/dècada), tot i que no és significativa amb un nivell de confiança del 95% (figura A3.5).

L'anàlisi de l'últim període internacional (1961-1990) pel que fa al conjunt de Catalunya mostra, tanmateix, una novetat interessant que s'ha de contemplar amb la prevenció de l'ús d'una sèrie relativament curta per la detecció de senyals climàtics de suficient entitat. Així, fent servir un conjunt de 139 observatoris bastant ben distribuïts pel territori, amb sèries mensuals completes durant el període esmentat o amb llacunes molt escasses, completades per correlació lineal a partir dels observatoris complets, s'ha obtingut la sèrie de mitjanes dels seus valors anuals estandarditzats (taula A3.2).

Aquesta sèrie, bruta o suavitzada mitjançant un filtre gaussià de pas baix (figura A3.6), mostra una visible tendència a la baixa, encara que el test *t* no admet que sigui significatiu al nivell de confiança del 95%, però sí al del 90%. Si s'ajusta mitjançant un polinomi de grau 3, o superior, ofereix una imatge d'apreciable reducció de la quantitat anual de precipitació en el conjunt de Catalunya al llarg dels trenta anys esmentats. De fet, 8 dels 10 anys de la seva última dècada – la dels 80– presenten valors negatius respecte a la meitat, aproximadament, en les dues dècades anteriors. Encara que els anys que resten des del final del període esmentat fins ara no han estat analitzats amb el mateix procediment, el període sec viscut a les proximitats del canvi de segle

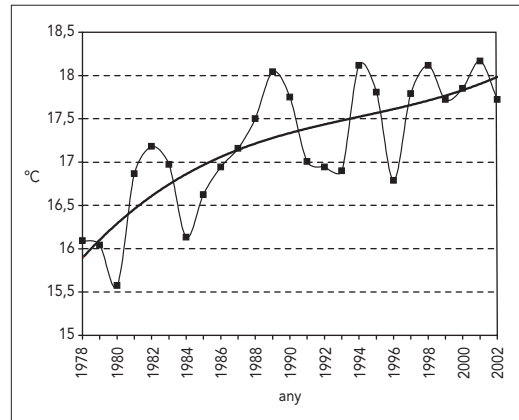


Figura A3.3. Evolució temporal de la temperatura mitjana anual a Gavà durant el període 1978-2002.

Font: elaboració pròpia a partir de dades subministrades per Jordi Pons Otàlora.

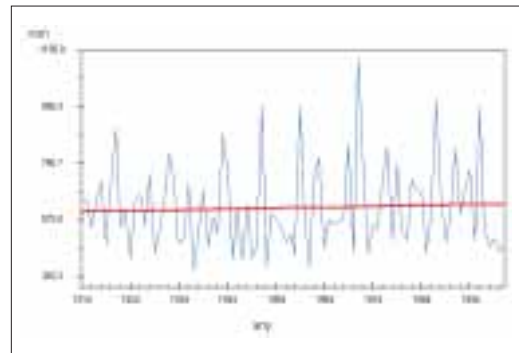


Figura A3.4. Evolució temporal de la precipitació anual a l'observatori Fabra (Barcelona) durant el període 1914-2001 i tendència lineal.

Font: elaboració pròpia.

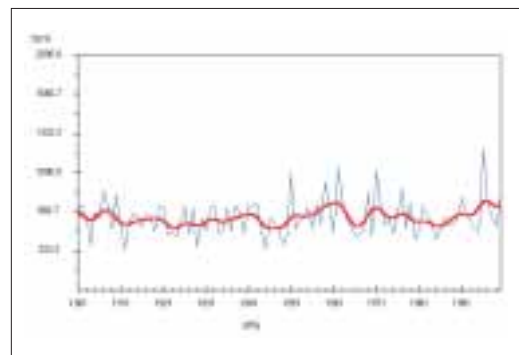


Figura A3.5. Evolució temporal de la precipitació anual a Sabadell durant el segle xx i suavitzat mitjançant un filtre gaussià de pas baix.

Font: elaboració pròpia.

Any	Z	Any	Z
1961	-0,73	1976	0,16
1962	0,80	1977	1,18
1963	1,02	1978	-0,82
1964	0,02	1979	0,36
1965	0,10	1980	-1,01
1966	-0,59	1981	-0,42
1967	-0,32	1982	0,96
1968	-0,14	1983	-0,71
1969	1,53	1984	-0,18
1970	-0,52	1985	-1,04
1971	1,37	1986	-0,67
1972	1,41	1987	0,32
1973	-0,95	1988	-0,44
1974	-0,18	1989	-0,36
1975	0,06	1990	-0,21

Taula A3.2. Mitjana dels valors estandaritzats de precipitació anual en 139 observatoris catalans (període 1961-1990)

Font: elaboració pròpia (contribució de l'autor al projecte Seguiment estacional del canvi climàtic a Catalunya, coordinat pel Grup de Climatologia de la Universitat de Barcelona i integrat en la Xarxa Temàtica del canvi climàtic a Catalunya).

molt probablement no hagi redreçat la tendència a la baixa. Per altra banda, l'anàlisi espectral MESA atribueix significació (95%) a un pic centrat en 2,6 anys (que podria reflectir l'Oscil·lació Quasibiennal, QBO).

La variabilitat pluviomètrica és, com s'ha dit, un assumpte de gran importància a Catalunya. El possible increment d'aquesta augmentaria la inseguretat de les aportacions esperades segons els valors mitjans. Un augment de la ja habitualment variable i irregular pluviometria mediterrània a resolucions anual, estacional i mensual no constituiria un factor beneficiós per la gestió dels recursos hídrics del país. Sobre les sèries de

Barcelona i Tortosa, que cobreixen quatre períodes internacionals –a Tortosa li falta únicament la dècada inicial del primer període– s'han trobat els valors del coeficient de variació anual (taula A3.3).

Les conclusions que es poden extreure són dues:

- 1) La variabilitat pluviomètrica anual al llarg del segle xx a Catalunya probablement hagi augmentat.
- 2) La variabilitat de l'últim període internacional no resulta, però, desconeguda, sinó que és comparable a la de finals del segle XIX.

La sèrie pluviomètrica anual de 88 anys de l'observatori Fabra (1914-2001) analitzada anteriorment mostra un coeficient de variació del 21,2% en la seva primera meitat (1914-1957) i del 25,8% en la segona (1958-2001), la qual cosa confirma la tendència a l'alça de la variabilitat pluviomètrica al llarg de les últimes dècades.

L'estructura diària de la precipitació, entesa com la distribució de freqüències de les quantitats diàries, és un dels paràmetres que pot resultar més sensible al canvi climàtic i, alhora, que pot tenir conseqüències ambientals i socioeconòmiques més grans. La mateixa intensitat diària de la precipitació està associada a aquesta distribució de freqüències. El pes, en percentatge, dels dies més plujosos en el total pluviomètric també es dedueix de l'esmentada distribució de freqüències. Una petita variació en els dies més plujosos té conseqüències dràstiques en la pluviometria anual i produeix una variació significativa del risc de precipitacions torrencials. L'ús d'un índex de concentració (Martín-Vide, 2004) permetrà avaluar la similitud o no de les distribucions de freqüències corresponents a dos períodes diferents.

En aquest informe, com a aproximació inicial, s'han analitzat les distribucions de freqüències de les quantitats diàries de precipitació de l'ob-

servatori de Tortosa en dos períodes de 25 anys: 1951-1975 i 1976-2000. Els resultats es mostren a la taula A3.4.

Les dades del segon període, d'una qualitat excel·lent, corresponen a l'interval coincident amb l'escalfament global d'origen antròpic. Les diferències que mostra la taula són certament significatives i, fins a cert punt, sorprenents. En primer lloc, cal assenyalar una marcada reducció dels dies amb precipitació més important, especialment amb quantitats iguals o superiors a 50 i 100 mm, en passar del primer període al segon. La reducció de 55 dies amb mig centenar o més de mil·límetres a 22 dies, durant l'últim quart de segle, és molt important. L'últim nombre suposa tan sols un 40% del primer, mentre que els dies amb quantitats petites, inferiors a 10 mm, i el total de dies de pluja va ser molt similar en els dos períodes considerats. En conseqüència, a Tortosa ha minvat el pes dels dies més plujosos en els totals pluviomètrics o, el que és el mateix, les precipitacions torrencials es produeixen amb una probabilitat més reduïda. Cal analitzar més casos –però només amb la garantia que els registres siguin plenament fiables– per poder confirmar o descartar l'evolució que s'apunta a Tortosa.

En el cas de Barcelona, una mera comptabilització del nombre de dies amb precipitació igual o superior a 30, 50 i 100 mm durant les dècades dels anys 50, 60, 70 i 80 del segle xx no situa l'últim recompte en primer lloc, sinó que, contràriament, és la dècada dels 50 la que compta amb un nombre més alt de dies de precipitació per sobre dels llindars esmentats (figura A3.7). Per tant, encara no està demostrat, fins ara, el presumpte augment dels ruixats amb més quantitat de precipitació en els últims lustres a Catalunya.

Finalment, cal indicar que les tendències de les sèries pluviomètriques a Catalunya, gairebé sempre poc definides, són complexes, no lineals, amb trams de signe contraposat, així que la regressió lineal s'ha de considerar un procedi-

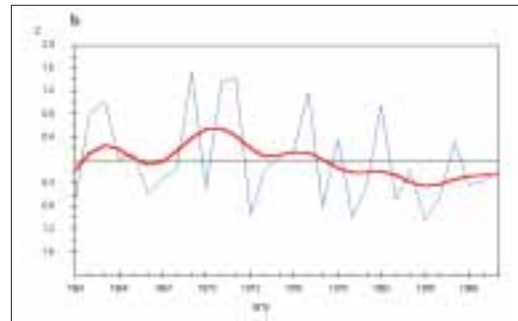
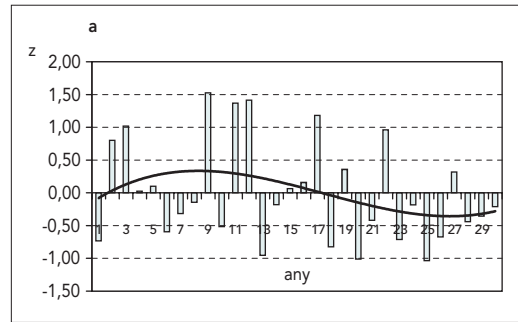


Figura A3.6. Evolució temporal de les mitjanes dels valors z de precipitació anual de 139 observatoris catalans durant el període 1961-1990, amb suavització polinomial (a) i amb filtre gaussià de pas baix (b). Font: elaboració pròpia.

	Període 1871-1900	Període 1901-1930	Període 1931-1960	Període 1961-1990
Barcelona	0,29	0,23	0,25	0,26
Tortosa	0,34	0,27	0,34	0,34

Taula A3.3. Valors del coeficient de variació de la precipitació anual en quatre períodes internacionals (1871-1900, 1901-1930, 1931-1960 i 1961-1990)

Font: elaboració pròpia.

ment estadístic d'anàlisi tan sols indicatiu. Ajustaments polinòmics de grau no molt elevat suposen aproximacions a la realitat més consistents, encara que sempre s'hagin de descartar les suposades fortes tendències dels extrems inicial i final de la sèrie.

A3.3.4 Altres senyals climàtics: la pressió atmosfèrica

És evident que tendències d'escala espacial àmplia en variables com la temperatura i la precipi-

Període	1951-1975		1976-2000		% dies precip. període 1976-2000 respecte període 1951-1975
Dies període	9.131		9.132		
Dies precip. (total)	2.069		2.030		
mm	Dies precip.	%	Dies precip.	%	
<10,0	1.671	80,8	1.663	81,9	99,5
≥10,0	398	19,2	367	18,1	92,2
≥30,0	123	5,9	88	4,3	71,5
≥50,0	55	2,7	22	1,1	40,0
≥100,0	7	0,3	2	0,1	28,6

Taula A3.4. Distributions de freqüències de les quantitats diàries de precipitació a Tortosa en els períodes 1951-1975 i 1976-2000
 Font: elaboració pròpia.

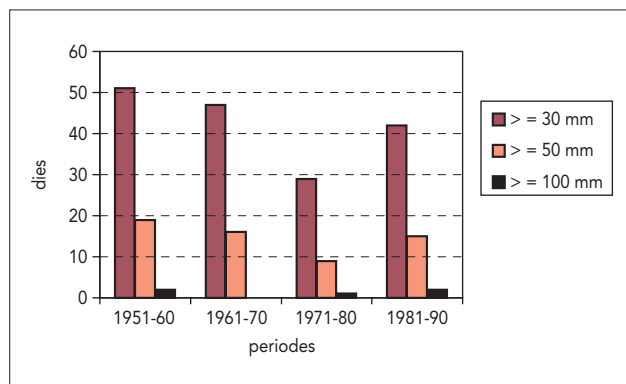


Figura A3.7. Nombre de dies de precipitació igual o major de 30, 50 i 100 mm a Barcelona durant quatre dècades.
 Font: elaboració pròpia.

tació han de poder comptar amb l'aval de modificacions en els camps de pressió atmosfèrica a una escala sinòptica i més global. La pressió atmosfèrica és la variable que compta amb la sèrie més llarga entre les sèries climàtiques existents a Catalunya i, a més, a una resolució fina, diària. La seva recopilació, reconstrucció i control de qualitat va ser possible en el marc del projecte europeu ADVICE (*Annual to Decadal Variability in Climate in Europe*) (Rodríguez et al., 2001), ja que durant el seu desenvolupament es van poder digitalitzar les observacions baromètriques que

va registrar a Barcelona, en el seu domicili del carrer Petrixol, tres vegades al dia, el doctor Francisco Salvá Campillo, i que després varen ser continuades per altres metges i farmacèutics il·lustrats fins a enllaçar amb les observacions oficials. La sèrie anual obtinguda a partir dels valors diaris, disponible amb garanties des del 1780 fins al 1989, admet una anàlisi cronològica exhaustiva. Encara que valors més recents podrien desvetllar algun canvi d'interès, l'estudi de la sèrie disponible mereix, a causa de la seva longitud superior als dos segles, una atenció especial (figura A3.8).

La tendència lineal de la sèrie de 210 anys de Barcelona mostra un augment global molt lleu i no significatiu de 0,37 hPa per segle. Aquest resultat de la falta d'una tendència significativa en una sèrie climàtica en períodes d'una longitud superior al segle, a Catalunya, ja s'havia esmentat anteriorment per la precipitació anual. L'obligada anàlisi de sèries llargues de dades per a l'estudi dels canvis i variacions climàtiques sovint dona com a resultat l'absència de tendències globals significatives en períodes pluriseculars. Malgrat això, la naturalesa del canvi climàtic antròpic, amb taxes de canvi en les variables molt superiors, proba-

blement, a les experimentades en temps passats durant els canvis climàtics per causa natural, obliga a analitzar també sèries més curtes, amb una durada inferior a un segle, per intentar detectar les ràpides variacions de les últimes dècades. Tot això respectant, això sí, els requisits estadístics corresponents.

Amb aquest objectiu s'ha analitzat una altra sèrie de pressió atmosfèrica amb garanties climàtiques disponible fins a l'any 2002, la corresponent a l'Observatori Fabra de Barcelona (figura

A3.9). Concretament cobreix el període 1927-2002 i pot ser analitzada amb una resolució mensual i anual.

Un cop trobats els paràmetres estadístics bàsics, verificada la normalitat de les sèries mensuals, aplicades les proves i tests d'aleatorietat i homogeneïtat (coeficient de correlació serial, Von Neumann, Spearman, Man-Kendall) i analitzades les seves tendències (T-test) es pot afirmar el següent:

1) Combinant els diferents tests, s'ha de concloure que les sèries mensuals són bones, sempre normals i aleatòries, amb algun dubte en el cas de setembre i amb possibles inhomogeneïtats en la de febrer (1989) i setembre (1970 i 1993).

2) La sèrie anual no és aleatòria segons la majoria dels tests, segurament a causa de la seva tendència, i té una possible manca d'homogeneïtat el 1973, no constatada en la metadata de l'observatori (a partir d'aquest any sembla menys aleatòria, però la inexistència d'una raó clara a la metadata d'aquest any convida a no acceptar la possible inhomogeneïtat).

3) Les sèries mensuals de desembre a març, inclosos, i l'any mostren tendències significatives a l'alça en el període 1927-2002, resultat de notable interès (l'ajustament d'un polinomi de grau 3 a la sèrie anual mostra un increment clar, encara que amb tendència final a la baixa).

4) El MESA dona pics significatius ($\alpha = 0,95$) en la sèrie anual per a 4,8; 8,6; i 60 anys.

Per tant, durant els mesos d'hivern, de desembre a març, inclosos, s'ha produït una tendència a l'alça estadísticament significativa de la pressió atmosfèrica, que produeix també un augment significatiu en la sèrie a resolució anual. Aquest s'avalua en 0,12 mmHg per dècada. La proximitat de l'observatori Fabra al casc urbà de Barcelona aconsella no descartar alguna influència urbana en les sèries baromètriques, tot i que

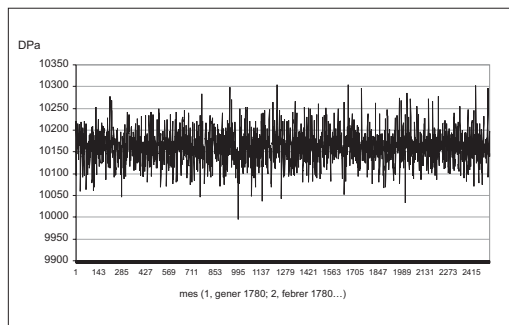


Figura A3.8. Evolució temporal de la pressió atmosfèrica mitjana mensual a Barcelona durant el període 1780-1989.

Font: Rodríguez et al. (2001).

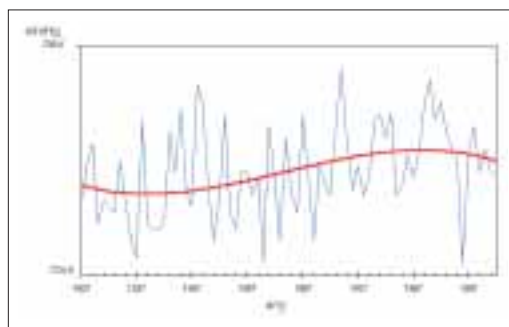


Figura A3.9. Evolució temporal de la pressió atmosfèrica mitjana anual a l'observatori Fabra (Barcelona) durant el període 1927-2002 i suavització polinomial.

Font: elaboració pròpia.

l'augment compta amb altres senyals concordants a la conca del Mediterrani occidental.

La disponibilitat de sèries baromètriques molt llargues a Cadis-San Fernando i a Pàdua (Camuffò i Jones, 2002), que se situen en els extrems d'un transecte imaginari, de sud-oest a nord-est, de la conca del Mediterrani occidental, ha facilitat la seva elecció com a base d'un dipol baromètric o patró de variabilitat de baixa freqüència nou: l'Oscil·lació del Mediterrani Occidental (Martín-Vide, 2002). L'esmentat dipol està constituït per un centre d'acció atlàntic proper a la Península Ibèrica i un altre localitzat a l'àrea de Centreuropa i el nord de la Península Itàlica, que reflecteixen els comportaments at-

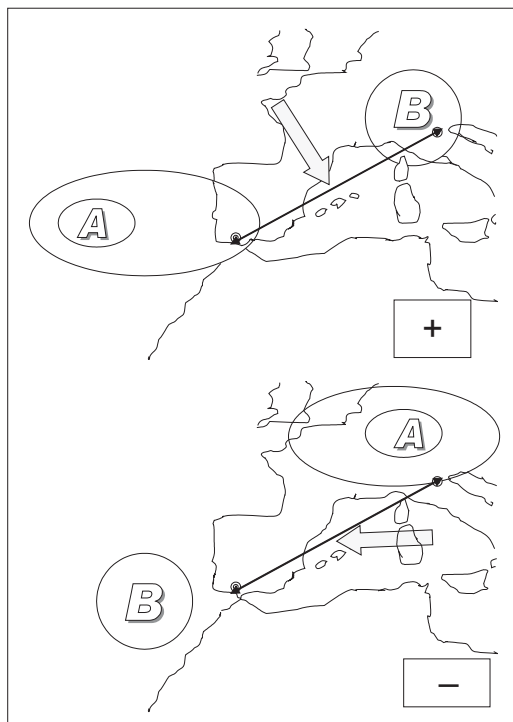


Figura A3.10. Dipols de l'Oscil·lació del Mediterrani Occidental en les seves fases positiva i negativa.
Font: Martín-Vide (2002).

mosfèrics de dues de les regions més importants atmosfèricament entre les quals s'enquadra la conca mediterrània occidental (figura A3.10).

La fase positiva de l'Oscil·lació del Mediterrani Occidental es configura a partir d'un anticicló cap a l'oest de la Península Ibèrica, sigui com un potent anticicló de les Açores o una dorsal d'aquest, juntament amb una depressió al nord de la Península Itàlica, ja sigui a la Liguria o a l'Adriàtic. Aquesta situació sinòptica produiria l'advecció de fluxos de component nord cap a l'interior de la conca del Mediterrani occidental. La fase negativa es correspon, en canvi, amb una baixa al golf de Cadis o a l'àrea delimitada per Açores-Madeira, Canàries i el sud-oest ibèric, juntament amb altes pressions a Centreuropa i al nord d'Itàlia. La situació descrita comportaria fluxos de component est a bona part de la conca marítima considerada.

Es defineix, doncs, l'índex d'Oscil·lació del Mediterrani Occidental (WeMOi) com la diferència entre les pressions en superfície estandarditzades de Cadis-San Fernando i Pàdua. És a dir, cada sèrie de pressió (sigui la d'un mes determinat) d'ambdues ciutats es transforma a valors z , segons les seves pròpies mitjana i desviació típiques, i aleshores es resten els valors estandarditzats (Cadis-San Fernando menys Pàdua). La figura A3.11 mostra els valors de WeMOi corresponents al mes de gener i en el període 1820-1996. S'hi ha sobreposat, per suavitzar, un polinomi de grau 6.

En el mes esmentat, la pressió mitjana a Cadis-San Fernando va ser de 1020,9 hPa, amb una desviació típica de 3,7 hPa, mentre que els mateixos paràmetres estadístics a Pàdua van ser 1018,3 hPa i 5,2 hPa. El WeMOi mostra en el període analitzat una fase negativa al llarg de la segona meitat del segle XIX i una positiva des dels anys deu fins als seixanta del segle XX. Els valors extrems de l'índex són: +2,21 l'any 1843 i -2,17 l'any 1898.

De tot el que s'ha dit, es conclou que convé proposar i estudiar certs patrons de teleconnexió pròpiament mediterranis o amb incidència en el clima de la conca del Mediterrani occidental, que podrien aportar informació molt interessant sobre l'evolució de les variables climàtiques de Catalunya en els propers decennis.

A3.4. Conclusions i suggeriments

1) La localització climàtica de Catalunya conforma un espai singular d'influències múltiples, subtropicals i temperades, atlàntiques i mediterrànies, sota efectes aerològics diversos. La diversitat climàtica de Catalunya obliga sempre a l'ús del plural –els climes–, més encara quan augmenta la resolució espacial de l'anàlisi fins a un nivell comarcal o supracomarcal. El pes de la geografia en el seu sentit més físic (els grans contrastos d'altitud i exposició, en especial) produeix, sense baixar encara a l'escala microclimàtica, un complex mosaic de

climes. D'aquesta manera, es fa difícil la generalització, i, en conseqüència, es requereix un gran nombre de punts d'observació meteorològica per comprendre la diversitat climàtica passada, actual i futura del territori.

- 2) A causa del que s'ha dit, les terres catalanes presenten contrastos molt notables de tipus tèrmic, pluviomètric, etc., molt poc comuns en espais que amb prou feines tenen unes poques desenes de milers de quilòmetres quadrats, com és el cas, tant pel que fa a l'escala climàtica com per la meteorològica. Encara són necessaris molts estudis i investigacions per comprendre profundament i a una escala espacial de detall el comportament de l'atmosfera i de la resta de components del sistema climàtic al Principat.
- 3) La necessitat d'obtenir sèries climàtiques de qualitat, llargues i homogènies, obliga a tenir cura dels observatoris meteorològics (continuitat, manteniment i calibració dels instruments) i dels seus observadors, base indispensable per a estudis climàtics futurs.
- 4) La complexitat climàtica del territori, passada i present, s'erigeix també com un element de notable dificultat a l'hora de determinar i avaluar els canvis actuals i, especialment, d'establir les previsions futures. Malgrat que les reduïdes dimensions del territori no permeten pensar més que en un únic escenari futur per a Catalunya, per a cada escenari particular d'emissions, aquest serà complex, ja que els factors geogràfics causants de la diversitat del territori seguiran essent-hi presents. Si la regionalització climàtica actual de Catalunya és certament complexa, difícil de plasmar en un mapa, els llinars i les divisòries futures semblen també molt difícils de preveure. En tot cas, convé recolzar-se, ara i en escenaris futurs, en les unitats fisiogràfiques a

l'hora d'establir divisòries climàtiques, degut al pes dels factors geogràfics del país.

- 5) En el cas de Catalunya la NAO, el patró de variabilitat de baixa freqüència més important per Europa occidental, té una influència relativament modesta, a causa de la posició a sotavent de la Península Ibèrica (a la costa catalana la precipitació hivernal presenta correlació negativa però molt dèbil amb l'índex NAO). La investigació de patrons de variabilitat de baixa freqüència pròpiament mediterranis, que permetin comprendre el comportament autònom de la conca del *Mare Nostrum* i, en analitzar les seves tendències, projectar resultats futurs per al Mediterrani occidental i la Península Ibèrica, s'entreveu com una línia d'investigació necessària i prometedora.
- 6) A causa de la modèstia general de l'input pluviomètric i l'acusada variabilitat de la precipitació a Catalunya, aquest element climàtic és decisiu a l'hora de projectar previsions sobre el clima futur i els seus efectes socioeconòmics, per sobre de la temperatura. La inseguretats en les contribucions hídriques que suposa una elevació de la variabilitat pluviomètrica a Catalunya seria probablement tant o més greu que una reducció moderada dels totals pluviomètrics.

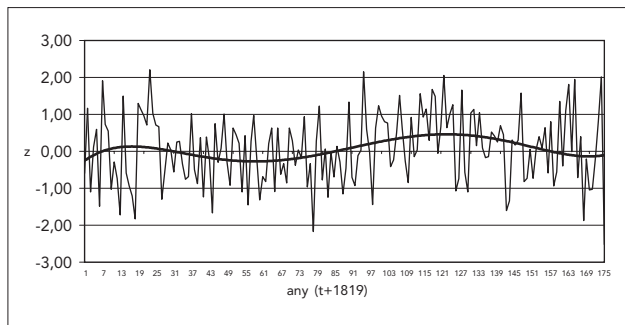


Figura A3.11. Evolució temporal de l'índex de l'Oscil·lació del Mediterrani Occidental durant el gener del període 1820-1996 i suavitzat mitjançant un polinomi de grau 6. Font: Martín-Vide (2002).

- 7) Fent servir sèries pluviomètriques anuals pròximes a un segle o més de duració, a Catalunya no resulten evidents canvis significatius en la quantitat de precipitació. La suposada disminució pluviomètrica no troba un aval clar en les sèries pluviomètriques seculars. En canvi, és significativa ($\alpha = 0,90$) una tendència a la baixa de la precipitació anual del conjunt de Catalunya al llarg de l'últim període internacional (1961-1990).
- 8) La variabilitat pluviomètrica anual al llarg del segle xx a Catalunya probablement ha augmentat, però la variabilitat de l'últim període internacional no resulta desconeguda ja que és comparable a la de finals del segle xix.
- 9) En el conjunt de Catalunya, la temperatura ha mostrat unes variacions i tendències similars a les globals des de l'últim terç del segle xix fins ara, i s'aprecia bé l'escalfament dels anys 80 i 90. La dècada dels anys 90 ha estat la més càlida des de l'inici dels registres instrumentals.
- 10) És possible que al llarg del segle xx s'hagi produït un augment de la pressió atmosfèrica, tant anualment com en els mesos d'hivern, a Catalunya, d'acord amb un comportament similar a la conca mediterrània.
- 11) L'anàlisi dels esdeveniments meteorològics extrems en països que han patit profundes transformacions socials, econòmiques i ambientals, com Catalunya, a partir dels seus efectes negatius, té un gran interès, però pot conduir a conclusions errònies sobre les tendències temporals com a fenomen natural. Fins ara no s'ha demostrat, per exemple, el presumpte augment de les pluges amb més quantitat de precipitació en els últims lustres a Catalunya, encara que els efectes d'aquest risc meteorològic hagin produït pèrdues econòmiques més fortes. Això fa obligatoris nous estudis i anàlisis dels riscos climàtics per descobrir les veritables tendèn-

cies actuals i la seva projecció futura, considerats en la seva vessant natural i caracteritzats per la seva freqüència, intensitat i persistència.

Referències bibliogràfiques

- AGUILAR, E.; LÓPEZ, J.M.; BRUNET, M.; SALADIÉ, O., SIGRÓ, J.; LÓPEZ, D. «Control de calidad y proceso de homogeneización de series térmicas catalanas». A: Raso i Martín-Vide (eds.). *La Climatología española en los albores del siglo*. Barcelona: Oikos-Tau i Asociación Española de Climatología, 1999, Sèrie A, p. 15-23.
- Atlas Climàtic de Catalunya, 1:750.000*. Barcelona: Departament de Medi Ambient i Institut Cartogràfic de Catalunya, 1997. (Elaboració: P.Clavero, J.Martín-Vide i J.M.Raso).
- BRUNET, M.; AGUILAR, E.; SALADIÉ, O.; SIGRÓ, J.; LÓPEZ, D. «Variaciones y tendencias contemporáneas de la temperatura máxima, mínima y amplitud térmica diaria en el NE de España». A: RASO i MARTÍN-VIDE (eds.). *La Climatología española en los albores del siglo XXI*. Barcelona: Oikos-Tau i Asociación Española de Climatología, 1999, Sèrie A1, p. 103-112.
- BRUNET, M.; AGUILAR, E.; SALADIÉ, O.; SIGRÓ, J.; LÓPEZ, D. «Análisis de las relaciones entre la evolución a largo plazo de la temperatura del aire en el nordeste español y las estimadas para el hemisferio norte, la cuenca del Mediterráneo occidental y el centro de Inglaterra». A: PÉREZ-CUEVA; LÓPEZ BAEZA; TAMAYO. *El Tiempo del Clima*. València: Garmas i Asociación Española de Climatología, 2001, Sèrie A 2, p. 27-39.
- BRUNET-INDIA, M.; LÓPEZ BONILLO, D. (eds.). *Detecting and Modelling Regional Climate Change*. Berlin-Heidelberg-New York: Springer, 2001.
- CAMUFFO, D.; JONES, Ph. *Improved Understanding of Past Climatic Variability from Early Daily European Instrumental Sources*. Dordrecht: Kluwer, 2002.
- JANSÀ, J.M. «La masa de aire mediterránea». *Revista de Geofísica*, XVIII, núm. 69, p. 35-50, Madrid, 1959.
- LANA, X.; SERRA, C.; BURGUEÑO. «Trends affecting pluviometric indices at the Fabra Observatory (Barcelona, NE Spain) from 1917 to 1999». *International Journal of Climatology*, 2003, núm. 23, p. 315-332, Royal Meteorological Society.
- MARTÍN-VIDE, J. «EL CLIMA». A: BOSQUE i VILÀ VALENTÍ (dir.). *Geografía de España*, vol. 9, 1992a, p. 44-67. Barcelona: Planeta.

MARTÍN-VIDE, J. «El Clima». A: *Geografía General dels Països Catalans*. Barcelona, Enciclopèdia Catalana, 1992b.

MARTÍN-VIDE, J. «Decàleg del canvi climàtic». A: VILÀ VALENTÍ, J. (coord.). *Medicina, Medi ambient i clima. Investigacions punta per al 2000*. Barcelona: Fundació Catalana per a la Recerca, 1999, p. 217-242

MARTÍN-VIDE, J. «Ensayo sobre la Oscilación del Mediterráneo Occidental y su influencia en la pluviometría del este de España». A: GUIJARRO, GRIMALT, LAITA Y ALONSO. *El Agua y el Clima/L'Aigua i el Clima*. Palma de Mallorca: Asociación Española de Climatología, 2002, Sèrie A, 3, p. 35-42.

MARTÍN-VIDE, J. «Spatial Distribution of a Daily Precipitation Concentration Index in Peninsular Spain». *International Journal of Climatology*, núm. 24, 2004, p. 959-971.

MARTÍN-VIDE, J.; OLCINA, J. *Climas y tiempos de España*. Madrid: Alianza Editorial, 2001.

MARTÍN-VIDE, J.; FERNÁNDEZ, D. «El índice NAO y la precipitación mensual en la España peninsular». *Investigaciones Geográficas*, núm. 26, 2001, p. 41-58. Alacant: Instituto Universitario de Geografía, Universidad de Alicante.

RODRÍGUEZ, R.; BARRIENDOS, M.; JONES, P.D.; MARTÍN-VIDE, J.; PEÑA, J.C. «Long pressure series for Barcelona (Spain). Daily reconstruction and monthly homogenization». *International Journal of Climatology*, núm. 21, 2001, p. 1693-1704. Royal Meteorological Society.

SERVEI DE METEOROLOGIA DE CATALUNYA. *Llibre blanc del Servei de Meteorologia de Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, 1998.

VILÀ VALENTÍ, J. «Les unitats majors del relleu a Catalunya. Història d'uns conceptes». A: *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*, L, 5, Barcelona, 1991.

A4. El forçament antropogènic i els canvis en el clima

Xavier Rodó

Miquel Àngel Rodríguez-Arias

Laboratori de Recerca del Clima
Parc Científic de Barcelona

Xavier Rodó (Terrassa, 1965) és professor d'Investigació de la Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats (ICREA) i dirigeix el Laboratori de Recerca del Clima del Parc Científic de Barcelona, de la Universitat de Barcelona (UB). Inicià estudis d'enginyeria i l'any 1997 es doctorà en Ciències Biològiques per la UB. Ha estat docent en Ecologia a la UB, en Estadística Aplicada a la UPC, i investigador al Departament de Meteorologia i Astronomia de la UB. Ha realitzat nombroses estades postdoctorals en alguns dels principals centres de recerca climàtica del món, com ara a les universitats de Princeton, Michigan, San Diego State, Minnesota, Cathòlique de Louvaine, SCRIPPS, GATECH i al Geophysical Fluid Dynamics Laboratory/NOAA. També va ser investigador del COLA (Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies, Maryland) al que continua adscrit com a investigador visitant.

La seva recerca s'ha centrat en els components interanuals de la variabilitat climàtica i, més concretament, en les teleconnexions de l'ENSO (*El Niño-Southern Oscillation*) amb les regions extra-tropicals, en les que intervenen fluxos d'energia entre regions oceàniques no comunicades. Té més de 10 anys d'experiència en l'anàlisi de les interaccions clima-ecosistemes i clima-malalties. Ha col·laborat en nombrosos projectes de recerca amb equips d'Europa, Àsia i els Estats Units d'Amèrica. D'entre aquestes col·laboracions, les més remarcables són les establertes amb George Philander (Universitat de Princeton) per estudiar la relació de les connexions extra-tropicals de l'ENSO i els components d'alta freqüència dels cicles de Milankovitch, i amb Mercedes Pascual (Universitat de Michigan) per investigar la influència del clima i el canvi global sobre la dinàmica de les epidèmies de còlera a Bangla Desh. A partir de la seva recerca ha publicat contribucions significatives en prestigioses revistes internacionals (*Science*, *PNAS*, *Climate Dynamics* i *Journal of Climate*, entre d'altres).

Miquel Àngel Rodríguez-Arias, (Barcelona, 1969) és investigador del Laboratori de Recerca del Clima del Parc Científic de Barcelona (LRC-PCB), de la Universitat de Barcelona. Es va formar com a biòleg a la UB i actualment combina la seva recerca al LRC amb el seu treball de doctorat al Departament d'Ecologia d'aquesta universitat. Ha estat membre del Grup de Geociències Marines de la UB (GGM), on va treballar en temes tan diversos com la geomorfologia, la sedimentologia o la robòtica submarina. Al GGM va participar en un total de 15 campanyes oceanogràfiques i es va formar com a gestor de projectes de recerca. En l'actualitat, la seva feina al LRC-PCB combina l'activitat científica amb la gestió administrativa i de suport a la recerca en totes les línies del grup. Com a investigador, la seva activitat més notable ha estat el desenvolupament del *Size Dependent Correlation Analysis* o SDC, una eina estadística que permet la localització i la identificació d'interaccions locals i transitòries entre dues sèries de dades, i que té una gran utilitat de cara a estudiar els impactes del clima sobre qualsevol tipus de sistema humà o natural.

Síntesi	117
A4.1. El canvi climàtic: el reflex d'un balanç d'energia alterat	119
A4.1.1. El canvi climàtic	
A4.1.2. L'increment de l'efecte d'hivernacle: de la desestabilització del cicle del carboni a l'alteració del balanç radiatiu planetari	
A4.1.3. L'home com a agent de canvi global	
A4.2. El paper d'Europa en el canvi climàtic	127
A4.2.1. La difícil tasca d'atribuir responsabilitats	
A4.2.2. La mesura de la contribució a l'increment de l'efecte d'hivernacle. Balanços versus inventaris	
A4.2.3. El balanç de carboni de la Unió Europea i dels seus estats membres	
A4.3. La detecció del canvi climàtic a la regió mediterrània	136
A4.3.1. L'evolució temporal dels descriptors climàtics	
A4.3.2. Respostes geofísiques i biològiques al canvi climàtic	
A4.3.3. Els esdeveniments extrems: què ens diu el passat i què ens espera en el futur	
A4.3.4. La variabilitat interanual del clima a Catalunya. La influència de la variabilitat de latituds mitjanes i la dels fenòmens tropicals en la regulació del clima a l'àrea mediterrània	
A4.3.4.1. La variabilitat climàtica a latituds mitjanes i el nostre clima	

A4.3.4.2. El paper dels fenòmens tropicals
en la regulació del clima a
l'àrea mediterrània

Referències bibliogràfiques

151

Síntesi

Actualment hi ha la certesa absoluta que l'home ha canviat i està canviant el clima del planeta. Per tant, és el moment d'intentar entendre millor com les activitats humanes alteren el funcionament del sistema climàtic per tal de predir la magnitud dels possibles impactes i avaluar si els sistemes naturals i les societats humanes s'adaptaran o magnificaran els canvis previstos. Tot això serà necessari per tal d'atribuir responsabilitats, dissenyar polítiques d'adaptació i, sobre tot, per millorar les prediccions del canvi climàtic que pot produir-se a mitjà i a llarg termini i, si és possible, fer-ho per a regions tan petites com ara Catalunya.

El canvi climàtic és, bàsicament, la resposta de la Terra a l'alteració del balanç energètic planetari que ha provocat l'home en desestabilitzar el cicle global del carboni. Aquest canvi ja s'està manifestant i encara ho farà d'una manera molt més intensa en el futur. S'ha de començar, doncs, a prevenir i a adoptar mesures d'adaptació, però la proporció entre un i altre tipus de resposta dependrà de la sensació d'alarma que es percebi i per tant del temps que es trigui en començar a actuar decididament.

Si la resposta és ràpida, la majoria de les despeses seran en mesures preventives que potenciaran l'establiment de models energètics alternatius que permetin reduir de manera clara i decidida el volum de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. Si, per contra, es continua considerant el canvi climàtic com un problema secundari i no s'actua decididament, a mitjà termini caldrà fer front a una situació molt complicada i que requerirà de grans esforços per tal de trobar-hi solucions. Una situació que podria comprometre seriosament la qualitat de vida de les societats occidentals i accentuar fins a límits insospitables i probablement insuportables les desigualtats a escala mundial. Tant en un cas

com en l'altre es produiran una sèrie de costos que, de ben segur, caldrà assumir conjuntament.

La qüestió però, és com es distribueixen aquests costos. No hi ha cap garantia que el repartiment sigui just, ja que l'impacte no es distribuirà pas de manera equitativa. Segons les actuals prediccions, les regions tropicals, on es troben un gran nombre d'estats en vies de desenvolupament, patiran la major part dels impactes negatius, mentre que les zones boreals, on se situen estats amb elevats estàndards de qualitat de vida podrien arribar a gaudir d'efectes beneficiosos. Resulta necessari, per tant, estudiar el balanç de carboni d'una regió determinada del planeta per poder arribar a quantificar quina és la seva responsabilitat en l'increment de l'efecte d'hivernacle.

Amb la tecnologia i els coneixements disponibles actualment, això només es pot fer per a regions de mida continental, com ara Europa (on ja es treballa en aquesta direcció i de les quals ja es disposa de les primeres estimacions, obtingudes a través d'un procediment fiable). En el cas de regions més petites, com ara Catalunya, encara no és possible mesurar aïlladament la seva contribució a l'escalfament global, tot i que hi ha la possibilitat que es pugui fer en un futur no gaire llunyà.

El que si és possible en regions tan petites com ara Catalunya —encara que no és gens fàcil— és detectar-hi estadísticament el canvi climàtic. La detecció local del canvi climàtic és un problema amb el que fa temps que s'enfronta el Grup Intergovernamental d'Experts sobre Canvi Climàtic (IPCC). La seva solució, que sembla prou acurada, consisteix en fer servir tota la informació disponible per valorar qualitativament la certesa del canvi. La informació que s'utilitza no són només els canvis en la mitjana i la dispersió

en les sèries temporals de dades climàtiques (que fins fa no gaire era l'única aproximació que es considerava fiable), sinó també tota la resta de proves, de vegades circumstancials, que s'han anat adquirint en els estudis climàtics realitzats en el decurs del temps. D'entre aquestes proves destaca especialment la consistència entre les dades reals, físiques i biològiques, i els resultats dels experiments climàtics amb models on es simulen els forçaments antropogènics.

Per predir com serà el canvi climàtic a Catalunya i els seus efectes cal entendre, en primer lloc, les característiques del clima que experimenta actualment el Principat. L'adequada caracterització del clima del Principat no es pot separar de la caracterització del clima a la Península Ibèrica i, per extensió, a tota la regió mediterrània. Si es busquen les connexions regionals i interhemisfèriques que han de permetre explicar el clima de Catalunya, cal estendre l'anàlisi més enllà d'aquesta regió, d'una dimensió espacial tan reduïda.

No obstant això, en l'àmbit geogràfic de la Mediterrània els estudis climàtics no estan encara al nivell de desenvolupament que hi ha en altres zones geogràfiques, com ara el Pacífic tropical, el sud-est asiàtic, i determinades zones de l'Àfrica, Austràlia, Amèrica del Nord o del Nord d'Europa. A la conca mediterrània, les aproximacions que s'han fet han estat molt fragmentades o en alguns casos són molt recents i encara no s'han pres en consideració –o bé han estat obviades–. En conjunt, en la major part dels casos aquestes aproximacions no van gaire més enllà de la caracterització dels valors de referència a

diferents nivells, sobretot al nivell estacional, o bé de l'evolució del comportament mitjà a llarg termini. Així, encara manca una visió conjunta i moderna del clima mediterrani, aspecte que, tret d'algunes excepcions, ni tan sols s'ha abordat pel que fa al conjunt dels països costaners de la conca occidental mediterrània.

A l'hora d'estudiar el clima cal diferenciar entre els seus diversos components, els quals, en principi, han de ser estudiats separatament. Així la climatologia d'una localitat, comarca o àrea geogràfica determinada es pot separar en variabilitat estacional, corresponent al cicle anual, i en altres components interanuals com ara les tendències lligades a la variació en el temps del propi cicle anual i una porció de la variabilitat total que potser és simplement aleatòria o que, més aviat, està modulada per fenòmens climàtics de gran escala i de llarg abast com ara la NAO (*North Atlantic Oscillation*) o l'ENSO (*El Niño/Southern Oscillation*).

Es creu amb una fiabilitat elevada que la NAO esdevindrà més profunda i variable en el futur, tot i que no queda clar com afectarà el clima de Catalunya a l'hivern. D'altra banda, l'evolució futura de l'ENSO i el monso africà, que influeixen –encara que de manera discontinua–, sobre el clima mediterrani, també és objecte d'un ampli debat científic. En el cas de l'ENSO, sembla ser que aquesta veurà incrementada la seva variabilitat interanual a causa de l'escalfament global –i del Pacífic tropical en particular– i que això tindrà efectes significatius sobre el clima de les nostres contrades.

Actualment, els investigadors que estudien el clima i els seus efectes sobre la societat i la natura tenen la certesa absoluta que l'home ha canviat i està canviant el clima del planeta. De fet, aquesta certesa, que és el resultat de l'observació de la natura i de la construcció i experimentació amb models climàtics planetaris, fa temps que es té. En aquests moments, tot i que pugui semblar exagerat, el canvi climàtic és un fet tan acceptat i incontestable com ara l'estructura atòmica pels físics o l'evolució de les espècies pels biòlegs.

La recerca que s'està realitzant actualment en l'àmbit de la climatologia ja no pretén demostrar l'existència del canvi climàtic, sinó entendre'l millor. Es vol aprofundir en el coneixement sobre com les activitats humanes contribueixen a l'alteració del funcionament del sistema climàtic, amb l'objectiu de copsar tota la magnitud de l'impacte antròpic. Igualment, també es vol conèixer millor la resposta dels sistemes naturals i les societats humanes a aquest entorn canviant i esbrinar si la seva adaptació tamponarà o magnificarà els canvis previstos. Aquest coneixement més profund permetrà avançar en l'atribució de responsabilitats concretes en la generació d'aquest fenomen, dissenyar polítiques de mitigació i d'adaptació i, sobre tot, millorar les prediccions del canvi climàtic que es pot produir a mitjà i llarg termini i, si és possible, fer-ho per a regions tan petites com ara Catalunya.

En aquest capítol s'estudia com el canvi climàtic és, en gran mesura, la resposta planetària a l'alteració del balanç energètic provocada per l'home en desestabilitzar el cicle global del carboni (apartat A4.1). D'aquí es deriva que si s'estudia el balanç de carboni d'una regió determinada del planeta es pot arribar a quantificar quina és la contribució d'aquesta regió al canvi climàtic global (apartats A4.2.1 i A4.2.2). Amb la tecnologia i els coneixements disponibles actualment, això només es pot fer per a regions de mida continental (apartat A4.2.3) i, per tant, encara no es pot arribar a mesurar aïlladament la contribució de Catalunya al canvi climàtic global. La detecció del canvi climàtic, en canvi, sí que es pot fer per regions més petites. Al Principat aquest fenomen es pot detectar tant als descriptors climàtics com als registres físics i biològics (A4.3.1 i A4.3.2), però també en la incidència cada cop més gran dels esdeveniments meteorològics extrems i, en general, en la influència creixent de fenòmens climàtics d'origen tropical sobre les nostres contrades (A4.3.3 i A4.3.4).

A4.1. El canvi climàtic: el reflex d'un balanç d'energia alterat

En aquest apartat s'intenta aclarir què s'entén per canvi climàtic i quines són les causes que el provoquen. En primer lloc es defineix què és el clima i de què es parla quan es diu que està canviant. A continuació s'estudia l'efecte d'hivernacle, el balanç energètic planetari i com el canvi climàtic és el resultat de l'increment del primer i de la altera-

ció del segon. Més endavant s'enuncien els processos naturals i les activitats humanes que poden modificar el balanç energètic del planeta i, per tant, convertir-se en agents generadors de canvi climàtic. En aquest punt s'estudia el cicle del carboni i el seu paper com a modulador del clima. Finalment, es mostra com d'entre tots els processos que poden alterar el clima, els principals responsables són els relacionats amb l'activitat humana.

A4.1.1. El canvi climàtic

El clima del planeta depèn de molts factors que actuen a escales temporals i espacials molt diferents. Primer, el clima és un fenomen planetari. El sol escalfa la Terra, tot i que no ho fa de forma homogènia: les zones equatorials reben més calor que no pas les polars, i de manera canviant al llarg de l'any. Si el planeta fos una bola metàl·lica rígida, no ens caldria res més per entendre les diferències de temperatura entre diversos llocs. A la superfície terrestre, però, hi ha dos compartiments fluids (l'atmosfera i els oce-

ans), que redistribueixen l'escalfor per tot el planeta, transportant calor netament des de l'equador cap als pols mitjançant els seus propis desplaçaments, corrents marins i masses d'aire en moviment, la trajectòria dels quals està regulada no només pels gradients tèrmics sinó també per la rotació terrestre i la topografia terrestre submarina i de la superfície terrestre.

Tenint en compte aquests factors, es pot definir de manera relativament fidel el clima mitjà de qualsevol regió del planeta. Per entendre què és el clima mitjà, es poden observar els diagrames ombrotèrmics representats a la figura A.4.1, fets a partir de les dades de l'estació meteorològica que hi ha al pantà de Foix. En aquests diagrames es mostra la temperatura mitjana i la pluja acumulada els diferents mesos de l'any en un punt determinat del planeta. Aquestes variables no són el mateix que la temperatura i la pluja que experimentem quotidianament –és a dir, aquelles que intenta predir la meteorologia. En climatologia les variables són diferents: la tempera-

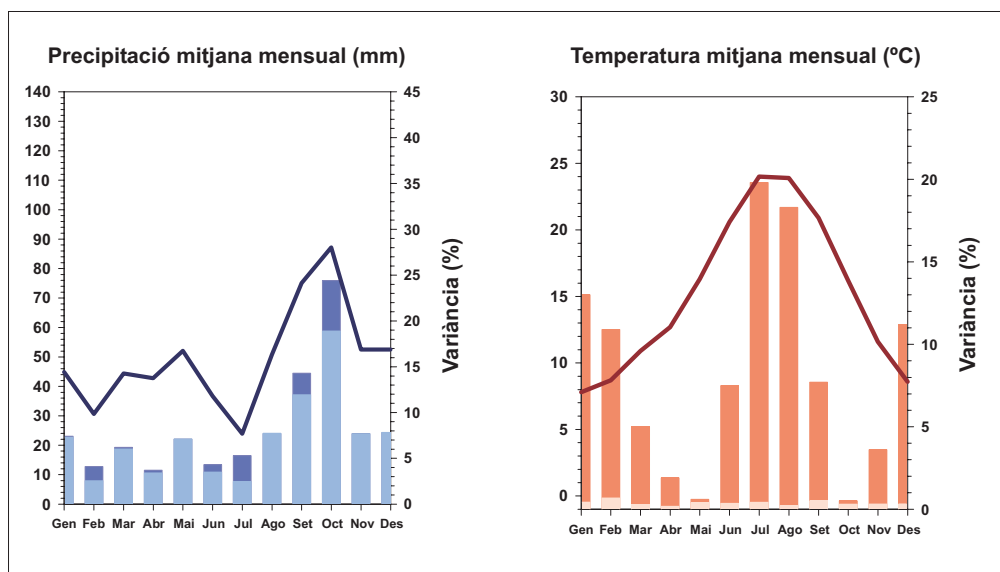


Figura A4.1. Cicles anuals de la precipitació (mm mes⁻¹, en blau) i de la temperatura (°C, en vermell) al Pantà de Foix, i contribucions mensuals (en %) a la variabilitat total (barres). La part més fosca de les barres és la contribució intraanual, mentre que la part més clara és la interanual.

Font: elaboració pròpia.

tura és la mitjana mensual de la temperatura mitjana diària, mentre que la pluja es la suma de tot el que ha caigut al llarg del mes (figura A4.1). Es pot veure, per tant, com en aquest camp d'estudi l'escala temporal bàsica és la mensual, i que les variables de treball no són pas les que percebem els nostres sentits, encara que estiguin estadísticament molt relacionades: d'aquí neix la confusió en el públic, i de vegades en medis acadèmics entre meteorologia i climatologia.

Els diagrames ombrotèrmics són importants perquè sovint permeten caracteritzar molt bé com és el clima d'un lloc determinat, però no contenen tota la informació climàtica. A la mateixa figura A4.1 també es representa la variància mensual de la temperatura i de la precipitació, separades en les seves components intraanual i interanual. La variància és una mesura de la dispersió de les dades respecte al seu valor mitjà. La intraanual ens informa de la dispersió que es produeix en el cicle anual, mentre que la interanual ens mostra les diferències entre anys. Les variàncies de la temperatura i la precipitació són molt diferents: mentre que a la temperatura quasi tota la dispersió es pot explicar per les diferències existents entre les estacions de l'any (quasi tota la variància és intraanual), pel que fa a la precipitació la major part de la dispersió és interanual (entre anys). Aquest fet té conseqüències importants. Actualment es coneix molt més sobre l'estacionalitat (el cicle anual), que sobre les diferències entre anys (oscil·lacions climàtiques interanuals) i, per tant, es disposa de models –i, en conseqüència, de prediccions– millors per a la temperatura que per a la precipitació.

Quan es parla de canvi climàtic s'està fent referència a canvis en els valors de les variables climàtiques d'un lloc, d'una regió o de tot el planeta. Però, quins són aquests canvis? Els més intuïtius són els que afecten el valor mitjà, però també es poden produir canvis en la variància. La figura A4.2 (IPCC, 2001) il·lustra el canvi en la freqüència de dies amb valors determinats de

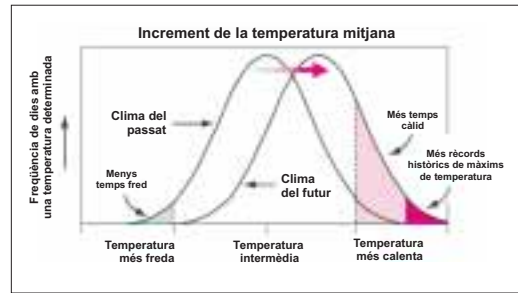


Figura A4.2. Esquema conceptual dels canvis en la freqüència de dies amb temperatures extremes que es podria produir davant d'un increment de la mitjana de les temperatures.

Font: elaboració pròpia a partir de la figura 2.32 de l'informe IPCC (2001).

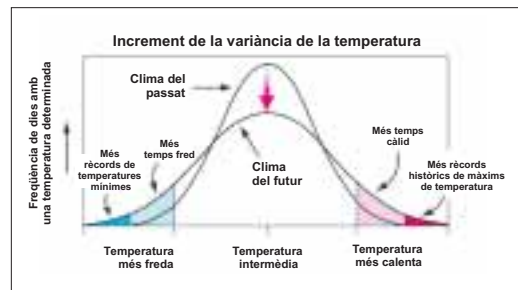


Figura A4.3. Esquema conceptual dels canvis en la freqüència de dies amb temperatures extremes si s'incrementava la variància de les temperatures.

Font: elaboració pròpia a partir de la figura 2.32 de l'informe IPCC (2001).

temperatura que s'esperaria trobar atès un increment en la mitjana (anual o mensual). En canvi, la figura A4.3 mostra el que passaria si augmentava la dispersió.

En el primer cas només s'experimentaria més calor, mentre que en el segon el clima esdevindria més extrem (més episodis de fred i de calor intenses). L'increment de la variància es pot produir perquè els canvis estacionals siguin més marcats o perquè augmentin les diferències entre els anys. També podria passar que canviés la proporció entre la dispersió estacional i la variància interanual, amb variacions o no de la variabilitat total. Actualment s'estaria produint un canvi tant de la mitjana com de la variància (figura A4.4) de la precipitació i la temperatura.

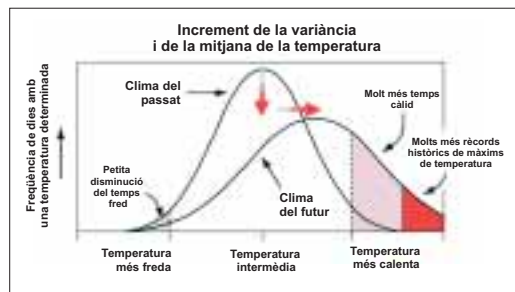


Figura A4.4. Esquema conceptual dels canvis en la freqüència de dies amb temperatures extremes en cas que augmentessin la variància i el promig de la temperatura.

Font: elaboració pròpia a partir de la figura 2.32 de l'informe IPCC (2001).

Des del punt de vista estadístic, no sempre és fàcil demostrar aquestes diferències, sobretot quan els canvis es produeixen simultàniament en la mitjana i en la variància. Cal tenir present que el clima té una dispersió natural elevada i, quan això passa, els canvis han de ser molt forts per tal que puguin ser estadísticament significatius. Això no vol dir, però, que els canvis no siguin detectables. Actualment es treballa amb models planetaris que reproduïxen el clima global i, introduint-hi els diversos factors que poden alterar el clima, permeten detectar i demostrar canvis que, d'altra forma, passarien desapercebuts. En tot cas, no es pot oblidar que fins i tot canvis poc significatius estadísticament poden arribar a tenir un efecte climàtic de gran magnitud i provocar alteracions en els meteors que afectin dràsticament la nostra vida quotidiana. Finalment, cal recordar que la temperatura és una mitjana (anual o mensual) d'una mitjana (diària), i per tant és extraordinàriament resilient als canvis. Per tant, quan la temperatura canvia, les causes han de ser molt fortes i, de resultes, també ho són els efectes.

A4.1.2. L'increment de l'efecte d'hivernacle: de la desestabilització del cicle del carboni a l'alteració del balanç radiatiu planetari

Per entendre les causes del canvi climàtic cal tenir presents quatre nocions bàsiques de física. El canvi climàtic és una resposta directa a l'altera-

ció del balanç energètic planetari (Philander, 1998). En un cos en equilibri tèrmic, amb un balanç energètic nul, l'energia que entra és la mateixa que en surt. L'energia surt dels cossos en forma de radiació electromagnètica amb una longitud d'ona (λ) que és inversament proporcional a la temperatura del cos.

La superfície del sol té una temperatura d'aproximadament 6.000 °C i emet bàsicament radiació de longitud d'ona curta (llum visible). Aquesta energia arriba a la Terra, on esdevé la font d'alimentació de l'activitat biològica i dels moviments de l'atmosfera i dels oceans. En fer aquest treball l'energia es degrada a formes de longitud d'ona més llarga i llavors retorna cap a l'espai. En el cas de la Terra la temperatura d'equilibri és de 15 °C, que correspon a una emissió d'energia centrada a la part infrarroja de l'espectre. Aquesta diferència entre la longitud d'ona de la radiació incident i la de la radiació emesa (figura A4.5) és també en part deguda a l'anomenat efecte d'hivernacle. Si la Terra no tingués atmosfera, la seva temperatura d'equilibri seria de 18 °C sota zero. A la figura A4.6 es compara la temperatura real d'alguns planetes del sistema solar (cercles negres) amb la que haurien de tenir si fossin un cos negre que recullís tota la radiació solar (corba, sense reflexió, i cercles blancs considerant l'albedo, la part de la radiació incident que es reflectida). La diferència entre els cercles blancs i els negres és deguda a la presència d'atmosferes, i és l'anomenat efecte d'hivernacle.

L'efecte d'hivernacle és, per tant, una característica natural pròpia de tots els planetes amb atmosferes que contenen gasos que interactuen amb la radiació que les travessa. Els gasos atmosfèrics responen de maneres diverses davant la radiació segons la seva λ i la forma molecular del propi gas (fotoionització, excitació dels electrons externs, fotodissociació, rotació i vibració). A l'atmosfera terrestre, el CO₂ i l'aigua, que són molt abundants, i d'altres gasos menys freqüents, són pràcticament transparents a la llum visible (ra-

diació incident) però absorbeixen intensament la radiació infraroja emesa pel planeta (figura A4.7). La conseqüència d'això és que bona part de la radiació infraroja és retinguda i l'equilibri tèrmic planetari s'assoleix a una temperatura superior a la d'un planeta sense atmosfera: els 15 °C que fan possible la vida sobre la Terra.

No només el gasos amb efecte d'hivernacle (a partir d'ara GEH) determinen el balanç tèrmic planetari (figura A4.8). També pot canviar la quantitat de radiació solar incident com a conseqüència de petites oscil·lacions orbitals que donen lloc a l'alternància cíclica entre períodes freds (glaciacions) i càlids (interglaciacionals) que la Terra ha experimentat els darrers milions d'anys. L'albedo, la quantitat de llum reflectida pel planeta, també és important en el balanç tèrmic, i depèn de la reflectància de la superfície terrestre. En general els núvols, el gel i els terrenys sense vegetació reflecteixen més la radiació incident mentre els ecosistemes forestals tendeixen a captar-les. Finalment, els aerosols i les partícules en suspensió a l'atmosfera dispersen la llum i absorbeixen a l'infraroig.

Si, per alguna raó, la dinàmica habitual d'algun d'aquests factors canvia, el balanç energètic s'altera i la Terra s'escalfa o es refreda fins que assoleix un nou equilibri. Normalment aquests factors no són independents i estan lligats mitjançant processos de retroalimentació positiva o negativa. Per exemple, petites alteracions de l'òrbita terrestre provoquen una lleugera disminució en la radiació incident, la qual cosa té com a resultat un augment de la formació de gel en les zones polars. Això, al seu torn, genera un increment en l'albedo, fet que provoca, de retruc, una entrada neta de radiació solar encara més petita. Aquesta retroalimentació positiva donarà lloc a un període glacial.

De tots aquests factors però, els únics que són suficientment dinàmics i directes com per poder explicar el canvi climàtic observat en els darrers anys són els GEH i els aerosols, la concentració

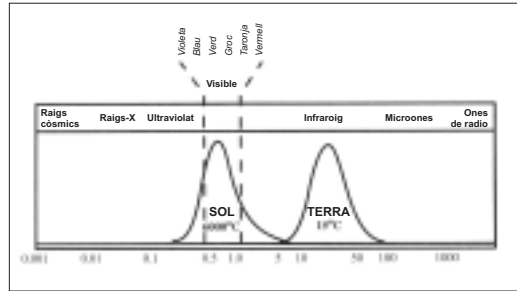


Figura A4.5. Espectres de radiació electromagnètica de dos cossos negres amb temperatures de 6.000 °C (com la del Sol) i de 15 °C (com la de la Terra). La longitud d'ona, a l'eix horitzontal, es mesura en micròmetres (μm , $1000 \mu\text{m} = 1 \text{ mm}$). La llum visible, corresponent als color de l'arc de Sant Martí, ocupa només la part de l'espectre indicada amb les línies de punts. L'eix vertical mesura la intensitat relativa de la radiació. Font: elaboració pròpia a partir de Philander (1998).

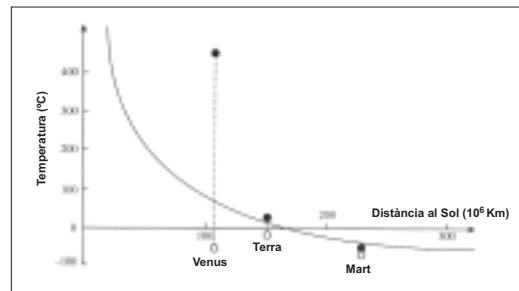


Figura A4.6. La corba mostra la disminució de la temperatura quan augmenta la distància al sol en planetes que no tenen ni atmosfera ni fons interns d'energia. Els cercles blancs tenen en compte que cada planeta reflecteix una part de la llum solar incident (albedo). El cercles negres corresponen a les temperatures reals. La longitud de les línies de punts és una mesura de l'efecte d'hivernacle a cada planeta. Font: elaboració pròpia a partir de Philander (1998).

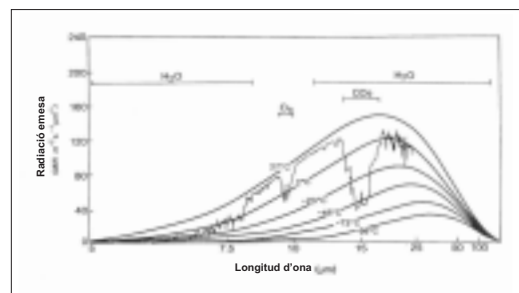


Figura A4.7. La corba amb pics de serra correspon a la radiació terrestre mesurada per un satèl·lit a sobre de l'Illa de Guam, al Pacífic Tropical, on la temperatura era d'aproximadament 27 °C. Les corbes suauitzades són la radiació teòrica que emetrien cossos amb la temperatura superficial que s'indica. Font: elaboració pròpia a partir de Philander (1998).

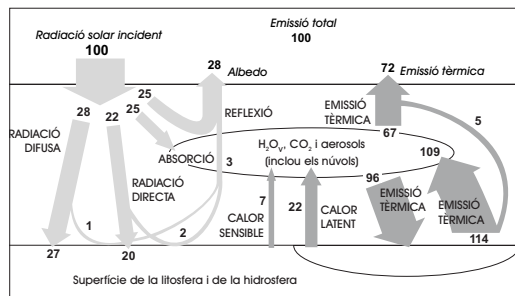


Figura A4.8. Balanç radiatiu terrestre. Els valors, percentatges respecte a la radiació total incident a les capes altes de l'atmosfera, s'han estimat fent mitjanes durant un període llarg de temps.
Font: elaboració pròpia a partir de FEC (1993) i de Philander (1998).

dels quals, precisament, ha estat fortament modificada per l'home, que els ha emès a l'atmosfera –en grans quantitats– des del començament de la revolució industrial i, especialment, durant els darrers 50 anys (figura A4.9). De tots aquests compostos, el que més ha contribuït a l'alteració del balanç energètic del planeta és el CO_2 , la

concentració atmosfèrica del qual no depèn només de l'activitat humana sinó que està fortament lligada al cicle del carboni i la seva dinàmica, que es relaciona pràcticament amb tots els processos geològics i biològics del planeta.

La figura A4.10 mostra un esquema de com seria el cicle global del carboni si a la Terra no hi hagués presència humana. Hi ha quatre compartiments, l'atmosfera, els ecosistemes terrestres, els oceans i la litosfera. El principals fluxos es donen entre l'atmosfera i els ecosistemes terrestres. Cada any els productors primaris capten una quantitat de CO_2 de 120,4 PgC, que és pràcticament compensada per la respiració (120 PgC any⁻¹) i l'emissió de metà (CH_4) que fan el conjunt dels ecosistemes terrestres. La diferència (0,4 PgC any⁻¹) s'acumula al sòl i és equivalent al carboni orgànic dissolt (DOC) que va a parar primer als rius i, posteriorment, al mar quan la pluja renta els sòls. Els rius transporten al mar 0,4

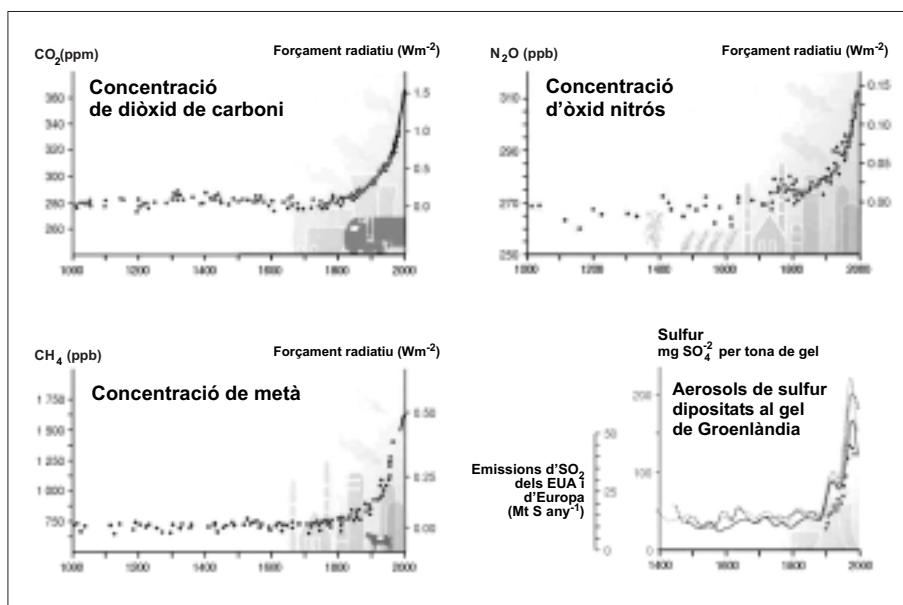


Figura A4.9. Indicadors de la influència humana sobre l'atmosfera des del començament de la Revolució Industrial (1750-1800). La concentracions de diòxid de carboni (a dalt a l'esquerra), d'òxid nítrós (a dalt a la dreta) i de metà (a baix a l'esquerra) s'han incrementat exponencialment a l'atmosfera des del moment que es va començar a emetre aquests gasos amb efecte d'hivernacle de manera sistemàtica. També es detecta un increment exponencial de la quantitat d'aerosols de sulfur (a baix a la dreta) dipositats al gel de Groenlàndia.
Font: elaboració pròpia a partir d'IPCC (2001).

PgC any⁻¹ addicionals corresponents al carboni inorgànic dissolt (DIC) que resulta de la meteorització de les roques de la superfície terrestre. En la reacció de meteorització, la meitat del carboni (0,2 PgC any⁻¹ de CO₂) prové de l'atmosfera (CO₂) mentre que l'altra meitat correspon als carbonats alliberats de les roques. El cycle es tanca als oceans, mitjançant intercanvis atmosfera-oceà que generen una emissió neta de 0,6 PgC any⁻¹, que compensen la major part del carboni aportada pels rius. La resta (0,2 PgC any⁻¹) va a parar als sediments profunds on, eventualment, donarà lloc novament a roques calcàries.

L'activitat humana ha alterat el cycle del carboni de manera significativa (figura A4.11). En primer lloc, mobilitza les reserves geològiques de carboni quan crema combustibles fòssils, (5,3 PgC any⁻¹) i quan produeix i utilitza ciment (0,1 PgC any⁻¹). També ho fa quan pertorba fortament els ecosistemes terrestres canviant els usos del sòl i provocant desforestació i incendis (1,7 PgC any⁻¹). El resultat de l'activitat humana és, doncs, una emissió neta anual de 7,1 PgC, encara que només 3 PgC any⁻¹ s'acumulen a l'atmosfera i són els responsables de l'increment de 3 ppm anuals que s'observa en la concentració atmosfèrica de CO₂. Encara hi ha molta controvèrsia sobre quin és el destí dels altres 4,1 PgC any⁻¹ restants. Els últims càlculs indiquen que uns 2 PgC serien captats anualment pels sistemes agrícoles i els ecosistemes forestals, mentre que l'oceà hauria de ser el destí dels 2 PgC any⁻¹ restants.

La captació forestal i agrícola, però, no implica pas la immobilització d'aquest carboni. Pensem que tota la biomassa tard o d'hora es respira i que quan els sistemes agrícoles s'abandonen o els boscos envelleixen, la captació disminueix. El cas dels oceans és molt diferent. Avui es pensa que l'oceà funciona com una bomba biològica que envia carboni cap als sediments, on sí que queda immobilitzat. L'increment de CO₂ atmosfèric afavoriria un augment de la producció primària i, per tant, una exportació més elevada de

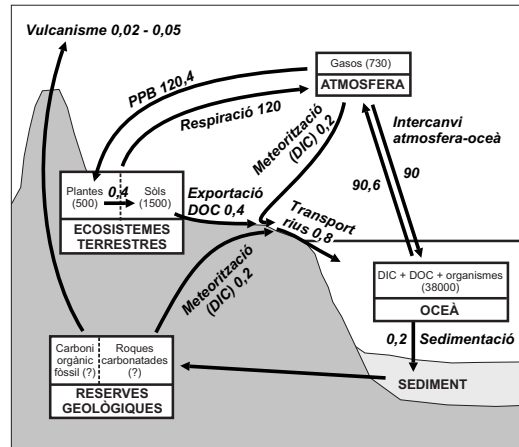


Figura A4.10. Cycle global del carboni (sense incloure-hi l'activitat humana). S'indiquen els volums de carboni en els compartiments (en PgC, on 1 Pg = 10¹⁵ g) i els fluxos entre ells (PgC any⁻¹) tal i com es van estimar per als anys 80 (IPCC, 2001). Atès que encara hi ha jaciments de combustibles fòssils per descobrir, el volum total de les reserves geològiques encara és desconegut.
Font: elaboració pròpia.

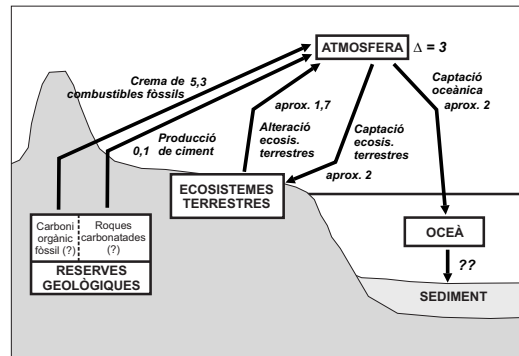


Figura A4.11. La pertorbació humana anual del cycle global del carboni. Els fluxos es donen en PgC any⁻¹.
Font: elaboració pròpia.

carboni orgànic en forma de partícules (POC) cap a les aigües fondes i, de resultes d'això, una sedimentació més important. No obstant això, altres investigadors pensen que l'augment de producció es veu compensat per una respiració més elevada a la columna d'aigua, de tal manera que la taxa de sedimentació no canviaria gaire.

El que és ben cert és que, passi el que passi amb el carboni que falta per tancar exactament el ci-

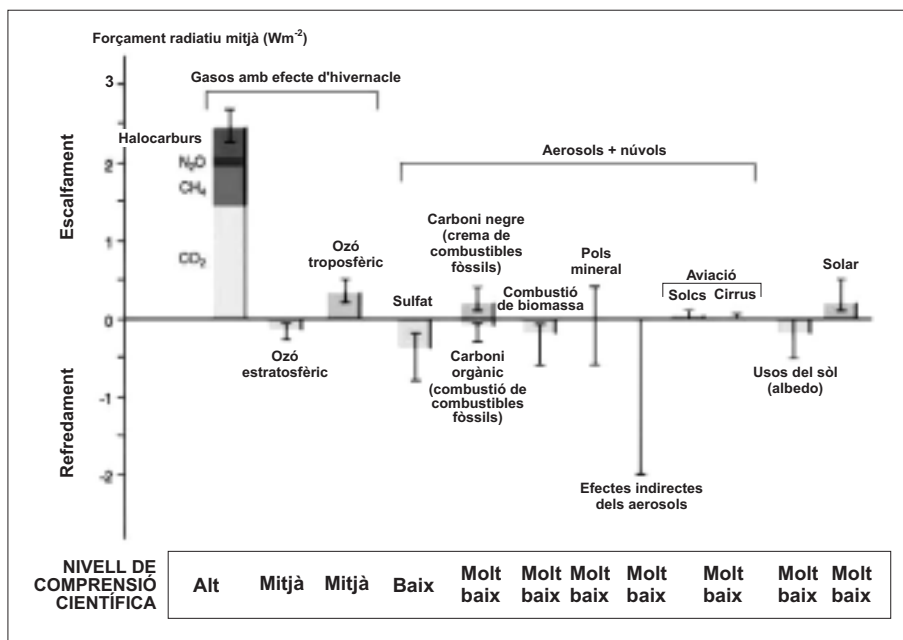


Figura A4.12. Forçaments naturals i antropogènics del clima l'any 2000 en relació al forçament de l'any 1750. L'altura de les barres indica la millor estima del forçament i les línies associades corresponen al rang de valors més probables atesos els coneixements disponibles actualment. L'absència de barres indica que encara no es disposa d'estimacions prou fiables d'un determinat forçament.

Font: elaboració pròpia a partir de IPCC (2001).

cle global, la concentració del CO₂ i d'altres gasos atmosfèrics amb efecte d'hivernacle va incrementant-se any rera any com a conseqüència de les activitats antròpiques. Això ha fet que en els darrers 50 anys l'efecte d'hivernacle terrestre s'hagi incrementat, provocant una alteració significativa del balanç radiatiu que ha escalfat el planeta i que ha canviat altres aspectes del clima. En l'equilibri, el balanç energètic planetari hauria de ser zero, però en la situació actual hi ha un balanç positiu, anomenat forçament radiatiu, que es mesura en watts m⁻² (energia per unitat de temps i de superfície). La figura A4.12 mostra el forçament radiatiu de l'any 2000, desglossat en els diferents factors que afecten el balanç i que han estat alterats d'alguna manera per l'activitat humana. La figura mostra clarament que, tot i que encara falta entendre molts detalls d'alguns dels processos, l'increment dels GEH és el principal responsable del forçament radiatiu i, per tant, de l'escalfament global.

A4.1.3. L'home com a agent de canvi global

Actualment pot semblar relativament trivial dir que l'activitat humana és la principal causa del canvi climàtic però, en realitat, la recerca científica que ha acabat demostrant la seva evident contribució a aquest fenomen ha estat llarga i laboriosa. De fet, no ha estat fins la publicació del Tercer Informe d'Avaluació del Grup Intergovernamental d'Experts sobre Canvi Climàtic (IPCC), l'any 2001, que això no s'ha pogut afirmar amb la seguretat extrema que demanava la societat –molt superior, per cert, a la que habitualment demanen els investigadors als propis resultats científics.

Els models climàtics han tingut un paper protagonista en tot aquest procés. Els primers models eren molt senzills, però amb el temps, la seva complexitat s'ha incrementat per integrar-hi tots els factors que determinen el balanç radiatiu (figura A4.13).

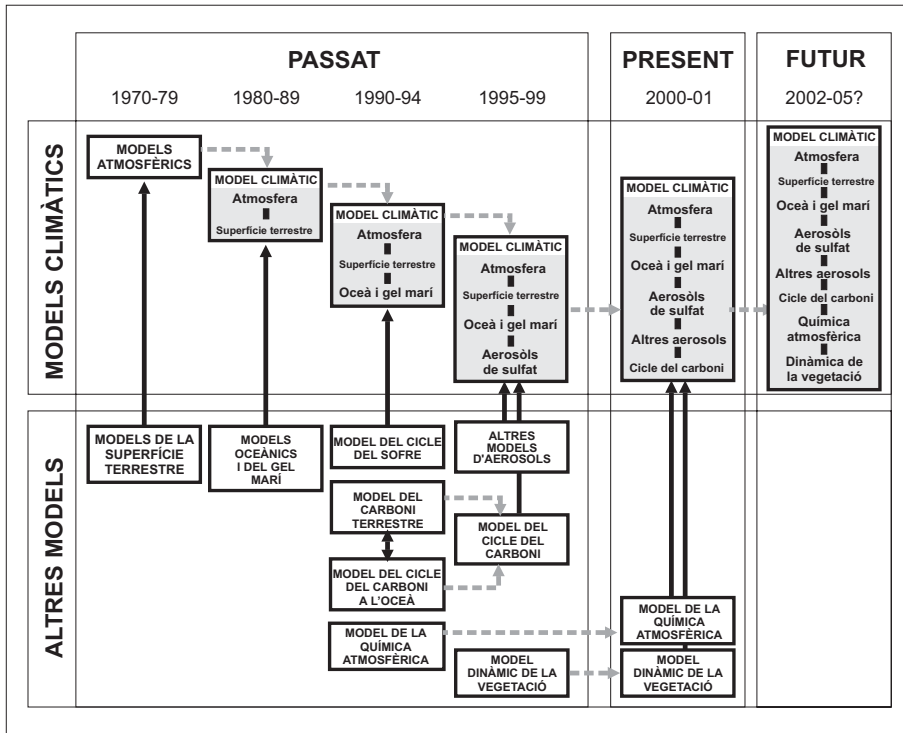


Figura A4.13. El desenvolupament dels models climàtics en els darrers 25 anys mostra com, en un primer moment, els diferents components es desenvolupen separatament i després s'acoblen a models climàtics cada cop més complicats. Les fletxes negres impliquen la integració dels models de compartiments en els models climàtics, mentre que les fletxes grises indiquen fases importants en el desenvolupament dels models.
 Font: elaboració pròpia a partir d'IPCC (2001).

Encara que s'han de millorar moltes coses, sobretot la formulació dels processos biològics, encara massa simplista, ja es pot experimentar amb els models i estudiar si són capaços de reproduir les dades reals introduint-hi alguns processos i deixant-ne altres de banda. Concretament, es pot separar la part del forçament radiatiu provocada per l'activitat humana de la que és deguda a canvis en els processos naturals i, després fer córrer els models només amb una o l'altra per esbrinar si es pot reproduir el clima observat només amb una d'elles. La figura A4.14 mostra els resultats de les simulacions on només es considera la variació natural del forçament radiatiu, mentre que la figura A4.15 mostra els resultats dels models considerant només el forçament antropogènic.

Fent servir només el forçament radiatiu natural (figura A4.14) no es pot reproduir les observacions mentre que, quan es considera només el forçament antropogènic, l'ajust és molt millor (figura A4.15). Malgrat tot, només quan es consideren a la vegada tots dos tipus de processos la reproducció del clima observat esdevé molt acurada (figura A4.16). Això porta a la conclusió que el forçament antropogènic ha estat el principal responsable del canvis climàtics observats fins ara, encara que també s'ha produït una certa variació atribuïble a causes naturals.

A4.2. El paper d'Europa en el canvi climàtic

L'activitat humana és la principal responsable del canvi climàtic que s'està experimentant a escala global i que es manifestarà d'una manera en-

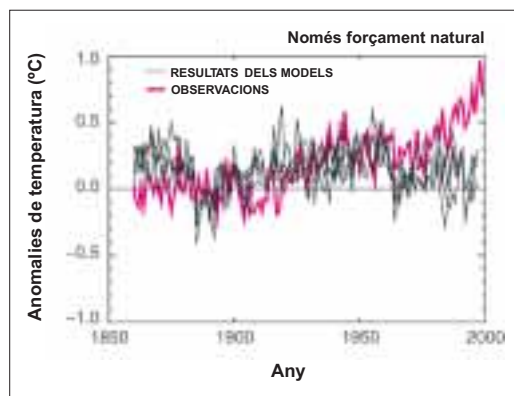


Figura A4.14. Sèrie temporal (en vermell) on es mostra l'anomalia de la temperatura mitjana anual respecte al valor mitjà entre els anys 1880 i 1920, obtinguda amb dades experimentals. Les línies negres són el resultat de les simulacions de diversos conjunts de models acoblats atmosfera-oceà, on només s'han introduït els **factores naturals** que afecten el forçament radiatiu.

Font: elaboració pròpia a partir d'IPCC (2001).

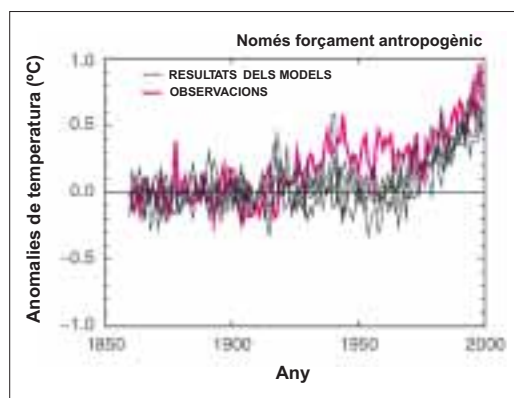


Figura A4.15. Sèrie temporal (en vermell) on es mostra l'anomalia de la temperatura mitjana anual respecte al valor mitjà entre els anys 1880 i 1920, obtinguda amb dades experimentals. Les línies negres són el resultat de les simulacions de diversos conjunts de models acoblats atmosfera-oceà, on només s'han introduït els **factores antropogènics** que afecten el forçament radiatiu.

Font: elaboració pròpia a partir d'IPCC (2001).

cara molt més intensa en el futur. És per aquest motiu, doncs, que caldrà desenvolupar mesures de mitigació i d'adaptació en el futur. La proporció entre un tipus de mesura i un altre dependrà de quina sigui la nostra sensació d'alarma i, per tant, del temps que es tardi en donar-hi una resposta contundent. Si es respon aviat, la majoria de les mesures seran preventives i aniran enca-

minades a l'establiment de models energètics alternatius que permetin abandonar l'ús dels combustibles fòssils i reduir de manera clara i decidida el volum de les emissions antròpiques de GEH. Encara que la resposta fos prou ràpida, s'hauria d'invertir en algunes mesures d'adaptació perquè, fins i tot aturant immediatament totes les emissions avui, es produiria un canvi considerable en el clima durant les properes dècades. Si, per contra, la societat no és capaç de fer front a aquest problema perquè, com sembla, continua considerant-lo secundari, a mitjà termini es presenta una situació terriblement complicada i de solució enormement costosa. Podriem dir, sent moderats, que comprometrà seriosament la nostra qualitat de vida i accentuarà les desigualtats a escala mundial fins a límits insospitats i probablement insostenibles.

Tant en un cas com en l'altre es produiran una sèrie de despeses i s'hauran de compensar les pèrdues i les alteracions que provocarà el canvi climàtic. Ben segur que tothom haurà de contribuir-hi. No obstant això, cal començar a plantejar com se'n distribuirà la factura. No hi ha cap garantia que el seu repartiment sigui just. Es preveu que la distribució d'aquests costos sigui, necessàriament, injusta, ja que els impactes no es repartiran pas de manera homogènia per tot el planeta. Així, segons les actuals prediccions, les regions tropicals, on es troben bàsicament estats en vies de desenvolupament, patiran la major part dels impactes negatius, mentre que les zones boreals, on se situen estats amb elevats estàndards de qualitat de vida, patiran menys i, fins i tot, podrien arribar a tenir condicions climàtiques més favorables que les actuals.

A4.2.1. La difícil tasca d'atribuir responsabilitats

Per tal de garantir un repartiment just de les despeses, s'hauria de mesurar amb suficient fiabilitat la contribució actual i la històrica de cada estat del món a l'increment de l'efecte d'hivernacle —en termes d'emissions de GEH— així com la seva contribució futura tenint en compte les seves po-

lítiques energètiques. L'únic repartiment just possible és aquell en què les despeses siguin proporcionals a les responsabilitats (passades i futures).

L'atribució de responsabilitats té dos components. Per un costat hi ha l'aspecte tècnic de mesurar amb prou fiabilitat quina ha estat i quina serà la contribució de cada estat en particular a l'increment de l'efecte d'hivernacle. Per l'altre, hi ha la resposta sociopolítica d'aquest mateix estat davant d'aquesta informació. En l'aspecte tècnic (com s'estudiarà en detall en el proper apartat) s'ha avançat moltíssim en pocs anys, i en algunes regions del planeta aviat s'utilitzaran sistemes de mesura i de seguiment capaços de proporcionar estimacions molt fiables de les contribucions nacionals a l'increment de l'efecte d'hivernacle. A la resta del món, es continuaran utilitzant els inventaris, un protocol universal per calcular les contribucions nacionals que, encara que imprecís, proporciona una bona aproximació de quina és la contribució relativa de cada estat.

Els aspectes socials i polítics són molt més subtils. El primer pas és acceptar que s'ha d'actuar. En els estudis climàtics, tant en les prediccions de la magnitud del canvi futur com en la atribució de responsabilitats presents i passades, hi ha una certa incertesa que és inherent al funcionament del sistema climàtic i que pràcticament no es reduirà encara que es millorin molt les tècniques o el coneixement científic. Una altra incertesa neix del fet que el forçament radiatiu futur dependrà en gran mesura de la nostra resposta present davant del problema. Es tracta, per tant, d'una incertesa externa als models que els estudiosos del clima no podem reduir, però potser sí que ho poden fer el sociòlegs, els economistes, els polítics, o per què no, la societat en general. Els climatòlegs ja han acceptat aquestes incerteses, cosa que encara ha de fer la societat, i prendre la decisió d'actuar malgrat que les afirmacions sobre aquest fenomen no semblin aparentment tan «exactes» com les procedents d'altres camps científics. En qualsevol cas, la in-

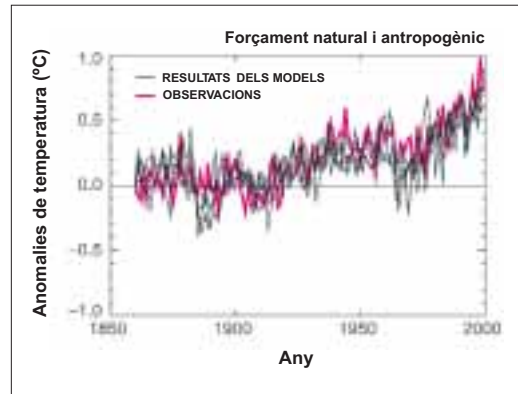


Figura A4.16. Sèrie temporal (en vermell), que mostra l'anomalia de la temperatura mitjana anual respecte al valor mitjà entre els anys 1880 i 1920, obtinguda amb dades experimentals. Les línies negres són els resultats de les simulacions de diversos conjunts de models acoblats atmosfera-oceà, on s'han introduït **tots els factors (naturals i antropogènics)** que afecten el forçament radiatiu.

Font: elaboració pròpia a partir d'IPCC (2001).

acció davant de la incertesa no és una bona resposta política, atès que com més es trigui a donar una resposta més alt serà el cost social provocat pel canvi climàtic (May, 2001).

La certesa de la mort, dels accidents i de les catàstrofes ha generat el lucratiu negoci de les assegurances que, a més, té una innegable utilitat social, ja que permet mitigar els efectes dels cops de l'infortuni. La certesa del canvi climàtic hauria de generar una resposta similar. De fet, la històrica resistència social i política a acceptar el canvi climàtic és una versió a gran escala del procés de decisió que fem per contractar una assegurança. No es pren la mateixa decisió davant d'una assegurança d'accident que davant d'una assegurança de vida ja que, mentre la mort és una certesa, l'accident potser no es produirà mai. Fins ara, la societat s'ha enfrontat al canvi climàtic amb dubtes equivalents als que té un individu davant d'una assegurança d'accidents. La societat ha fet servir la incertesa natural associada al canvi climàtic per agafar-se a la inútil esperança que potser no succeirà. Fins ara, el canvi climàtic s'ha percebut com un possible accident, no pas com una realitat. No obstant

això, és un fenomen ben real. Tant que, si es triga gaire a respondre, seria com si una persona que pateix un càncer avançat anés a fer-se una assegurança de vida. Us imagineu, si la hi fan, el preu de la pòlissa que hauria de pagar?

La signatura a Rio de Janeiro el juny de 1992 del Conveni Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic (UNFCCC), en el marc de la Conferència de les Nacions Unides sobre Medi Ambient i Desenvolupament (la Cimera de la Terra), va representar un petit raig d'esperança ja que es va reconèixer que les emissions de GEH havien provocat un considerable increment de l'efecte d'hivernacle i, per tant, alterat el sistema climàtic. Els signants del Conveni Marc van acordar, com a principal objectiu, l'estabilització de les concentracions atmosfèriques de GEH en un valor que: «... no sigui tan alt com per fer que la interferència humana resulti perillosa per al sistema climàtic» (PNUMA, 2002).

Atès el coneixement tècnic de l'època i la tebiesa demostrada fins llavors, aquest acord tenia un gran potencial per esdevenir un document clau en la lluita contra el canvi climàtic. Des d'aleshores s'ha investigat quin hauria de ser aquest nivell de seguretat a partir del qual la intervenció humana no fos perillosa per al sistema climàtic (molts científics consideren que ja s'ha ultrapassat). Finalment, es va acordar una reducció preventiva d'un 5% de les emissions en els països industrialitzats entre els anys 1990 i 2012, la qual hauria de permetre desaccelerar una mica el creixement exponencial de les concentracions atmosfèriques de GEH.

En aquest acord, el famós Protocol de Kyoto de 1997, els estats afectats van acordar reduccions voluntàries més o menys proporcionals a les seves emissions històriques i al seu nivell de desenvolupament, i es van comprometre a investigar mètodes més fiables per determinar les contribucions nacionals respectives. La manca d'una voluntat decidida de molts estats (com l'Estat espanyol) a l'hora d'implantar i aplicar de

manera contundent les polítiques necessàries per complir el Protocol fa que l'assoliment d'una reducció global del 5% el 2012 sigui, en aquest moment, una utopia. Això ens fa pensar que la «inacció» ha prèns noves formes. En la política internacional actual s'accepta oficialment la realitat del canvi climàtic però, a manca d'un mecanisme supraestatal que obligui al compliment dels acords, tota acció queda supeditada als interessos dels estats i a polítiques cegues plantejades a massa curt termini. La nova excusa són les incerteses en la definició de les contribucions estatals i el fet d'apuntar-se a unes polítiques neoliberals que només prioritzen el creixement econòmic, com si aquest fos possible «ad infinitum» en un món amb recursos limitats.

Des del punt de vista tècnic cada cop es disposa de millors prediccions del futur canvi i és possible atribuir amb una fiabilitat més elevada les responsabilitats de cada estat. En canvi, en el camp de la resposta social i política la situació és molt pitjor que fa deu anys, i el nou «ordre» mundial no ajudarà gens a millorar la situació. La possibilitat de donar una resposta clara al canvi climàtic passa no només pel desenvolupament de noves eines tecnològiques sinó, sobre tot, pel desenvolupament de noves eines legals i de governança de caràcter internacional, que permetin actuacions concertades i d'obligatori compliment a escala planetària. No obstant això, és clar, tal i com es presenta el món actualment, que això encara és molt més utòpic.

A4.2.2. La mesura de la contribució a l'increment de l'efecte d'hivernacle. Balanços versus inventaris

El sistema operacional acordat en el Protocol de Kyoto per calcular la contribució neta de cada estat a l'increment de l'efecte d'hivernacle són els inventaris d'emissions. Encara que molt imprecisos, són un protocol homogeni i estandaritzat desenvolupat per l'IPCC que es pot aplicar a qualsevol país del món, independentment de la seva capacitat tecnològica. És important remarcar aquest punt, ja que els inventaris no són

SUMARI DE L'INFORME D'EMISSIONS EN EQUIVALENTS DE CO₂ DE L'ESTAT ESPANYOL L'ANY 2000

Fonts i embornals de GEH		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFCs	PFCs	SF ₆	Total
Categories		Equivalents de CO ₂ (Gg)						
Emisió total neta		277379	38363	30497	9878	409	209	356735
1. Energia		285260	2842	6253				294355
A. Consum de combustibles fòssils	1. Producció energètica	103542	44	1313				104899
	2. Manufactures i construcció	58203	106	1905				60214
	3. Transport	85118	211	2080				87409
	4. Altres sectors	34436	695	955				36086
B. Emissions fugitives de combustibles	1. Combustibles sòlids	2005	1209					3214
	2. Petrolí i gas natural	1957	577	NE				2533
2. Processos industrials		19903	69	2307	9878	409	209	32773
A. Minería		17488						17488
B. Indústria química		602	52	2307	NE	NE		2961
C. Metalls		1812	16		NE	367	NE	2196
D. Altres tipus de producció		0						0
E. Elaboració d'halocarbons i de SF ₆					6395			6395
F. Consum d'halocarbons i de SF ₆					3483	41	209	3733
G. Altres		NE	NE	NE	NE	NE	NE	0
3. Ús de dissolvents i altres productes		1269		440				1709
4. Agricultura		0	22263	20306				42569
A. Fermentació entèrica			14070					14070
B. Gestió de fems			7843	1450				9293
C. Conreu de l'arròs			290					290
D. Sòls agrícoles		NE	NE	18570				18570
F. Crema de matolls i de residus agrícoles			60	286				346
G. Altres			NE	NE				0
5. Canvis en els usos del sòl		-29252	0	0				-29252
A. Canvis en els boscos i en la quantitat de fusta		-29252						-29252
B. Conversió entre boscos i praderies		NE	NE	NE				0
C. Terrenys abandonats		NE						0
D. Emissions i captació de CQ pels sòls		NE						0
E. Altres		NE	NE	NE				0
6. Residus		200	13189	1192				14581
A. Abocadors		32	10099					10131
B. Gestió d'agües residuals			2241	1079				3320
C. Incineració de residus		168	270	113				550
D. Altres		NE	580	NE				580
7. Altres		NE	NE	NE	NE	NE	NE	0

Font o embornal inexistent	
No s'estima (font o embornal que existeix però de magnitud desconeguda)	NE
Estimació de qualitat baixa	
Estimació de qualitat mitjana	
Estimació de qualitat alta	
Estimació completa (on s'han considerat tots els elements)	1234
Estimació incompleta (on no s'han considerat tots els elements)	1234
Valor resultant de la suma de moltes estimacions, independentment de la seva qualitat	

Figura A4.17. Sumari de l'inventari d'emissions de l'Estat espanyol corresponent a l'any 2000. A l'inventari es quantifica la magnitud de cadascuna de les categories i subcategories de les fonts (valors positius) i embornals (valors negatius) identificats per l'IPCC. Les estimacions poden ser de qualitat baixa, mitjana o elevada segons el grau de certesa. També poden ser completes, quan es tenen en compte tots els elements que intervien a la font o a l'embornal, o parcials en cas contrari. Finalment, hi ha algunes fonts i embornals dels quals no hi ha dades. Per definir la qualitat i la integritat de les dades es segueix el protocol definit per l'IPCC i per l'Agència Europea del Medi Ambient (AEMA). Les fonts i embornals dels quals no hi ha dades disponibles varien segons el grau de desenvolupament del sistema de comptabilitat ambiental de cada estat.

Font: elaboració pròpia a partir de les taules 2 i 7 de l'informe Greenhouse gas emissions inventories report from Spain 1990-2000 (MMA, 2002, EEA, 2002).

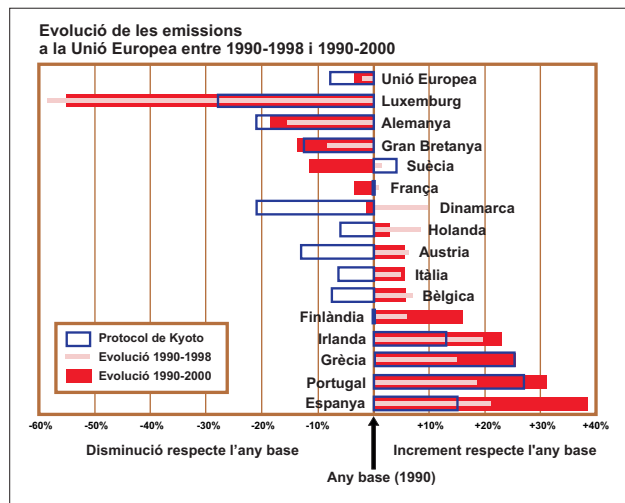


Figura A4.18. Comparació entre els compromisos voluntaris d'evolució de les emissions de GEH acordats entre els estats membres de la Unió Europea, en el marc del Protocol de Kyoto, i la seva evolució real des de l'any 1990 al 1998 i al 2000. Les barres indiquen el percentatge d'augment o de reducció respecte a 1990. En blau s'indica el percentatge acordat.

Font: elaboració pròpia a partir de EEA (2002) i MMA (2002).

pas documents científics sinó administratius. A partir de dades estadístiques més o menys elaborades de l'economia productiva, i aplicant una sèrie de factors de conversió, és possible obtenir una aproximació de quin és el volum d'emissions de GEH en l'estat considerat.

A tall d'exemple, la figura A4.17 mostra l'inventari d'emissions de l'Estat espanyol corresponent a l'any 2000, amb una valoració qualitativa del grau de fiabilitat que tenen les dades que hi ha a cada casella. A la figura queda clar que només és possible refiar-se de l'estimació de les emissions energètiques i industrials de CO₂. Tots els altres valors (aproximadament un 20% del total) són molt incerts i poden estar, en alguns casos, molt sobreestimats o subestimats.

Aquests inventaris es calculen anualment per tal de resseguir l'evolució de les emissions nacionals i poder avaluar el grau de compliment dels compromisos adquirits. La figura A4.18 es mostra l'evolució dels inventaris d'emissions a la Unió Europea entre 1990 i 2000.

La Unió Europea es va comprometre, en el Protocol de Kyoto, a una reducció conjunta del 8% de les seves emissions de GEH i després va negociar internament els compromisos de cada estat membre. A l'Estat espanyol, a causa del seu inferior desenvolupament industrial, se li va concedir poder incrementar fins a un 15% les seves emissions entre 1990 i el 2008-2012. No obstant això, l'any 2000 l'increment ja havia estat del 38% (vegeu capítol A5 d'aquest informe), i les projeccions més realistes indiquen que el creixement en l'horitzó del 2010 podria arribar a ser del 50% (figura A4.19)*. En un context europeu en el qual hi ha estats que amb tota seguretat, compliran els seus compro-

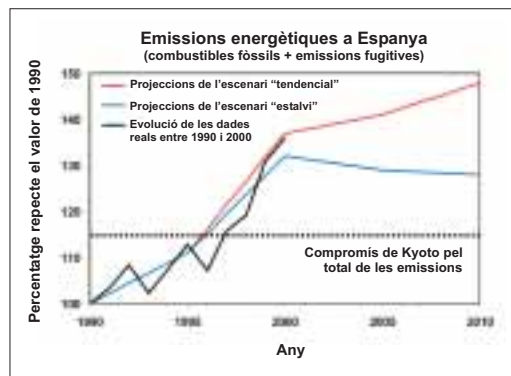


Figura A4.19. Comparació entre l'evolució real de les emissions energètiques a l'Estat espanyol entre 1990 i 2000 i les projeccions dels dos escenaris estudiats pel Grup de Prospectiva Energètica de l'Institut per a la Diversificació y Ahorro de la Energía (IDEA), amb la col·laboració de la Subdirecció General de Planificació Energètica del Ministeri d'Economia i de la Subdirecció General d'Anàlisi i Avaluació de Polítiques de Despesa del Ministeri d'Hisenda. L'escenari «tendencial» correspon a la continuïtat en les actuals pautes de consum, i l'escenari «estalvi» correspon a una intensificació substancial de les mesures d'eficiència energètica, amb millores en tots els sectors respecte a les aplicades a la dècada dels anys 90. Tots dos escenaris assumeixen la consecució de tots els objectius del Plan de Fomento de Energías Renovables, aprovat a finals de 1999.

Font: elaboració pròpia a partir de IDEA (2000).

* En el moment de la publicació d'aquest informe (començaments del 2005), el Ministeri de Medi Ambient ha declarat, provisionalment, que l'increment era ja d'un 45% el 2004, més elevat que el calculat en el pitjor dels escenaris de la figura A4.19.

misos o fins i tot tindran excedents (França, Gran Bretanya i Alemanya, figura A4.18) i en el qual, a partir de l'1 de gener de 2005 s'ha establert un mercat d'emissions de GEH, no és difícil predir a curt termini que l'Estat espanyol haurà de comprar emissions als seus socis comunitaris, fet que sens dubte afectarà la competitivitat de l'economia espanyola en general, i la catalana en particular.

L'inventari però, no és pas la millor manera de mesurar la contribució de cada estat. A part de ser poc fiables, els inventaris és molt probable que s'estigui subestimant la captació biològica d'una bona part del CO₂ emès per l'home. La figura A4.20 mostra la diferència entre la captació de CO₂ pels ecosistemes terrestres estimada amb els inventaris i amb altres mètodes. Segons alguns dels altres mètodes, la captació pot arribar a ser fins a 15 vegades superior a l'estimada pels inventaris. De tots els mètodes alternatius, el més prometededor és la monitorització dels balanços regionals de carboni. En una primera aproximació, un balanç regional de carboni es pot obtenir fent un seguiment en el temps de les concentracions de CO₂ en les masses d'aire que entren i surten d'una regió determinada, tal i com es mostra a la figura A4.21. A la pràctica, el càlcul del balanç de carboni no és tan senzill, i implica el disseny d'un sistema de monitorització i modelat de les concentracions atmosfèriques de GEH d'enorme complexitat.

A4.2.3. El balanç de carboni de la Unió Europea i dels seus estats membres

La Unió Europea ha apostat fermament pel mètode del balanç de carboni per mesurar la contribució dels seus estats membres a l'increment de l'efecte d'hivernacle. La seva estratègia ha consistit en el finançament, tant en el 5è com en el 6è Programa Marc (FWP, el programa que es fa servir a Europa per gestionar la recerca), d'una sèrie de projectes d'investigació agrupats sota la denominació CARBOEUROPE (Freibauer et al., 2001). La finalitat de CARBOEUROPE és el desenvolupament d'una eina fiable i verificable

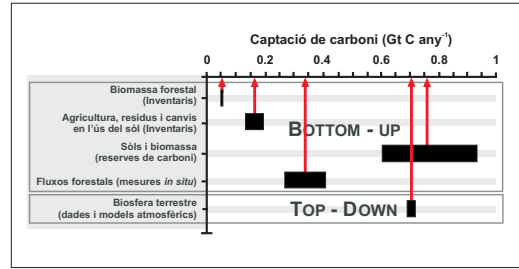


Figura A4.20. Estimes, fetes amb diferents mètodes, de la captació de carboni pels ecosistemes terrestres a Europa (en GtC any⁻¹). Les fletxes indiquen el valor mitjà, i l'amplada del requadre negre correspon a la incertesa de cada estimació. S'han separat els valors proporcionats pels mètodes que fan servir mesures directes en els ecosistemes (bottom-up) d'aquelles elaborades a partir de dades atmosfèriques (top-down).

Font: elaboració pròpia.

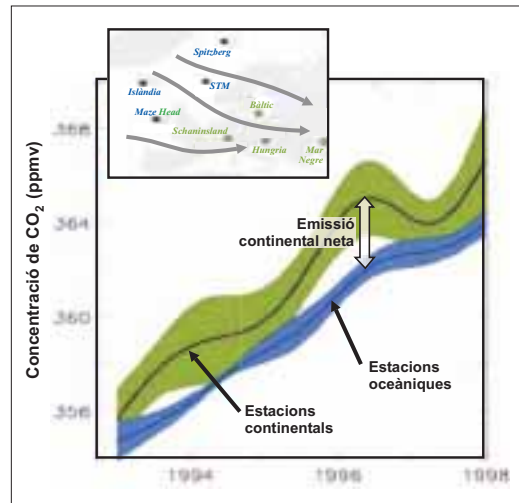


Figura A4.21. Evolució de la concentració mitjana de CO₂ atmosfèric, mesurada a diverses estacions del continent europeu entre els anys 1993 i 1998. En el requadre es mostra un mapa amb la localització dels punts de mostreig i les trajectòries habituals de les masses d'aire. Les estacions oceàniques mesuren l'aire que entra al continent, mentre que les continentals mesuren la concentració de CO₂ a l'aire que en surt. Les diferències entre les mesures dels dos grups d'estacions permeten estimar l'emissió neta del continent europeu.

Font: elaboració pròpia a partir de Valentini et al. (2000).

per calcular les contribucions nacionals a l'increment de l'efecte d'hivernacle mitjançant el càlcul de balanços de carboni regionals.

Aquesta eina, que un cop desenvolupada constarà d'un sistema de monitorització de les con-

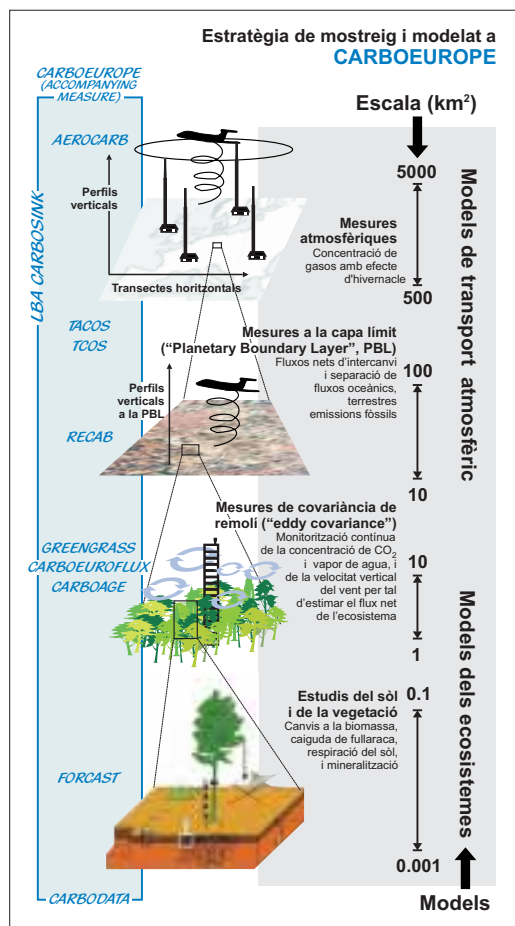


Figura A.4.22. L'aproximació integrada del grup de projectes europeus CARBOEUROPE al 5è Programa Marc. El que es pretén és quantificar el balanç de carboni europeu a escales que varien des de l'ecosistema, la més petita, a tot el continent, la més gran. En blau, els noms dels projectes de recerca involucrats. Al 6è Programa Marc, l'estratègia és semblant.
 Font: elaboració pròpia.

centracions atmosfèriques i dels fluxos naturals i antropogènics de carboni i d'un sistema de modelització per generar el balanç a partir de les dades de camp, podrà exportar-se i utilitzar-se per calcular les contribucions nacionals en altres regions del planeta. De fet, a Austràlia, als Estats Units d'Amèrica i al Japó s'estan desenvolupant eines semblants sobre la base comuna de l'estudi dels balanços de carboni. La figura A4.22 mostra l'aproximació multi-escalar als fluxos de carboni realitzada pels diferents pro-

jectes coordinats en el 5è Programa Marc. En el 6è, l'estratègia és bàsicament la mateixa, però amb una millora significativa en la resolució espacial i temporal.

La part atmosfèrica de CARBOEUROPE consisteix en la monitorització de les concentracions atmosfèriques de CO₂ a sobre del continent europeu mitjançant una sèrie molt nombrosa de punts de mostreig de tipologia diversa que caracteritzen, cadascun, una regió determinada. Hi ha estacions on es mostra el CO₂ a nivell de terra (figura A4.23) i altres situades en torres molt elevades o que fan servir avionetes on es mesura la concentració de GEH en alçada (figura A4.24).

Les concentracions obtingudes d'aquesta manera es fan servir per alimentar models de transport atmosfèric que s'executen cap al passat (modelització inversa) per tal d'inferir les trajectòries que han seguit les masses d'aire mostrejades i saber quina era la seva concentració de CO₂ en cada moment (figura A4.25). Fent servir totes les dades que són simultànies, i tenint en compte les fonts i embornals locals, es pot generar un mapa de concentracions per a cada moment (figura A4.26).

Finalment, a partir de les variacions en el temps d'aquests camps de concentracions es poden inferir el fluxos nets de carboni (en quins llocs i en quin moment té lloc una emissió o una captació neta de carboni). El flux net anual resultant és un balanç de carboni i correspon a la contribució d'aquella regió a l'EGE en el cas que sigui positiu. Les estimacions actuals apunten una emissió per crema de combustibles fòssils a la Unió Europea d'1,7 PgC any⁻¹, dels quals 0,47 PgC any⁻¹ (és a dir, un 30% del total) serien absorbits pels ecosistemes terrestres donant lloc a una emissió neta de 1,23 PgC any⁻¹. Actualment encara no es disposa d'estimacions prou fiables de les contribucions dels diversos estats. En aquesta línia, però, cal plantejar la importància que tindria per l'Estat espanyol que els seus ecosistemes terrestres tinguessin una capacitat de captació semblant a

la de la resta de boscos europeus. Segons l'inventari d'emissions de l'Estat espanyol (MMA, 2002), el boscos capten una quantitat de carboni equivalent al 7,6% de les emissions estatals (figura A4.17). Encara que tant la desertització com els incendis fan pensar que a Espanya no s'arribarà a percentatges de captació tan alts com els de la resta d'Europa, és probable que en els inventaris s'estigui subestimant el paper dels ecosistemes terrestres i que les emissions netes declarades siguin superiors a les reals.

La possibilitat d'obtenir estimacions fiables del balanç de carboni a una escala espacial més petita, similar a la mida dels estats membres de la Unió Europea, és directament proporcional a la qualitat de la xarxa de mostreig atmosfèric. I aquesta és més gran com més elevada és la freqüència de mostreig a les seves estacions i com millor sigui el seu recobriment espacial. És especialment important que no quedin àrees sense cap estació i de les quals es desconeix completament el comportament de les concentracions de CO₂ atmosfèric.

De moment, el mostreig només ha assolit prou qualitat al centre d'Europa, on hi ha una xarxa molt densa d'estacions de tipologia molt diversa. En aquesta zona, les administracions alemanya, francesa i holandesa, sobretot, han donat un suport decidit a l'estratègia europea, han aportat finançament i han involucrat les seves agències meteorològiques i ambientals en el mostreig. Aquests estats comencen a disposar de les primeres estimacions fiables de la seva contribució a l'efecte d'hivernacle, fet que encara no és possible al sud d'Europa, on fins ara la resposta de les administracions públiques ha estat més aviat tèbia, per no dir nul·la.

Fins l'any 2004, a l'Estat espanyol han estat funcionat només dues estacions de mostreig de CO₂ atmosfèric. Izaña, la més antiga, està situada a les Illes Canàries, i la gestiona l'*Instituto Nacional de Meteorología* (INM), amb fons d'institucions nord-americanes que fan servir les seves dades per es-

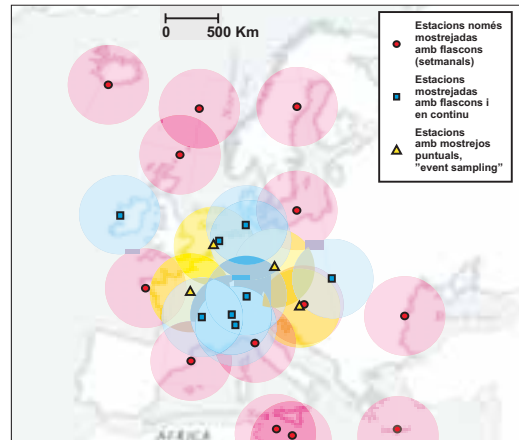


Figura A4.23. Estacions de mostreig de la concentració de GEH a nivell de terra en CARBOEUROPE (projecte AEROCARB del 5è FWP). Els diferents símbols permeten diferenciar les estacions segons la seva tipologia. Els cercles que envolten cada símbol són una aproximació grollera a la regió ben representada per les dades l'estació (àrea d'uns 300 km de radi, però que pot variar entre els 50 i els 500 km).
Font: Elaboració pròpia.

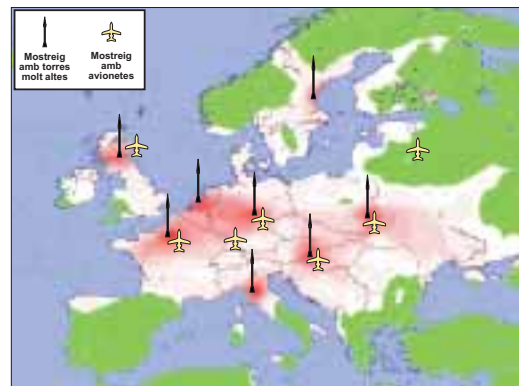


Figura A4.24. Estacions de mostreig de la capa límit planetària (PBL, de l'anglès *Planetary Boundary Layer*) que estaven en funcionament a Europa l'any 2003 (projectes europeus AEROCARB i CHIOTTO del 5è FWP i projectes estatals de França, Alemanya, Holanda i Regne Unit). Aquests mostrejos es poden fer recollint l'aire a la part més alta de torres molt elevades o bé fent servir equips aerotransportats. Aquestes estacions són representatives de regions molt amples però d'extensió variable en funció de les condicions atmosfèriques. Amb la intensitat variable de vermell es representen les regions mostrejades per les torres, mentre que en verd es mostren les àrees que queden fora del seu abast. A destacar que pràcticament tota la Península Ibèrica no està representada per cap torre ni per cap mostreig aerotransportat. Això ha canviat a partir del 2004.
Font: Elaboració pròpia.

tudiar el fluxos de carboni a l'Atlàntic central. En el càlcul del balanç de carboni europeu, la informació que proveeix Izaña només serveix per definir les condicions de contorn en el costat occidental del continent (combinada amb la que procedeix de moltes altres estacions atlàntiques). Les seves dades no tenen cap utilitat de cara a estimar el balanç de carboni de l'Espanya peninsular. L'altra estació de mostreig està situada a Begur (Girona) i és l'única localitzada a la Península Ibèrica (Portugal no en té cap). Gestionada pel Laboratori de Recerca del Clima del Parc Científic de Barcelona (LRC-PCB), aquesta estació es va implantar amb finançament de la Unió Europea (durant el 5è FWP) per cobrir, en part, la manca de dades que hi havia en el sudoest d'Europa. Les administracions de l'Estat espanyol es van mostrar durant algun temps molt poc interessades en finançar projectes de recerca que recolzessin l'estratègia europea del carboni. L'única excepció va ser la petita contribució del Servei Meteorològic de Catalunya, de la Generalitat de Catalunya, al finançament del mostreig a Begur.

Després de les desastroses dades d'emissions de l'any 2000 i després de l'alarma social que ha provocat la successió de dos estius atípics (2002 i 2003), s'ha produït una certa reacció. Des de mitjans de 2004 es realitza un mostreig troposfèric amb avioneta finançat pel Programa Nacional de Recerca i Desenvolupament del MEC a sobre de l'estació de mostreig en continu, també de nova implantació, situada a la torre de telecomunicacions de La Muela, prop de Zaragoza, i finançada pel 6è FWP de la Unió Europea. Totes dues estacions de mostreig també seran gestionades per l'LRC-PCB. Cal esmentar que el desinterès de l'administració catalana (en el període 2002-2003) per participar en aquests projectes ha fet impossible la implantació de noves estacions de mostreig al territori català, tal i com era la intenció inicial de l'LRC-PCB.

L'existència d'aquestes dues noves estacions i la continuïtat de Begur farà possible que en finalitzar el 6è FWP, moment que coincidirà amb el

primer any de verificació del compliment del Protocol de Kyoto, sigui possible proporcionar bones estimes de la contribució real de l'Estat espanyol a l'increment de l'efecte d'hivernacle. No gens menys important seria el manteniment dels mostresjos més enllà del 2006, moment fins el qual està garantit el finançament, i la implantació d'almenys dues estacions més de superfície a l'oest i al sud de la Península Ibèrica per proporcionar una més gran fiabilitat a les estimes.

A4.3. La detecció del canvi climàtic a la regió mediterrània

Com ja s'ha explicat al principi d'aquest capítol, la detecció estadística del canvi climàtic no és fàcil, i menys per a regions tan petites com ara Catalunya. Aquest és un problema amb el que ja s'ha enfrontat l'IPCC i la seva solució, que sembla prou acurada, consisteix en utilitzar tota la informació disponible per fer una valoració qualitativa del grau de certesa associada a una determinada afirmació. La informació que s'utilitza no són només les sèries temporals i la seva variació, que fins no fa gaire era l'única aproximació per estudiar els canvis, sinó també tota la resta de proves (de vegades circumstancials), que s'han anat adquirint en els estudis climàtics que s'han anat fent fins ara. D'entre aquestes proves destaca sobretot la consistència entre les dades reals i els resultats dels experiments amb models on es simulen els forçaments antropogènics. L'escala de valoració que utilitza l'IPCC (IPCC, 2001) varia des de la virtual certesa que una afirmació sigui certa (amb més d'un 99% de probabilitat) a la seva improbabilitat pràcticament absoluta (amb menys d'un 1% de probabilitat). Evidentment, les valoracions més útils són les més extremes (seguretat absoluta que quelcom passarà o no), mentre que les probabilitats intermèdies corresponen a afirmacions incertes que encara s'han d'investigar més a fons.

A4.3.1. L'evolució temporal dels descriptors climàtics

A petita escala, el clima europeu és molt complex, a causa de la presència de muntanyes altes

que de vegades funcionen com a barreres físiques a la circulació atmosfèrica i poden provocar grans diferències en les temperatures i en les precipitacions entre zones molt properes. Malgrat tot, es poden diferenciar zones més o menys consistents des d'un punt de vista climàtic, com ara la regió mediterrània. A Europa hi ha registres instrumentals molt antics (per exemple, la temperatura es va començar a registrar l'any 1659 al centre d'Anglaterra) i s'han fet nombroses reconstruccions de les variables climàtiques fent servir els anells dels arbres, dades hidrològiques o testimonis extrets del gel. Desgraciadament quasi tots aquests estudis s'han fet al centre i nord d'Europa i no pas a la regió mediterrània. A les nostres contrades ens hem de conformar només amb els registres instrumentals que hi ha des del segle XIX.

L'increment de la temperatura mitjana a tota Europa durant el segle XX ha estat d'uns 0,8 °C, encara que a la Península Ibèrica l'escalfament ha estat una mica més fort (Onate i Pou, 1996) i, sobretot, més a l'hivern que a l'estiu (Brunetti et al., 2000). D'entre totes, la darrera dècada (1990-99) va ser la més calorosa del segle XX a Europa. Al nord d'Europa, l'escalfament mitjà s'ha produït més per l'increment de les temperatures nocturnes que de les diürnes (Tuomenvirta et al., 1998), fet que ha provocat una reducció molt clara del rang de temperatures diàries (DTR, del l'anglès *diurnal temperature range*). En canvi, a la regió Mediterrània –i concretament a Itàlia– s'ha observat una evolució totalment oposada i el DTR ha augmentat (Brunetti et al., 2000).

A Europa, la precipitació ha disminuït durant el segle XX a la regió mediterrània però ha augmentat al centre i nord del continent. Aquest contrast latitudinal s'ha observat a tot l'hemisferi nord (Hulme et al., 1998). En algunes àrees de la Mediterrània, la precipitació s'ha reduït fins a un 20% (figura A4.27). Durant el període 1964-1993, al Pirineu el nombre de dies de pluja va disminuir en un 30%, mentre que a la costa sud

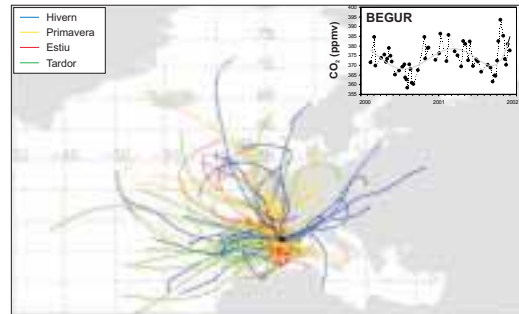


Figura A4.25. Retro-trajectòries de les masses d'aire mostrejades a l'estació de superfície situada a Begur (Girona). En el requadre de la cantonada superior dreta es mostren les concentracions de CO₂ mesurades durant dos anys a l'estació. Les trajectòries s'obtenen per modelat invers, fent servir un model de circulació atmosfèric que es fa funcionar cap enrera. Les trajectòries s'han separat en funció de l'època de l'any.

Font: elaboració pròpia.

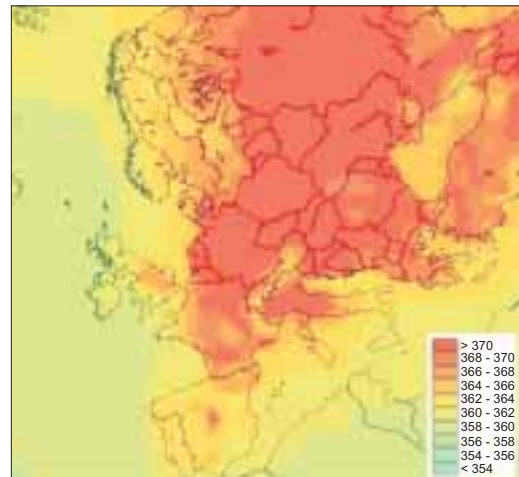


Figura A4.26. Estima de la concentració mitjana de CO₂ superficial durant el mes de setembre de 1999 a sobre d'Europa. L'escala de les concentracions s'expressa en ppmv.

Font: elaboració pròpia.

de l'Estat espanyol aquesta disminució va ser d'aproximadament el 50% (Romero et al., 1999), implicant, per tant, també un increment de la variabilitat.

Si, en lloc de parlar de tendències, s'analitzen fets més puntuals, s'observa que Europa va experimentar estius extremament càlids els anys 1992, 1994 i 2003. Durant aquests estius, els

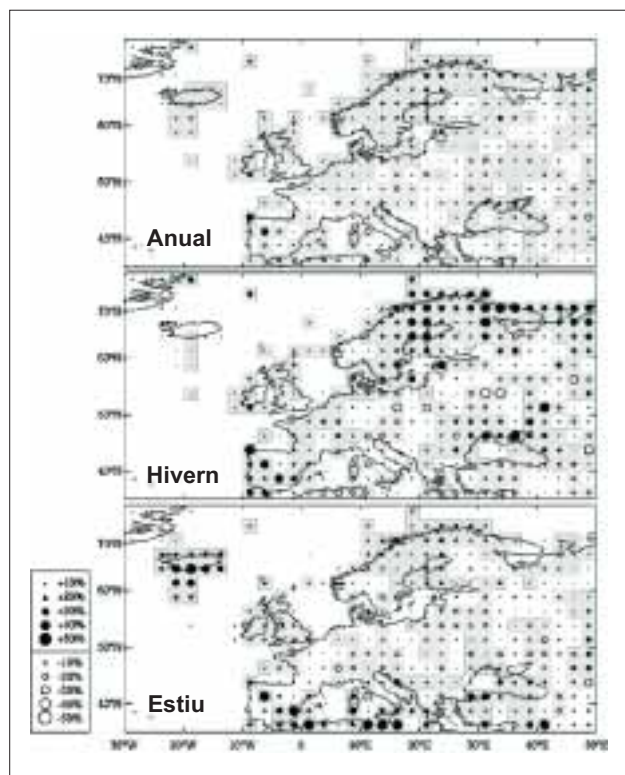


Figura A4.27. Tendències en la precipitació anual (a dalt), en la d'hivern (al mig) i en l'estival (a baix), en forma de variació percentual per segle. El càlcul de les tendències s'ha fet en una xarxa de 2,5° de costat. Els cercles negres indiquen que plou més, mentre que els blancs que s'hi precipita menys aigua. La magnitud de les tendències és proporcional a la mida dels cercles. A les zones ombrades, les tendències són significatives amb un 90% de probabilitat.

Font: elaboració pròpia a partir de New et al., 1999.

impactes sobre els sistemes naturals van ser devastadors per la reducció de la disponibilitat d'aigua i l'increment dels incendis (l'Estat espanyol va perdre 485.622 hectàrees l'estiu de 1994). A causa de la persistència de les condicions anticiclòniques, també va disminuir la qualitat de l'aire. Aquest fet, combinat amb un increment en la freqüència de les onades de calor, va afectar la salut pública en forma d'augments considerables en el nombre d'hospitalitzacions i en la mortalitat en els sectors de la població més sensibles, encara que aquest fet quedava, fins ara, dissimulat per la forma en què es mostraven les estadístiques oficials.

A4.3.2. Respostes geofísiques i biològiques al canvi climàtic

Des del punt de vista geofísic, el canvi més important observat amb relació al canvi climàtic ha estat la pèrdua, des de l'any 1980, de la meitat del volum de gel que hi havia a les glaceres pirenaïques. Pel que fa a les respostes biològiques, aquestes han estat molt nombroses (vegeu capítol B9 d'aquest informe). Per exemple, entre 1959 i 1993 la floració primaveral de les plantes es va avançar, de mitjana, uns 6 dies, mentre que el canvi de color de les fulles a la tardor es produeix, en termes mitjans, uns cinc dies més tard. Un fet similar s'observa en l'aparició i l'obertura dels borrons de les plantes: amb relació a l'any 1969, l'any 1998 aquests processos començaven amb 8 dies d'antel·lació (14 dies en el cas de Portugal). Per tant, actualment l'estació de creixement és molt més llarga que fa 30 anys (al voltant d'unes tres setmanes). Altres indicadors biològics que s'han observat són un desplaçament de més de 200 km cap al nord en la distribució geogràfica de la majoria de les espècies de papallona estudiades (Parmesan et al., 1999) i l'avançament de l'estació de cria en moltes espècies d'amfibis i d'ocells migratoris (Forchhammer et al., 1997).

L'avançament de la primavera sovint provoca efectes molt negatius. A Anglaterra, per exemple, es va observar que després de dos hiverns molt temperats, molts insectes i altres animals van començar força abans la seva activitat, fet que va provocar una disminució significativa de la producció vegetal d'aquells anys (Cannell i Pitcairn, 1993). També s'ha observat que quan els hiverns no són prou freds, espècies com ara la pícea (*Picea abies*) poden arribar a fallar en la formació de borrons durant la regeneració primaveral (Sykes i Prentice, 1996). En el cas dels arbres, els estius

secs i càlids de la dècada dels 90 van provocar una clara disminució del seu creixement i van fer que la producció i la qualitat de la fusta fossin més baixes. Aquest fet va afavorir la proliferació de plagues als boscos de tota Europa. Finalment, als ecosistemes aquàtics s'ha constatat una major freqüència de marees roges i d'altres proliferacions d'algues com a resposta a l'increment de la temperatura i de l'arribada de nutrients a les masses d'aigua costaneres.

A4.3.3. Els esdeveniments extrems: què ens diu el passat i què ens espera en el futur

La previsió d'esdeveniments extrems constitueix un tema de cabdal importància a la nostra regió geogràfica, ja que comporta uns riscos que semblen haver-se accentuat en les darreres dècades. El clima del planeta ha canviat durant el darrer segle i continua canviant. I d'entre aquests canvis, els previstos sobre fenòmens extrems (Mehrl et al., 2000) –com ara onades de calor, sequeres o riuades– tenen o poden tenir un impacte sobre la societat potencialment més gran que no pas aquells canvis sobre valors climatològics mitjans com la temperatura d'estiu mitjana calculada per unes quantes dècades (McCarthy et al., 2001). Per tot això, doncs, la millora de la predicció dels riscos futurs associats a aquests esdeveniments extrems té una importància cabdal per a la nostra societat.

En general, els darrers estudis científics sobre aquests temes indiquen que la freqüència de riuades extremes en grans conques hidrogràfiques s'ha incrementat notablement durant el segle xx (Milly et al., 2002), amb només una probabilitat extremadament petita que aquests canvis es deguin a la variabilitat natural del clima. D'altra banda, pel que fa a les previsions per al proper segle, un estudi recent ha analitzat un total de 19 simulacions de models climàtics i estima que hi haurà una probabilitat fins a cinc cops més elevada de patir hiverns molt més plujosos que ara a l'Europa central i septentrional (Palmer i Räisänen, 2002). També prediu, amb un grau de fiabilitat molt elevat, que el monzò

d'estiu portarà moltes més pluges al sud-est asiàtic, i incrementarà notablement el risc de riuades torrencials en aquella àrea tan castigada i tan sensible a aquests fenòmens climàtics. No obstant això, no sembla atribuir cap increment significatiu (o, en tot cas, un lleu augment) a la probabilitat d'observar increments torrencials en la precipitació d'hivern a l'àrea mediterrània.

Estudis similars a aquest posen de manifest resultats contradictoris amb els esmentats anteriorment per la nostra àrea geogràfica, fet que constata la deficient capacitat dels models actuals per simular l'evolució futura del clima a Catalunya. Un finançament escàs de la recerca en l'àmbit del clima –extensiu a la major part de països de la regió (amb la possible excepció d'Itàlia)–, dona com a resultat un pobre coneixement dels factors que modulen la nostra variabilitat climàtica a una escala superior a l'estacional i fa que la majoria d'aquests models s'hagin desenvolupat en i per a altres regions geogràfiques. Aquest fet, unit a la nostra complicada orografia i a la nostra posició com a frontera o transició entre diferents zones climàtiques, ha dificultat seriosament que s'avancés significativament en aquesta direcció en les darreres dècades.

D'altra banda, recentment s'ha posat de manifest una deficiència addicional en els estudis que intenten subministrar als gestors eines adequades per a la predicció d'aquests fenòmens extrems i que mostra que hi ha aproximacions més efectives que altres, les quals s'haurien d'anar utilitzant cada vegada més. I aquestes deficiències poden igualment fer-se extensives a altres tipus d'estudis que intenten explicar les causes de la tan denostada variabilitat climàtica interanual (el fet per exemple, que el clima a Catalunya sigui tan diferent uns anys dels altres). Molts d'aquests estudis es basen en aproximacions metodològiques que utilitzen la integració o reducció en variables sintètiques més «explicatives». Es tracta, doncs, que per fer la predicció d'episodis extrems sembla ser més adequat considerar com canvia la freqüència d'aparició d'aquests esdeve-

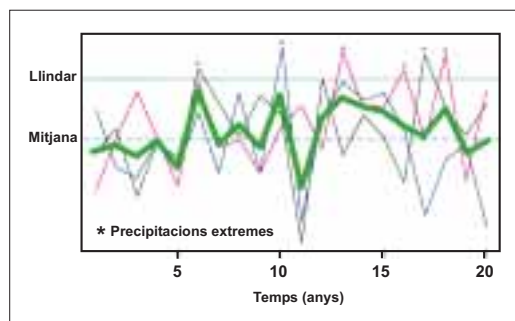


Figura A4.28. Errors associats a la predicció de fenòmens extrems. A la figura es pot apreciar com la probabilitat que les pluges d'estiu en una determinada localitat excedeixi un llindar concret (indicat per la línia blava horitzontal), seria erròniament baixa en la mitjana d'un conjunt de simulacions (línia verda), mentre que s'obtenen millors resultats amb cadascuna d'elles per separat (línies de diferents colors). En aquest exemple, la probabilitat seria zero amb la simulació mitjana, i positiva, en canvi, amb les simulacions individuals.

Font: elaboració pròpia a partir de Schnur (2002).

niments que confiar en una única projecció o en el comportament mitjà d'un conjunt d'aquestes (Schnur, 2002). Això es deu al fet que, en general, per fer projeccions dels canvis en el clima derivats de l'increment de l'efecte d'hivernacle, els investigadors utilitzen models numèrics que simulen els efectes d'aquests canvis atmosfèrics sobre el clima.

No obstant això, aquests models climàtics –tot i que extremadament valuosos, ja que són l'única eina disponible actualment–, són imperfectes, atès que els processos físics que hi operen sovint no són totalment coneguts o no hi han estat adequadament representats per la limitada capacitat de càlcul de què es disposa. Per tal de solucionar –encara que sigui parcialment– aquest problema, sovint s'opta per prendre una aproximació consensual basada en assumir que la influència –negativa– que pot tenir aquesta incertesa associada al modelat es pot limitar notablement si es fa la mitjana dels resultats d'un conjunt de models climàtics que difereixen lleument en la representació que fan del clima.

Aquesta és l'aproximació que es pren per exemple en el cas de la majoria d'estudis de canvi cli-

màtic, que estan dirigits bàsicament a conèixer les transformacions a llarg termini que es produiran en els valors mitjans d'una variable en una àrea geogràfica extensa, àmbit on es mostra altament eficaç. Per exemple, el treball de l'IPCC se sustenta àmpliament en aproximacions d'aquest tipus, que cerquen aquells trets que són comuns a un «conjunt» de simulacions provinents d'un o més models climàtics. Per contra, aquesta mateixa aproximació pot portar a seriosos biaixos quan s'aplica a àrees geogràfiques més reduïdes, infravalorant o sobreestimant localment aquests efectes. Per això és absolutament necessari en aquests tipus de prediccions per a àrees més reduïdes que es duguin a terme altres aproximacions. Tal és el cas de Catalunya, on es requereixen projeccions que es basin en simulacions fetes a l'escala de xarxes de punts de desenes de quilòmetres i no com les actuals, que són de l'ordre d'uns 200 quilòmetres.

Això només es pot aconseguir incrementant notablement la capacitat de càlcul disponible o ajuntant les projeccions mitjanes d'un conjunt de models climàtics globals i utilitzant-les per fer funcionar d'altres models d'alta resolució per a àrees més reduïdes. És l'anomenada estratègia en models aniuats o en pila. En el cas de Catalunya, fins ara no s'està aplicant cap d'aquestes dues aproximacions. El problema que sorgeix quan s'aplica aquesta aproximació integrada a la predicció de fenòmens extrems i que també pot fer-se extensiva al camp de la detecció dels impactes de fenòmens tropicals sobre el nostre clima, és el següent: si s'utilitzen els resultats «consensuats» obtinguts a partir de projeccions d'un conjunt de models diferents per predir aquestes incidències ocasionals i/o extremes, el resultat mitjà sempre subestimarà l'aparició d'aquests esdeveniments. Això s'il·lustra a la figura A4.28, on s'aprecien els efectes negatius que l'ús dels valors mitjans té en aquestes inferències.

A tall d'exemple, la figura mostra com la probabilitat que a l'estiu, i en una determinada regió, les pluges excedeixin un determinat valor (llin-

dar), seria erròniament baixa en la projecció consensuada –la línia verda–, en contrast amb les simulacions individuals –línies primes de diferents colors–, com a conseqüència d’un efecte d’allisat espuri. Es pot apreciar clarament, doncs, com en aquest cas la utilització de qualsevol de les simulacions individuals dóna millors resultats que l’ús de la simulació mitjana, ja que aquesta no aconsegueix predir cap episodi extrem –valors per sobre del llinyar, identificats per asteriscs.

El mateix passa quan s’intenta identificar, mitjançant aproximacions d’aquest tipus, fenòmens que tenen una aparició puntual, és a dir, que tenen una incidència discontinua en el temps, però que alhora pot ser que siguin importants en el conjunt total dels valors observats. Aquest seria el cas de totes aquelles tècniques estadístiques que utilitzen la reducció de variables, per tal d’obtenir-ne d’altres de sintètiques i més “explicatives”. Aquest problema esdevé especialment important en la recerca sobre climatologia que s’ha desenvolupat tradicionalment a casa nostra i, més concretament, en l’àmbit de la detecció de l’impacte de fenòmens tropicals o –en menor mesura– extratropicals, sobre el nostre clima, aspecte que s’aborda a l’apartat següent.

S’ha constatat, també, que les pluges torrencials acostumen a produir-se preferentment en zones costaneres que, a més, tenen una orografia complexa, tot i que hi ha pocs estudis específicament dedicats a estudiar aquests aspectes i el lligam que aquests poden tenir amb altres fenòmens extratropicals, d’un abast més gran. De tota manera, alguns estudis han constatat que en les darreres dècades hi ha una tendència a la concentració dels episodis plujosos en àrees costaneres més reduïdes (a les costes italianes i de la Península Ibèrica, per exemple), tot i la reducció dels valors totals de pluviositat acumulats (Alpert et al., 2002).

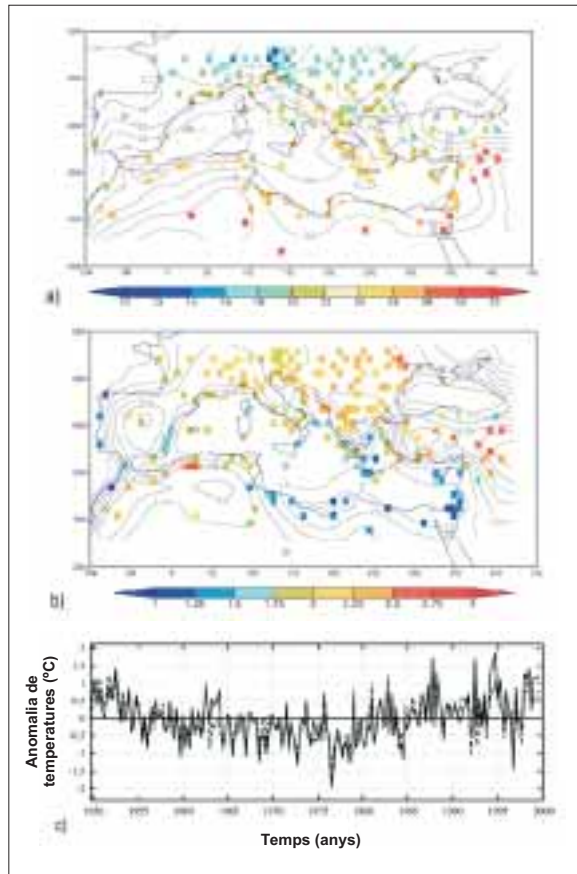


Figura A4.29. Característiques espacials i temporals de les temperatures d’estiu (de juny a agost) a l’àrea mediterrània entre els anys 1950 i 1999: a) temperatures mitjanes d’estiu en un total de 213 estacions –els contorns provenen de dades de les reanàlisi–; b) desviacions estàndard de les temperatures d’estiu en les mateixes 213 estacions; c) evolució de les anomalies en les temperatures mitjanes mensuals en estacions de terra.

Font: figura extreta de Xoplaki et al. (2003).

Pel que fa a un altre dels fenòmens extrems importants, les onades de calor a l’estiu, que tant ens van afectar l’any 2003, també han estat objecte d’alguns (pocs) estudis coherents, encara que abastaven el conjunt de la Mediterrània. Per exemple, es constata que aproximadament la meitat de la variabilitat en les temperatures estivals es pot descomposar en dos modes –o patrons– principals de variació, un de primer que apareix amb temperatures uniformes distribuïdes més o menys a tota la Mediterrània, i un de segon que mostra un dipol entre la Mediterrània

Occidental –amb el centre d'acció sobre el sud de França i Catalunya– i la cubeta oriental –en especial sobre Grècia i Turquia–. Aquest comportament bipolar sovint dóna lloc a patrons diferenciats també a escala meteorològica (figura A4.29).

Segons tots els indicis, l'onada de calor que vam patir durant l'estiu del 2003 va ser anòmla. Tot i que no es pot assegurar que un fenomen puntual d'aquest tipus pugui tenir els seus orígens en el canvi climàtic, sí que es posa de manifest la peremptòria necessitat que hi ha –no només a la Península Ibèrica, sinó també a les regions veïnes– de millorar significativament els models climàtics regionals de què es disposa. Aquesta millora s'aconseguiria, per una banda, amb més recursos per millorar els models regionals i, per una altra, amb un coneixement millor dels processos que regulen aquests extrems climàtics a la nostra àrea geogràfica. Per exemple, els models climàtics globals operen normalment amb una malla de punts distribuïts a l'entorn dels 2,5° de latitud i a escala regional es requeria, com a mínim, incrementar aquesta resolució fins a un nivell de 0,5°. Com ja s'ha vist, aquesta resolució encara és impossible d'aconseguir amb els models i la capacitat de càlcul actuals.

Per intentar apropar-s'hi, sovint s'ajunten els resultats aconseguits amb aquests models globals de resolució més grollera i s'utilitzen junt amb el coneixement de l'orografia i climes locals, per fer un *downscaling* o reescalat estadístic a més gran resolució. L'altra aproximació complementària es basa en acoblar els resultats sorgits d'una simulació amb un model global, per tal que serveixin com a dades d'entrada de models regionals de més resolució. Aquestes aproximacions, que es mostren altament subòptimes en àrees amb una orografia complexa, ni tan sols no s'han desenvolupat encara adequadament en el cas de Catalunya, la qual com a molt apareix representada amb un sol punt en la majoria dels estudis regionals que s'han fet.

En el cas de les onades de calor, tot i que és habitual que a l'estiu es donin situacions sinòptiques caracteritzades per la presència d'un potent anticicló i que, a més, a la Mediterrània occidental els anys que segueixen el desenvolupament d'un episodi càlid de l'ENSO (els anomenats *El Niño*) siguin, en general, particularment secs i –encara que en menor mesura– també càlids, no es coneixen els processos concrets que regeixen la intensitat d'aquest anticicló ni tampoc el temps que hi romandrà. En aquest context, és difícil especular sobre si aquestes onades de calor –els canvis en la freqüència i intensitat amb la que es donen– estan afavorides o no pel canvi climàtic i/o altres fenòmens, o per relacions complexes que es puguin donar entre un o més d'aquests. Malgrat aquest desconeixement en detall s'ha consensuat, d'una manera robusta, que les elevades temperatures enregistrades a l'hemisferi nord durant la segona meitat del segle xx no tenen precedents en el darrer mil·lenni.

A4.3.4. La variabilitat interanual del clima a Catalunya. La influència de la variabilitat de latituds mitjanes i la dels fenòmens tropicals en la regulació del clima a l'àrea mediterrània

L'adequada caracterització del clima del Principat no es pot separar del de la Península Ibèrica i per extensió del de la regió mediterrània a l'hora de cercar-ne les connexions regionals i interhemisfèriques, a causa de la seva reduïda dimensió espacial. En aquest àmbit geogràfic, els estudis climàtics no estan encara al nivell de desenvolupament que hi ha per a d'altres zones geogràfiques, com el Pacífic tropical, el sud-est asiàtic, determinades zones de l'Àfrica, Austràlia, l'Amèrica del Nord o el Nord d'Europa, entre d'altres. Aquí en canvi, les aproximacions que s'han fet han estat molt fragmentades o en alguns casos són molt recents i encara no s'han pres en consideració o bé han estat obviades. En conjunt, aquestes en la major part dels casos no van gaire més enllà de la caracterització dels valors de referència a diferents nivells, sobretot al nivell estacional o bé de l'evolució del comportament mitjà a llarg termini. Així encara manca una vi-

sió conjunta i moderna del clima mediterrani, aspecte aquest que tret d'algunes excepcions, ni tan sols s'ha abordat pel que fa al conjunt dels països costaners de la cubeta occidental.

Així, quan estudiem el clima a casa nostra hem d'entendre que en podem diferenciar diferents components, que en principi han de ser estudiats separatament. Així la climatologia d'una localitat, comarca o àrea geogràfica determinada es pot separar en variabilitat estacional –lligada al cicle anual–, i en altres components interanuals, de tendència, lligats a la variabilitat del propi cicle anual i finalment, una porció de la variabilitat total aleatòria o també modulada per d'altres fenòmens que encara no coneixem (figura A4.30).

A4.3.4.1 La variabilitat climàtica a latituds mitjanes i el nostre clima

Fa més de quinze anys, Lamb i Pepler (1987) van constatar que el fenomen conegut com *Oscil·lació de l'Atlàntic Nord* (més coneguda com NAO, per les seves inicials en anglès; Hurrell, 1995), tenia una influència notable en el règim de precipitacions hivernals del Marroc, sobretot en les localitats de la vessant atlàntica. El mateix es va descriure uns anys després per a la part occidental de la Península Ibèrica (Zorita et al., 1992). Abans que tots ells, però, Meehl i van Loon (1979) ja havien associat les anomalies de precipitació observades durant el mes de gener en tota una àmplia regió de l'Atlàntic Nord i l'Europa occidental amb la NAO.

Aquesta oscil·lació climàtica té un índex –l'índex NAO– que bàsicament descriu el gradient de pressió meridional que hi ha a l'Atlàntic Nord. En base a com estan distribuïts allà els centres de pressió, s'entén fàcilment que els camins seguits per les depressions atmosfèriques extratropicals variaran, com també ho faran la intensitat i la direcció dels vents que bufen de l'oest. Els canvis que es produiran en aquesta regió poden originar variacions importants en les quantitats de precipitació caigudes, bàsicament a l'hivern, època en la qual també es podran ob-

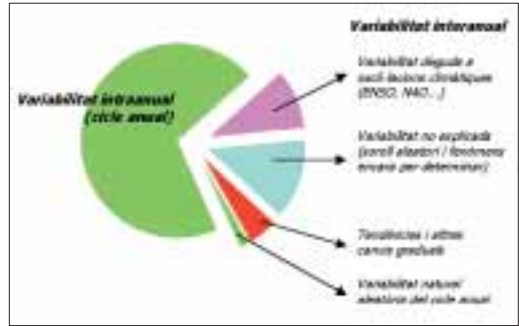


Figura A4.30. Esquema conceptual dels components en que es pot descomposar una sèrie climàtica determinada. Es pot separar la variabilitat estacional de la interanual, la qual al seu torn pot dividir-se en diferents components, com ara les contribucions que hi fan fenòmens com la NAO i l'ENSO.
Font: elaboració pròpia.

servar variacions en les temperatures, tot i que en menor mesura (Rodwell et al., 1999).

Aquest fet s'ha constatat també pel que fa a la precipitació hivernal al Principat i altres regions de la mediterrània occidental. Concretament, la relació entre la NAO i les precipitacions és inversa, és a dir que valors extrems positius d'aquest índex van associats a disminucions en la precipitació. Això es deu al fet que les depressions que porten la pluja i tenen el seu origen a l'Atlàntic Nord segueixen una ruta més septentrional, allunyada de les nostres latituds. D'altra banda, alguns estudis recents semblen fins i tot estendre aquesta relació amb la precipitació a escales temporals superiors a l'estacional (Rimbu et al., 2001), tot i que aquest extrem encara és controvertit. A causa de la seva naturalesa atmosfèrica i la seva proximitat geogràfica, l'impacte de la NAO sobre Catalunya es dona bàsicament a l'hivern i sense retard temporal, la qual cosa limita molt el seu potencial predictiu.

No obstant això, estudis recents semblen associar la NAO a un fenomen hemisfèric acoblat de més gran escala, conegut com *Oscil·lació Àrtica* (l'AO, com típicament se la coneix, per les seves inicials en anglès), de la qual la NAO seria part de la seva manifestació atmosfèrica (Thompson i

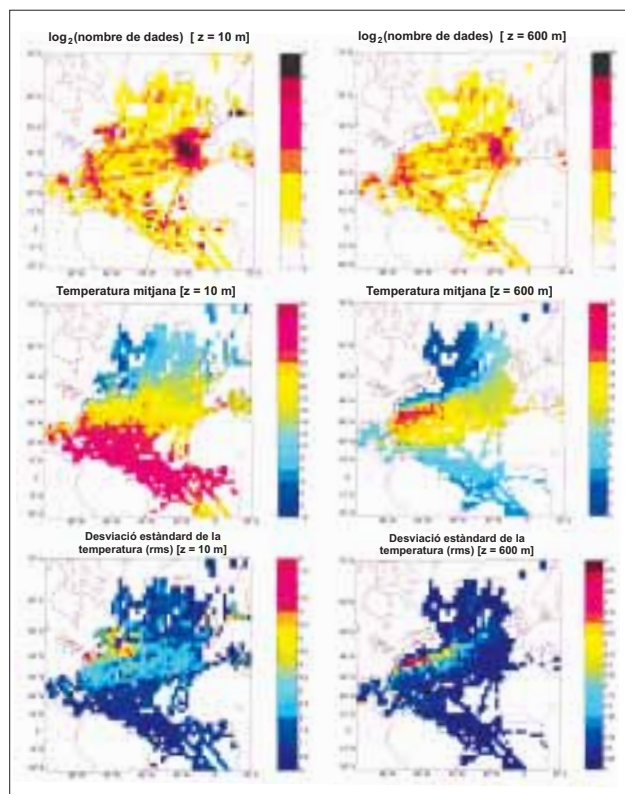


Figura A4.31. Perfils de temperatura continguts en la base de dades CORIOLIS durant els seus dos primers anys de funcionament. En les figures es mostren el nombre de perfils que hi ha per fondària, temperatura mitjana i desviació estàndard a 10 metres (columna esquerra) i 600 metres (columna dreta).

Font: Gabaldón et al. (2002).

Wallace, 1998). Estudis com els de Czaja et al. (2002) han constatat la rellevància de l'acoblament atmosfera-oceà a l'hora de determinar la variabilitat total de la NAO. Pel seu lligam amb l'AO, la NAO apareixeria també en una posició central en el debat actual sobre el canvi climàtic, a causa sobretot de les modulacions multidecadals que ha mostrat des de mitjans del segle xx (Gillett et al., 2000). En un moment on s'ha constatat que les temperatures superficials a l'hemisferi nord probablement són les més elevades del darrer mil·leni, una fracció substancial d'aquest escalfament s'associa al comportament de la NAO i, més concretament, a la tendència del seu índex hivernal a passar de grans anomalies d'un signe en la dècada dels seixanta a grans

anomalies de signe oposat d'ençà de la dècada dels vuitanta (Hurrell et al., 2002).

Previsiblement, aquests canvis també tindrien un efecte constatable i directe sobre les precipitacions i temperatures catalanes en les properes dècades. No obstant això, per tal de poder aventurar amb una mínima fiabilitat quines poden ser les tendències que mostrarà la precipitació a Catalunya en relació a aquest mode de variabilitat climàtica, cal conèixer millor el paper que la complexa orografia del país juga en aquest procés i com aquesta interacciona amb les masses d'aire procedents de l'Atlàntic. Per exemple, a la Mediterrània el contrast tèrmic entre les masses d'aire procedents de l'Atlàntic i les temperatures de finals d'estiu sovint originen tempestes molt violentes, amb conseqüències catastròfiques, que tots, desgraciadament, recordem. En aquest sentit, i per poder afinar encara més la predicció d'aquests successos extrems de finals d'estiu, és necessari conèixer millor el funcionament tèrmic de la cubeta occidental de la Mediterrània, en tant que reservori de calor que després alimentarà tots aquests fenòmens. Per fer-ho, cal incrementar considerablement l'esforç que es fa des de Catalunya per conèixer amb una gran resolució espacial com la calor es distribueix en fondària en el mar, una informació de la qual actualment només en disposem d'una manera fragmentada.

La figura A4.31 mostra la cobertura existent en els perfils de temperatura de l'aigua que s'estan obtenint a través de la base de dades CORIOLIS, una iniciativa molt important a escala internacional, i que una vegada més posa de manifest les deficiències en el coneixement de zones extremadament importants de cara a millorar les prediccions climàtiques per al Principat.

Tot i el paper que juga la NAO en les precipitacions hivernals a Catalunya, la resposta que hi ha en relació a aquest fenomen tampoc no és homogènia en les sèries climàtiques de les diverses comarques catalanes. En aquest sentit, cal destacar que la NAO tampoc no és l'únic fenomen de latituds mitjanes que té influència sobre la climatologia del Principat, tot i que desgraciadament en aquest punt també hem de dir que no se n'han fet estudis específics. Per exemple, per la costa nord peninsular, Sáenz et al. (2001) constaten que la NAO juga un paper secundari en la precipitació d'hivern, i que la importància d'altres modes extratropicals, com ara l'anomenat EA (de l'anglès

Eastern Atlantic), sembla tenir-hi un paper molt important. És coneguda, d'altra banda, la gran importància que té el patró EA en l'advecció de masses d'aire més humides o més càlides cap a determinades zones.

A4.3.4.2. El paper dels fenòmens tropicals en la regulació del clima a l'àrea mediterrània

Els primers estudis que es van publicar amb relació a la influència del fenomen ENSO sobre el continent europeu van concloure que es podia distingir una resposta (lleu) a aquests fenòmens durant l'hivern (entès des del punt de vista climatològic com el període que va de desembre a fe-

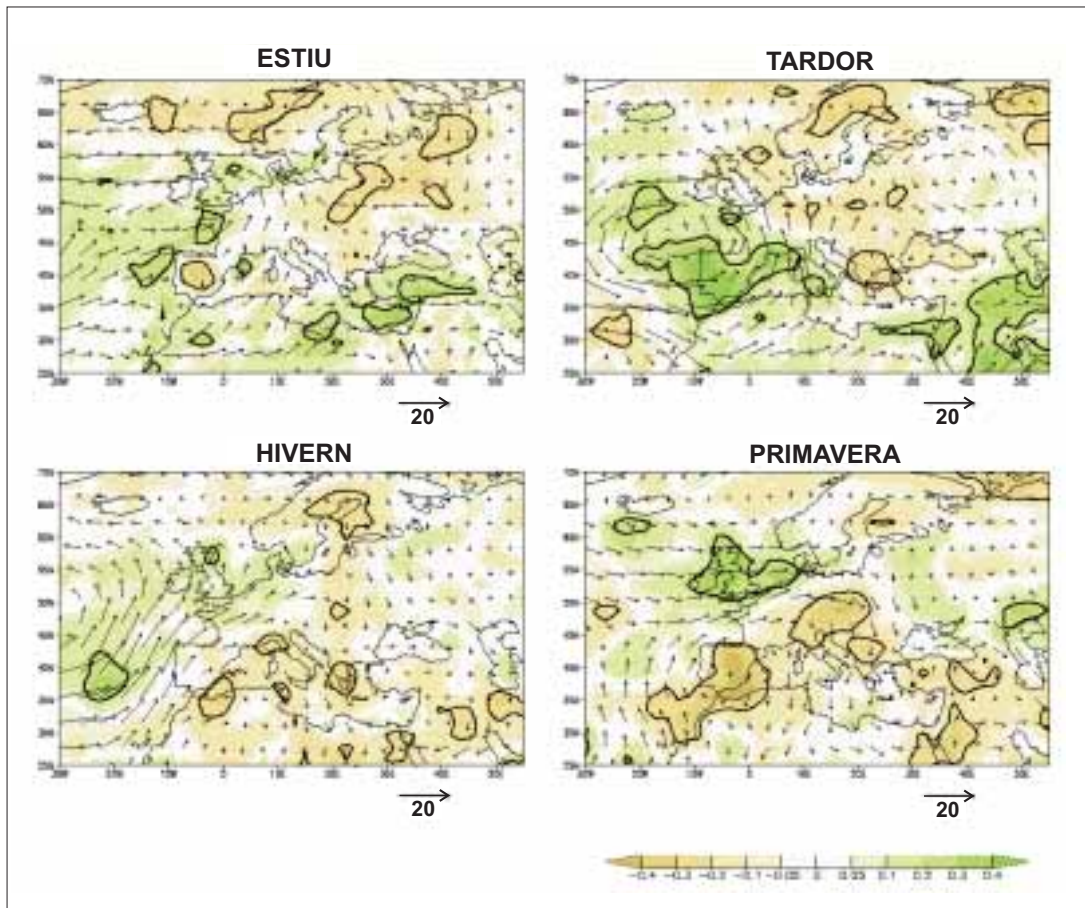


Figura A4.32. Regressió estacional dels fluxos d'humitat integrats verticalment i el fenomen d'El Niño. També es mostren envoltades per contorns les àrees amb correlacions significatives a un nivell del 95%, entre El Niño i les pluges.

Font: Mariotti et al. (2002).

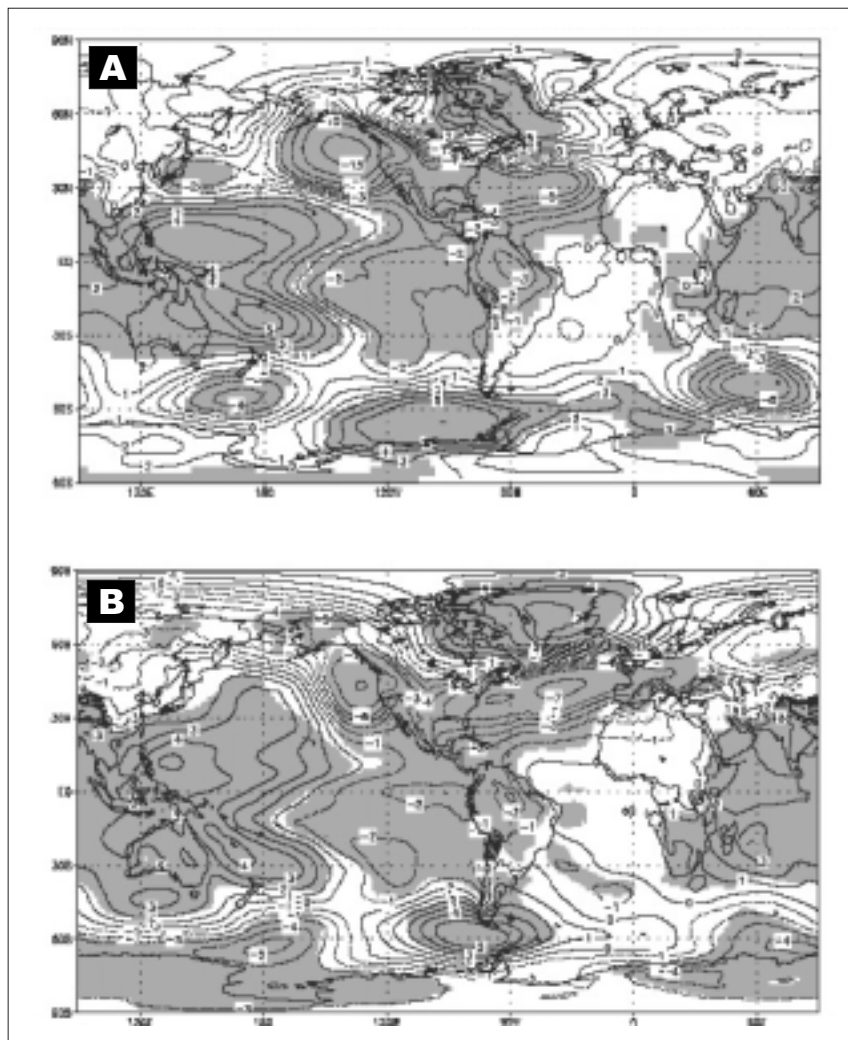


Figura A4.33. Resposta hivernal mitjana (de desembre a febrer) de la SLP (en hPa). Les regions ombrades denoten una significació a un nivell del 95% en un t-test: a) experiment amb T42; i b) experiment amb T106. Font: Merkel i Latif (2003).

brer) en els anys amb episodis d'*El Niño* o *La Niña* (Fraedrich i Müller, 1992; Fraedrich, 1994). Per exemple, Ropelewski i Halpert (1987) identifiquen dues zones de l'àrea mediterrània com *regions ENSO-sensibles*: una primera sobre el Marroc i l'Estat espanyol, anomenada regió NAS (*Northern Africa-Southern Europe*) i una segona a la Mediterrània Oriental i Israel (la MME, de *Mediterranean-Middle East*). Uns anys més tard, Kila-

dis i Díaz (1989) afinaven una mica més en precisar que el tipus de resposta que es produïa a la regió NAS era dual i, més concretament, que existia una tendència cap a increments de la precipitació coincidint amb l'inici i l'establiment d'una fase càlida o *El Niño* al Pacífic (de juny a febrer) i, posteriorment, una clara disminució de les precipitacions en aquesta mateixa regió a la primavera següent (de març a maig).

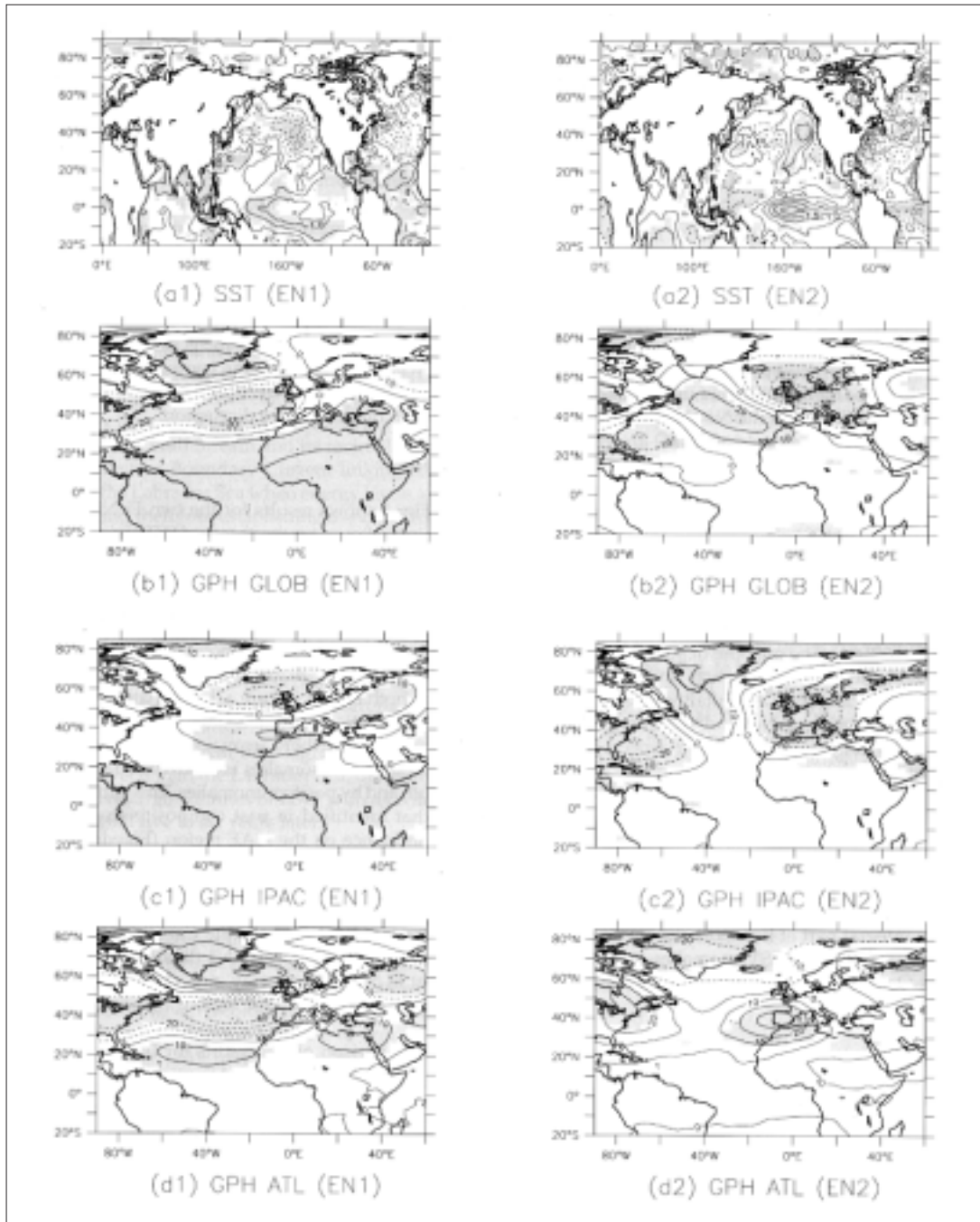


Figura A4.34. Forçament oceànic i resposta atmosfèrica durant els episodis de *El Niño* dels períodes 1987/88 (EN1) i 1991/92 (EN2): (a) anomalies de SST a l'hivern (DJF); (b) simulació de l'alçada del geopotencial a 500 mb (GPH) en l'experiment GLOB; (c) en l'experiment IPAC, i (d) en l'ATL. En (a), (b) i (c) les anomalies de SST i de GPH s'han calculat respecte al període climatològic 1986-2001. El model de climatologia del GPH s'ha obtingut de l'experiment GLOB. A (d) les anomalies de GPH es calculen com la diferència entre els conjunt de mitjanes dels experiments GLOB i IPAC. Els ombrejats en els mapes de GPH indiquen una significació del 95% en un test t. L'ombreat en el mapa de SST (a) es refereix a les regions on les anomalies superen la desviació estàndard de la variabilitat interanual.

Font: Mathieu et al. (2002).

Altres estudis analítics següents tractant d'esbrinar quin paper juga l'ENSO en el clima europeu i, en particular, també a la Mediterrània, la qual es mostra com una àrea altament sensible d'entre totes aquelles investigades al vell continent. Per exemple, Santoleri et al. (1995), analitzant canvis en la temperatura superficial de l'aigua de mar (SST, de l'anglès *Sea Surface Temperature*), van observar fortes anomalies en les SST d'hivern a la Mediterrània occidental posterior als episodis d'*El Niño* dels anys 1982-1983 i 1986-1987. Més tard, i pel que fa a la pluviositat, Rodó et al. (1997) van investigar si hi havia traces del fenomen ENSO a les precipitacions peninsulars, constatant també l'existència d'una disminució significativa en la pluviositat a la primavera següent (entesa climatològicament de març a maig) a l'establiment d'un episodi d'*El Niño* de, com a mínim, una intensitat moderada. Aquesta coherència s'ha incrementat clarament durant la segona meitat del segle passat, si es compara amb les anàlisi efectuades sobre la primera meitat, aspecte que deixa oberta la possibilitat –posada ja de manifest també en altres estudis similars de l'ENSO–, que el canvi climàtic pugui tenir alguna responsabilitat en l'alteració dels patrons altrament considerats «normals», o en l'amplificació de les seves teleconnexions amb altres regions del planeta.

Estudis semblants fets en altres zones de la Mediterrània, com Israel (Yakir et al., 1996; Price et al., 1998) i la cubeta oriental, també van establir associacions més o menys clares amb l'ENSO. En cap cas aquestes relacions apareixen –com succeeix amb la NAO– amb les pluges d'hivern (Quadrelli et al., 2001), sinó que estan centrades principalment a la primavera i la tardor, exactament aquelles èpoques on en conjunt les precipitacions són més abundants i importants de cara a la vegetació i els conreus. De forma similar, altres estudis recents (van Oldenborgh et al., 2000 i Mariotti et al., 2002) també constaten aquestes respostes a l'ENSO en la precipitació i les temperatures, tant a la tardor com a la primavera, en la mateixa línia descrita anteriorment. A més, l'es-

tudi de Mariotti et al. (2002) permet entendre una mica més quines són les estructures atmosfèriques que es formen durant aquests episodis sobre la península i la Mediterrània, així com a l'Atlàntic adjacent (figura A4.32). Pel que fa al seguiment d'esdeveniments concrets altres estudis, com els de Grötzner et al. (2000) i sobretot, Dong et al. (2000), han establert clarament com alguns dels severos fenòmens climatològics que van tenir lloc a Europa entre 1997 i 1999, estaven associats al cicle de l'ENSO del 1997-1999.

No obstant això, l'estudi del paper de l'ENSO a Catalunya no ha tingut únicament una aproximació de caràcter empíric, sinó que també s'ha cercat a bastament una explicació dinàmica dels mecanismes. S'ha avançat molt en aquest camp, des dels treballs pioners de Lanzante (1996) i Enfield i Mayer (1997), els quals exploraren com es produeix el forçament de l'Atlàntic tropical durant les fases madures de l'ENSO, una regió oceànica que podria jugar un paper de mitjancera en la teleconnexió cap la Mediterrània (Klein et al., 1999; Rodó, 2001). Aquesta línia d'investigació ha portat a establir que la hipòtesi més plausible és l'existència de ponts atmosfèrics que unirien ambdues cubetes a través de les ja conegudes circulacions de Walker i la seva connexió amb les cel·les de Hadley a l'Atlàntic. S'ha constatat que un forçament i/o l'alteració del ritme ascendent o descendent de l'aire en aquestes circulacions altera notablement les estructures atmosfèriques i el balanç de calor en aquelles regions. En el cas específic de les latituds mitjanes, es coneix també com operaria aquest forçament tropical, i s'ha aconseguit simular amb força èxit tant la dinàmica com els patrons que es generen (Lau and Nath, 2001; i d'altres).

En el cas particular de la Mediterrània, la pregunta més immediata que es deriva d'aquests estudis és per què ha estat tan difícil identificar històricament l'empremta d'aquest tipus de fenòmens en el clima. La resposta a aquesta pregunta no és simple. Ans el contrari, hi hauria diverses raons que justificarien aquesta dificultat, així com no-

ves proves que l'explicació podria raure en el que es comenta breument a continuació. D'una banda, cal destacar que estudis molt recents amb models atmosfèrics forçats per anomalies de la SST proven que l'increment de la resolució espacial horitzontal permet augmentar molt notablement la detecció i, per tant, la significació del senyal ENSO en el que es coneix com a regió NAE (*North Atlantic-European*). Així, en contraposició a l'experiment amb menor resolució (el del T42), quan s'augmenta notablement el detall (passant a T106), Merkel i Latif (2003) demostren que és possible identificar l'existència de canvis significatius tant en els valors mitjans de determinades variables atmosfèriques a Europa (com ara, pressió a nivell del mar o SLP [*Sea Level Pressure*], temperatura i precipitació), com en l'activitat d'ones geofísiques transitòries i estacionàries. Com a exemple de la millora en la detecció d'aquest tipus de processos, a la figura A4.33 es poden observar els canvis mitjans obtinguts en les respostes estacionals (a l'hivern) d'un conjunt de simulacions amb l'experiment de menys resolució (figura A4.33a, corresponent a T42) i amb el de més resolució (figura A4.33b, del T106). En el cas del conjunt d'Europa i de la Mediterrània occidental, i també per a Catalunya, el canvi en la capacitat de detecció és molt notable, ja que es passa de no poder detectar res a obtenir senyals molt forts, per exemple en les SLP.

Una segona raó que pot permetre explicar aquesta recent identificació de l'ENSO en el nostre clima està relacionada amb la pròpia estructura que tenen aquest tipus de forçaments tropicals en el clima de les latituds extratropicals. Per una banda, es tractaria d'uns patrons de teleconnexió que impliquen diferents compartiments del sistema climàtic, com a mínim l'atmosfera i diferents regions oceàniques, i no de processos purament atmosfèrics, com en principi succeeix en el cas de la NAO. Aquest fet s'integra sovint en forma de relacions no lineals entre variables, característica que complica la seva identificació amb les tècniques estadístiques habituals. De l'altra, el fet que moltes d'aquestes respostes, de-

gut bàsicament al fet que hi intervé l'oceà, es poden i se solen donar amb un cert decalatge temporal. Així, les teleconnexions detectades entre el Pacífic tropical i l'Atlàntic tropical poden anar d'entre 2 i 7 mesos –segons els diferents estudis– i arribar en ocasions a ser més llargues en el cas d'Europa i la Mediterrània.

En tercer lloc, el forçament tropical no és continu, sinó que únicament hi ha una activació de la circulació atmosfèrica (i, en conseqüència, de les teleconnexions) a partir del moment que se supera un determinant llinard de temperatura en les SST del Pacífic tropical. Aquesta darrera característica dificulta notablement la seva identificació amb els mètodes de detecció clàssics, que utilitzen el registre instrumental sencer per fer les seves anàlisis o bé «redueixen» la informació en components que «sintetitzen» la informació. Com s'ha vist abans, aquesta darrera aproximació s'ha mostrat inadequada per tractar aquest tipus de senyals transitoris (Rodríguez-Arias i Rodó, 2004).

Com s'ha constatat en diverses ocasions (per exemple, a Hamilton, 1988), s'ha de tenir en compte que la resposta a l'ENSO en regions remotes com Europa o la Mediterrània pot variar d'episodi a episodi, degut en gran mesura a les diferències que ja hi ha en origen entre els diferents esdeveniments (de *El Niño*, per exemple). Aquesta característica pot dificultar el seu ús com a variable predictora del clima peninsular, tot i que la seva gran anticipació pot contrarestar aquests efectes negatius. D'altra banda, també s'ha de tenir en compte que aquesta resposta pot veure's emmascarada per l'elevada variabilitat interna de l'atmosfera a les nostres latituds. Així, a la figura A4.34 es mostra quina és la resposta atmosfèrica al forçament oceànic, durant dos episodis d'*El Niño* (a l'esquerra EN1 indica l'episodi del 1987-88 i a la dreta, EN2, el de 1991-92). Les sigles GPH es refereixen a les alçades geopotencials a 500 mb (*Geopotential Height*) en diferents experiments on es força l'atmosfera bàsicament des de diferents regions oceàniques i

Esdeveniment	Precipitació				Temperatura				Senyal	Descripció climàtica
	LL	D	R	E	LL	D	R	E		
* LNSO 50-51	Tot Catalunya	14	10	↓	Costa	12	10	↑	Sincrònic	Disminució de pluges i increment de temperatura entre agost de 1951 i octubre de 1952.
LNSO 55-56	Interior (costa?)	8	14	↓	-	-	-	-	Només precipitació	Lleugera disminució de les pluges entre agost de 1956 i març de 1957.
w-ENSO 57-58	Interior	7/8	4	↓	Tot Catalunya	8/9	10	↑	Asincrònic (senyal doble)	Disminució de pluges a l'interior de Catalunya entre agost de 1957 i febrer de 1958. Increment de la temperatura i de la sequera entre el desembre de 1957 i la tardor/hivern de 1958.
w-ENSO 65-66	-	-	-	-	Tot Catalunya	14	2	↑	Només temperatura (senyal dinàmic)	Increment de les temperatures i de la sequera entre l'estiu de 1965 i el de 1966. A continuació disminució de les temperatures i del DI durant la tardor i l'hivern següents només a l'interior.
					Interior	4	12	↓		
w-ENSO 72-73	Tot Catalunya	12	6/8	↓	Tot Catalunya	14/15	8	↑	Quasi sincròniques (senyal doble?)	Disminució de la pluja entre el juliol de 1972 i l'estiu de 1973. Increment de la temperatura des de setembre de 1972 a l'hivern de 1973.
LNSO 73-74	Costa i Pirineus	10	12	↓	-	-	-	-	Només precipitació	Disminució de la precipitació a la costa i al Pirineu entre setembre de 1974 i juny de 1975.
w-ENSO 82-83	-	-	-	-	Tot Catalunya	8/9	2	↓	Només temperatura (senyal dinàmic)	Primer té lloc una lleugera disminució de les temperatures entre agost de 1982 i abril de 1983. Posteriorment, a partir de juny i fins a setembre de 1984, hi ha un increment important de les temperatures que provoca, només a la costa, un increment de la sequera.
					Tot Catalunya	14/16	10	↑		
w-ENSO 86-87	-	-	-	-	-	-	-	-	Cap senyal	-
LNSO 88-89	-	-	-	-	Tot Catalunya	12/14	14	↓	Només temperatura	Disminució de les temperatures entre gener de 1990 i la primavera de 1991.
w-ENSO 91-92	Interior i sud	10/12	6	↑	-	-	-	-	Només precipitació (doble?)	Increment de la precipitació a l'interior i al sud entre setembre de 1991 i juliol de 1992. Petita disminució de la precipitació a la costa nord i central entre desembre de 1992 i abril de 1993.
	Costa	5	4	↓						
w-ENSO 94-95	Tot Catalunya	12	22/14	↑	Tot Catalunya	5	12	↑	Quasi sincròniques (doble senyal?)	Increment de la precipitació entre abril de 1995 i febrer de 1996. Increment de la temperatura entre gener i abril de 1996.
w-ENSO 97-98	-	-	-	-	Tot Catalunya	10/12	12	↓	Només temperatura	Disminució de la temperatura entre la primavera i l'hivern de 1998.

Legenda: LL: lloc
 D: durada (en mesos)
 R: retard (en mesos)
 E: efecte
 DI: índex de sequera (de l'anglès *drought index*)
 ↑ : increment
 ↓ : disminució.

Taula A4.1

Font: Rodríguez-Arias i Rodó, 2005

on es poden apreciar les diferències espacials generades entre els dos episodis (com es pot veure, la resposta a Europa i l'àrea mediterrània és clarament significativa en tots els casos, encara que diferent entre episodis i simulacions).

Així es constata, en aquest i altres estudis, que hi ha uns impactes significatius i, per tant, potencialment predictibles dels episodis d'*El Niño* a la nostra àrea geogràfica (Mathieu et al., 2002). Però d'altra banda, aquests estudis també indiquen que aquests impactes poden variar notablement entre episodis i que per afinar en les prediccions dels impactes segons la seva tipologia, hauríem de tenir presents altres regions, a més del Pacífic tropical.

Pel que fa estrictament a Catalunya, i segons el coneixement que tenen els autors d'aquest capítol, no existeix encara cap estudi que abordi l'aparició d'aquest tipus de senyals transitoris en les sèries climàtiques catalanes amb metodologies com les descrites prèviament. Únicament es té constància de la recerca preliminar que l'LRC-PCB va elaborar en aquest sentit, sota finançament del Departament de Medi Ambient, un informe lliurat l'any 2001, on es posaven de manifest els resultats expressats a la Taula A1.4.1 en referència a l'anàlisi dels senyals transitoris i es feia esment de les conclusions que se'n deriven (Rodríguez-Arias i Rodó, 2005).

En un context de canvi climàtic es creu, amb un grau de fiabilitat elevat, que la NAO esdevindrà més profunda i variable en el futur, tot i que no queda clar en quina mesura la seva influència afectarà el clima de Catalunya, en termes globals, a l'hivern. Tampoc no es coneix com poden evolucionar altres moduladors climàtics regionals, com ara l'EA i altres fenòmens originats a les nostres mateixes latituds mitjanes. D'altra banda l'evolució futura de fenòmens tropicals com ara l'ENSO i el monzó africà, que poden tenir una influència discernible sobre la cubeta mediterrània (encara que sigui d'una manera discontinua), també és objecte d'ampli debat

científic. En el cas de l'ENSO, es creu que pot veure incrementada la seva variabilitat a escala interanual a causa de l'escalfament global i del Pacífic tropical en particular (Timmermann, 1999). Es fa palesa, doncs, la necessitat d'incrementar els esforços de recerca en aquest àmbit, tant a nivell analític (per exemple millorant els registres de dades físiques de l'aigua al mar Balear, al d'Alboran, a la zona del corrent d'Algèria i a la cubeta central del Mediterrani Occidental) o bé utilitzant el reescalat estadístic per tal d'apropar les prediccions de canvi global a una escala sinòptica, o fins i tot mitjançant el desenvolupament a mitjà i llarg termini de models climàtics regionals millors, els quals ens haurien de permetre simular més acuradament el clima d'aquesta àrea geogràfica tan complexa que és la Mediterrània. Resulten òbvies, doncs, a tots nivells, les millores socials i econòmiques que derivarien d'aquest increment en el coneixement dels factors que regulen el clima mediterrani.

Referències bibliogràfiques

- ALPERT, P.; BEN-GAI, T.; BAHARAD, A.; BENJAMINI, Y.; YEKUTIELI, D.; COLACINO, M.; DIODATO, L.; RAMIS, C.; HOMAR, V.; ROMERO, R.; MICHAELIDES, S.; MANES, A. (2002). «The paradoxical increase of Mediterranean extreme daily rainfall in spite of decrease in total values». *Geophys. Res. Lett.*, núm. 29, p. 1536.
- BRUNETTI, M.; MAUGERI, M.; NANNI, T. (2000). «Variations of temperature and precipitation in Italy from 1866 to 1995». *Theoretical and Applied Climatology*, núm. 65, p. 165-174.
- CANNELL, M.G.R.; PITCAIRN, C.E.R. (1993). *Impacts of the Mild Winters and Hot Summers in the United Kingdom in 1988-1990*. London: Department of the Environment (HMSO), (154).
- CZAJA, A.; ROBERTSON, A.W.; HUCK, T. (2002) «The role of Atlantic ocean-atmosphere coupling in affecting North Atlantic Oscillation». A: HURRELL, J.W.; KUSHNIR, Y.; OTTERSEN, G.; VISBECK, M. (eds.) *The North Atlantic Oscillation*. En premsa.
- DONG, B.-W.; SUTTON, R.T.; JEWSON, S.P.; O'NEILL, A.; SLINGO, J.M. (2000). «Predictable winter climate in the North Atlantic sector during the 1997-1999 ENSO cycle». *Geophys. Res. Lett.*, núm. 27, p. 985-988.

- EEA (2002). *Annual European Community Greenhouse Gas Inventory 1990-2000 and Inventory Report 2002*. Editors: B. GUGELE; M. RITTER; A. JOL, de l'ETC on Air and Climate Change, European Environmental Agency, Brusel·les.
- ENFIELD, D.B.; D.A. MAYER (1997). «Tropical Atlantic sea surface temperature variability and its relation to ENSO». *J. Geophys. Res.*, núm. 102, p. 929-945.
- FEC (1993). *Biosfera. Els humans en els àmbits ecològics del mon. Planeta viu*. Vol. I. Barcelona: Fundació Enciclopèdia Catalana.
- FORCHHAMMER, M.C.; E. POST; N.C. STENSETH (1997). «Breeding phenology and climate». *Nature*, núm. 391, p. 29-30.
- FRAEDRICH, K.; K. MÜLLER (1992). «Climate anomalies in Europe associated with ENSO extremes». *Int. J. Climatol.*, núm. 12, p. 25-31.
- FRAEDRICH, K. (1994). «An ENSO impact on Europe?». *Tellus*, núm. 46A, p. 541-552.
- FREIBAUER, A. (ed) (2001). *Carboeurope: a cluster of projects to understand and quantify the carbon balance of Europe*. Jena: CarboEurope European Office, Max-Planck-Institute for Biogeochemistry.
- GABALDON, J.E.; F. GAILLARD; T. CARVAL (2002). «Temperature profiles contained in the CORIOLIS database during its first two years (2000-2001)». *CLIVAR Exchanges*, núm. 25, p. 68-71.
- GILLET, N.P.; G.C. HEGERL; M.R. ALLEN; P.A. STOTT (2000). «Implications of changes in the Northern hemisphere circulation for the detection of anthropogenic climate change». *Geophys. Res. Lett.*, núm. 27, p. 993-996.
- GRÖTZNER, A.; M. LATIF; D. DOMMENGET (2000). «Atmospheric response to sea surface temperature anomalies during El Niño 1997/98 as simulated by ECHAM4». *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, núm. 126, p. 2175-2198.
- HAMILTON, K. (1988). «A detailed examination of the extratropical response to tropical El Niño/Southern Oscillation events». *J. Climatol.*, núm. 8, p. 67-86.
- HOUGHTON, J.T. et al. (eds.) (2001). *Climate Change 2001: The scientific basis*. Cambridge: Cambridge University Press.
- HULMÉ, M.; T.J. OSBORN; T.C. JOHNS (1998). «Precipitation sensitivity to global warming: comparison of observations with HadCM2 simulations». *Geophysical Research Letters*, núm. 25, p. 3.379-3.382.
- HURRELL, J.W. (1995). «Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperatures and precipitation». *Science*, núm. 269, p. 676-679.
- HURRELL, J.W.; Y. KUSHNIR; M. VISBECK; G. OTTERSEN (2002). «The North Atlantic Oscillation: A forthcoming American Geophysical Union Monograph». *CLIVAR Exchanges*, núm. 25, p. 73-75.
- IDEA (2000). *Prospectiva energètica y CO₂: escenarios 2010*. Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Ministerio de Ciencia y Tecnología.
- IPCC (2001). *The science of climate change. Contribution on working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- KILADIS, G.N.; H.F. DÍAZ (1989). «Global climatic anomalies associated with extremes in the Southern Oscillation». *J. Climate*, núm. 2, p. 1069-1090.
- KLEIN, S.A.; B.J. SODEN; N.-C. LAU (1999). «Remote sea surface temperature variations during ENSO: evidence for a tropical atmospheric bridge». *J. Climate*, núm. 12, p. 917-932.
- LAMB, P.J.; R.A. PEPPLER (1987). «North Atlantic Oscillation: concept and an application». *Bull. Am. Met. Soc.*, núm. 68, p. 1218-1225.
- LANZANTE, J.R. (1996). «Lag relationships involving tropical sea surface temperatures». *J. Climate*, núm. 9, p. 2568-2578.
- LAU, N.C.; M.J. NATH (2001). «Impact of ENSO on SST variability in the North Pacific and North Atlantic: seasonal dependence and role of extratropical sea-air coupling». *J. Climate*, núm. 14, p. 2846-2866.
- MARIOTTI, A.; N. ZENG; K.M. LAU (2002). «Euro-Mediterranean rainfall and ENSO -a seasonally varying relationship». *Geophys. Res. Lett.*, núm. 29, art. 1.621.
- MATHIEU, P.P.; R. T. SUTTON; B. DONG (2002). «Impact of individual El Niño events on the North Atlantic European region». *CLIVAR Exchanges*, núm. 25, p. 49-51.
- MAY, R. (2001). «Risk and uncertainty». *Nature*, vol. 411, p. 891
- MCCARTHY, J.J. et al. (eds.) (2001). *Climate Change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge: Cambridge University Press.
- MEEHL, G.A.; G.J. BOER; C. COVEY; M. LATIF; R.J. STOUFFER (2000) «The coupled model intercomparison project». *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, núm. 81, p. 313-318.
- MEEHL, G.A.; H. VAN LOON (1979). «The seesaw in winter temperatures between Greenland and northern

- Europe. Part III: teleconnections with lower latitudes». *Mon. Wea. Rev.*, núm. 107, p. 1.095-1.106.
- MERKEL, U.; M. LATIF (2002). «A high resolution AGCM study of the El Niño impact on the North Atlantic/European sector». *Geophys. Res. Lett.*, núm. 29, p. 13.726-13.729.
- MILLY, P.C.; R.T. WETHERALD, K.A. DUNNE; T.L. DELWORTH (2002). «Increasing risk of great floods in a changing climate». *Nature*, núm. 415, p. 514-517.
- MMA (2002). *Greenhouse gas emissions inventories report from Spain, 1990-2000*. madrid: Ministerio de Medio Ambiente.
- NEW, M.; M. HULME; P.D. JONES (1999). «Representing twentieth century space-time climate variability, part 1: development of a 1961-90 mean monthly terrestrial climatology». *Journal of Climate*, núm. 12, p. 829-856.
- ONATE, J.J.; A. POU (1996). «Temperature variations in Spain since 1901: a preliminary analysis». *International Journal of Climatology*, núm. 16, p. 805-815.
- PALMER, T.N.; J. RÄISANEN (2002). «Quantifying the risk of extreme seasonal precipitation events in a changing climate». *Nature*, núm. 415, p. 512-514.
- PARMESAN, C.; N. RYRHOLM; C. STEPHANESCUS; J.K. HILL; C.D. THOMAS; H. DESCIMON; B. HUNTLEY; L. LAILI; K. KULLBERG; T. TAMMARU; W.J. TENNENT; J.A. THOMAS; M. WARREN (1999). «Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming». *Nature*, núm. 399, p. 579-583.
- PHILANDER, S.G. (1998). *Is the temperature rising? The uncertain science of global warming*. Princeton: Princeton University Press.
- PNUMA (2002). *Para comprender el Cambio Climático: Guía Elemental de la Convención Marco de las Naciones Unidas y el Protocolo de Kyoto*. Ginebra: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- PRICE, C.; L. STONE; A. HUPPERT; B. RAJAGOPALAN; P. ALPERT (1998). «A possible link between El Niño and precipitation in Israel». *Geophys. Res. Lett.*, núm. 25, p. 3963-3966.
- QUADRELLI, R.; V. PAVAN; F. MOLTENI (2001). «Wintertime variability of mediterranean precipitation and its links with large-scale circulation anomalies». *Clim. Dyn.*, núm. 17, p. 457-466.
- RIMBU, N.; H. LE TREUT; S. JANICOT; C. BORONEANT; C. LAURENT (2001). «Decadal precipitation variability over Europe and its relation with surface atmospheric circulation and sea surface temperatures». *Q. J. Roy. Met. Soc.*, núm. 127, p. 315-329.
- RODÓ, X. (2001). «Reversal of three global atmospheric fields linking changes in SST anomalies in the Pacific, Atlantic and Indian oceans at tropical latitudes and midlatitudes». *Clim. Dyn.*, núm. 18, p. 203-217.
- RODÓ, X. E.; BAERT; F.A. COMÍN (1997). «Variations in seasonal rainfall in southern Europe during the present century: relationships with the NAO and the ENSO». *Clim. Dyn.*, núm. 13, p. 275-284.
- RODRÍGUEZ-ARIAS, M.A.; X. RODÓ (2004). «A primer on the study of transitory dynamics in ecological series using the scale-dependent correlation analysis». *Oecologia*, núm. 138, p. 485-504.
- RODRÍGUEZ-ARIAS, M.A.; X. RODÓ (2005) «Identification of transitory ENSO forcings on climatological series from Catalunya». *Theor. Appl. Clim. (en revisió)*.
- RODWELL, M.J.; D.P. ROWELL; C.K. FOLLAND (1999). «Oceanic forcing of the wintertime North Atlantic Oscillation and European climate». *Nature*, núm. 398, p. 320-323.
- ROPELEWSKI, C.F.; M.S. HALPERT (1987). «Global and regional precipitation patterns associated with El Niño-Southern Oscillation». *Mon. Wea. Rev.*, núm. 115, p. 1.606-1.626.
- ROMERO, R., C.; RAMIS; J.A. GUIJARRO (1999). «Daily rainfall patterns in the Spanish Mediterranean area: an objective classification». *International Journal of Climatology*, núm. 19, p. 95-112.
- SÁENZ, J.; J. ZUBILLAGA; C. RODRÍGUEZ-PUEBLA (2001). «Interannual variability of winter precipitation in northern Iberian Peninsula». *Int. J. Climatol.*, núm. 21, p. 1.503-1.513.
- SANTOLERI, R.; E. BÖHM; M.E. SCHIANO (1995). «The sea surface temperature of the western Mediterranean sea: historical satellite thermal data». *Am. Geophys. Union*. p. 155-176.
- SCHNUR, R. (2002). «The investment forecast». *Nature*, núm. 415, p. 483-484.
- SYKES, M.T.; I.C. PRENTICE (1996). «Climate change, tree species distributions and forest dynamics: a case study in the mixed conifer/northern hardwoods zone of Northern Europe». *Climatic Change*, núm. 34, p. 161-177.
- THOMPSON, D.W.J.; J. M. WALLACE (1998). «The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopoten-

tial height and temperature fields». *Geophys. Res. Lett.*, núm. 25, p. 1.297-1.300.

TIMMERMANN, A.; J. OBERHUBER; A. BACHER; M. ESCH; M. LATIF; E. ROECKNER (1999). «Increase El Niño frequency in a climate model forced by future greenhouse warming». *Nature*, núm. 398, p. 694-697.

TUOMENVIRTA, H.; H. ALEXANDERSSON; A. DREBS; P. FRICH; P.O. NORDLI (1998). «Trends in Nordic and Arctic Extreme Temperatures». *DNMI Report No. 13/98*. Oslo: Norwegian Meteorological Institute.

VAN OLDENBORGH, G.J.; G. BURGERS; A. KLEIN-TANK (2000). «On the El Niño teleconnection to spring precipitation in Europe». *Int. J. Climatol.*, núm. 20, p. 565-574.

VALENTINI, R.; H. DOLMAN; P. CIAIS; E.D. SCHULZE; A. FREIBAUER; D. SCHIMEL; M. HEIMANN (2000). «Accounting for carbon sinks in the Biosphere,

European perspective». *Scientific note to articles 3.3, 3.4 and 12 of the Kyoto Protocol*. Jena: Carboeurope European Office, M.P.I. for Biogeochemistry.

XOPLAKI, E.; J.F. GONZÁLEZ-ROUCO; J. LUTERBACHER; H. WANNER (2003). «Mediterranean summer air temperature variability and its connection to the large-scale atmospheric circulation and SSTs». *Clim. Dyn.*, núm. 20, p. 723-739.

YAKIR, D.; S. LEV-YADUN; A. ZANGVIL (1996). «El Niño and tree ring growth near Jerusalem over the last 20 years». *Glob. Change Biol.*, núm. 2, p. 97-101.

ZORITA, E.; V. KHARIN; H. VON STORCH (1992). «The atmospheric circulation and sea surface temperature in the North Atlantic area in winter: their interaction and relevance for Iberian precipitation». *J. Clim.*, núm. 5, p.1.097-1.108.

A5. Estimació de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle produïts a Catalunya durant el període 1990-2001

Dr. José María Baldasano Recio

René Parra Narváez

Eugeni López Vañó

José Maria Baldasano Recio (Madrid, 1950) és doctor en Ciències Químiques per la Universitat de Barcelona (UB), enginyer químic per l'Institut National Polytechnique de Tolosa (França) i *Master on Science* en Enginyeria Química per la Universitat de Sherbrooke (Québec, Canadà). Actualment és catedràtic en Enginyeria Ambiental a la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) i responsable del programa de Doctorat en Enginyeria Ambiental des de 1986.

Les seves activitats de R+D estan orientades a la modelització ambiental, la gestió de residus i els estudis d'impacte ambiental. És consultor del PNUMA en residus i del Grup Intergovernamental d'Experts en Canvi Climàtic (IPCC) en inventaris d'emissions. És autor de més de 175 articles i publicacions, i coeditor de 8 llibres. Va ser guardonat amb el Premi «Rey Jaime I» de Protecció del Medi Ambient l'any 1997.

René Parra Narváez (Cuenca, Equador, 1966) és enginyer civil per la Universitat de Cuenca (Equador) (1990). És màster en Enginyeria i Prevenció Ambiental per l'Institut de Tecnologia i Modelització Ambiental (ITEMA) de la UPC (1998). És doctor en Enginyeria Ambiental pel Departament de Projectes d'Enginyeria de la UPC. La seva tesi doctoral està relacionada amb el desenvolupament del model d'emissions EMICAT 2000 per a l'obtenció d'inventaris de contaminants de l'aire a Catalunya i la seva posterior explotació en models de dispersió fotoquímica.

Eugeni López Vañó (Barcelona, 1971) és enginyer en Telecomunicacions per la UPC (1996) i Màster en Teledetecció per l'Institut d'Estudis Espacials de Catalunya (1997). Des de l'any 2000 treballa com a enginyer de suport a la recerca al Laboratori de Modelització Ambiental del Departament de Projectes d'Enginyeria de la UPC, on és responsable del Sistema d'Informació Geogràfica, eina imprescindible per als estudis d'impacte ambiental i per als inventaris d'emissions, així com també de les bases de dades i el manteniment del programari científic i el maquinari del laboratori.

Síntesi	159
A5.0. Introducció	161
A5.1. La metodologia de l'IPCC	162
A5.1.1. Població i PIB	
A5.1.2. Energia	
A5.1.3. Processos industrials	
A5.1.3.1. Productes minerals	
A5.1.3.2. Indústria química	
A5.1.3.3. Metal·lúrgia	
A5.1.3.4. Producció i consum d'halocarburans i hexafluorur de sofre	
A5.1.4. Ús de dissolvents i altres productes	
A5.1.5. Agricultura	
A5.1.5.1. Fermentació entèrica i gestió de residus ramaders	
A5.1.5.2. Cultiu d'arròs	
A5.1.5.3. Sòls agrícoles	
A5.1.6. Canvis d'usos del sòl i activitats forestals	
A5.1.7. Residus	
A5.1.7.1. Disposició de residus sòlids al sòl	
A5.1.7.2. Gestió d'aigües residuals urbanes	
A5.2. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a Catalunya	175
A5.3. Discussió dels resultats	181
Referències bibliogràfiques	186

Síntesi

Amb l'adopció del Protocol de Kyoto el 1997, 38 països es comprometeren a reduir el total de les seves emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (GEH) en no menys d'un 5% respecte a les corresponents a l'any 1990, durant el període comprès entre l'any 2008 i el 2012. En la negociació i posterior aprovació del protocol, la Comunitat Europea va assumir el compliment d'una reducció global del 8% de les seves emissions totals de diòxid de carboni (CO₂), metà (CH₄), òxid nitrós (N₂O), hidrofluorcarburs (HFCs), perfluorcarburs (PFCs) i hexafluorur de sofre (SF₆) (expressades en unitats de CO₂ equivalent).

Aquest compromís global es basà en un repartiment de les càrregues d'emissió entre els 15 països integrants de la Comunitat Europea en aquell any, d'acord amb l'anàlisi denominat «*burden sharing*», que assignà a l'Estat espanyol un increment de les emissions de fins un 15% per al període 2008-2012.

Els inventaris d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (GEH) tenen un paper molt important dins dels objectius ambientals del Conveni Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic i del Protocol de Kyoto. Aquests inventaris han de ser transparents, ben documentats, consistents i comparables entre ells.

És per aquest motiu que el Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (IPCC) ha desenvolupat un conjunt de guies tècniques que incorporen una metodologia de càlcul i comunicació de resultats que han de seguir les parts per a la presentació oficial de les seves emissions de GEH.

Com a primera alternativa l'IPCC proposa l'ús de metodologies relativament simples (*Tier I*), que es basen en la utilització de factors d'emissió

i de les activitats associades que produeixen les emissions, o en el cas de ser viable, l'aplicació de models de càlcul amb major grau de complexitat (*Tier II*).

La metodologia IPCC diferencia la contribució de les categories següents (IPCC, 1996):

- 1) Energia
- 2) Sector industrial
- 3) Ús de solvents i altres productes
- 4) Agricultura
- 5) Canvis en els usos del sòl i activitats forestals
- 6) Residus.

Cadascun d'aquests sectors es divideix en subsectors, segons la seva importància relativa en el cas de Catalunya. Tots ells han estat considerats per a la valoració de les emissions.

L'ús de combustibles fòssils en el sector energètic normalment constitueix la principal categoria d'emissió de CO₂. Dins del subsector del consum de combustibles s'inclouen les indústries de generació d'energia elèctrica, les refineries de petroli, el sector industrial (en la seva vessant com a consumidor d'energia), el consum directe de combustibles fòssils en el transport i els sectors comercial / institucional, residencial i primari. S'inclouen també les emissions generades per la incineració de residus amb aprofitament energètic.

Les emissions del sector industrial es refereixen exclusivament a les emissions atribuïdes a la part del procés industrial pròpiament, no a la part atribuïble al consum d'energia (considerat ja anteriorment).

L'IPCC estableix, en ordre general de prioritat decreixent, els inventaris dels següents gasos:

- 1) CO₂ emès en la transformació d'energia
- 2) CO₂ generat pels canvis en els usos del sòl
- 3) CH₄ que prové de fonts com: la producció d'arròs, extracció de carbó mineral, petroli i gas natural, fermentació entèrica, fems de bestiar i dipòsits controlats;
- 4) N₂O d'activitats agrícoles
- 5) Altres gasos amb efecte d'hivernacle

Per tal d'analitzar en conjunt les emissions de CO₂, CH₄ i N₂O, es calculen les emissions en unitats de CO₂ equivalent, considerant que el CH₄ i el N₂O tenen un potencial d'escalfament global (*Global Warming Potential*) de 23 i 296 vegades el del CO₂, respectivament, (IPCC, 2001), durant un període de 100 anys.

Aquest capítol presenta l'aplicació d'aquesta metodologia de l'IPCC a Catalunya i els resultats

obtinguts pel període 1990-2001. L'any 1990 es van comptabilitzar un total de 36.332 Gg de CO₂ equivalent, valor que s'ha incrementat a 57.337 Gg de CO₂ equivalent l'any 2001, la qual cosa representa un increment del 57,8%. D'aquest volum de gasos emesos, un 72% de les emissions correspon al consum de combustibles fòssils, un 12% a les activitats agrícoles, el 8% a les activitats industrials de producció i el 8% restant a la gestió de residus.

L'emissió de CO₂ equivalent per càpita a Catalunya durant l'any 2001, estimada en 9,0 t hab⁻¹ correspon a un valor mitjà respecte als valors indicats per l'Organització de les Nacions Unides per als països rics i per als països amb ingressos mitjans. Es preveu que aquest valor augmentarà cap a l'any 2010, en funció de l'escenari creixent de consum energètic esperat a Catalunya.

A5.0. Introducció

Amb l'adopció del Protocol de Kyoto, el desembre de 1997, un total de 38 estats es van comprometre a reduir les seves emissions de GEH en un 5% respecte a les corresponents a l'any 1990 entre l'any 2008 i el 2012. La Comunitat Europea va assumir el compliment d'una reducció global del 8% de les seves emissions totals de diòxid de carboni (CO₂), metà (CH₄), òxid nitrós (N₂O), hidrofluorocarburs (HFCs), perfluorocarburs (PFCs) i hexafluorur de sofre (SF₆) (expressades en unitats de CO₂ equivalent). Aquest compromís es basà en un repartiment de les càrregues d'emissió entre els 15 Estats Membres de la Unió Europea, d'acord amb l'anàlisi denominat *burden sharing*, que assignà a l'Estat espanyol un increment de les emissions de fins un 15% en aquest mateix període.

En aquest sentit, i en el context del *Conveni Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic* (CMNUCC), els estats signataris es comprometeren a elaborar, actualitzar periòdicament, publicar i facilitar els inventaris nacionals de les emissions antropogèniques de gasos amb efecte d'hivernacle així com l'estimació de la seva absorció (no controlada pel Protocol de Montreal) pels seus embornals. En aquesta elaboració s'utilitzen metodologies de càlcul comparables, elaborades i publicades pel Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (IPCC).

Un inventari d'emissions es pot definir com la compilació de les estimacions de les emissions cap a l'atmosfera que es produeixen en una zona geogràfica determinada, durant un període de temps establert, ja sigui passat, present o futur. El model bàsic de càlcul es fonamenta amb el producte de com a mínim dues variables:

- 1) La quantitat d'activitat productora d'emissions.
- 2) El factor d'emissió propi per a aquesta activitat.

La dada més recent sobre el comportament de les emissions de l'Estat espanyol que es presenta a la pàgina web de l'Agència Europea del Medi Ambient (<http://www.eea.eu.int/>, juliol de 2003), indica que les emissions de l'any 2001 (382,8 milions de t CO₂ equivalent) són un 32,1% superiors a les de l'any 1990 (289,9 milions de t CO₂ equivalent). Això vol dir més del doble del percentatge establert com a objectiu per a l'any 2010 (15%).

Les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle tenen relació directa amb l'ús de combustibles fòssils en la producció d'energia elèctrica, en les activitats industrials, el transport; les activitats dels sectors primari, secundari i terciari; la gestió dels recursos forestals i dels residus. Atès que totes aquestes activitats o àmbits tenen una vinculació molt directa amb el model de desenvolupament socio-econòmic de qualsevol territori, el

compliment dels compromisos de Kyoto podria afectar el seu creixement en cas que no es disposi d'una política clara, efectiva i decidida que impliqui un canvi important en els hàbits de consum, conjuntament amb altres activitats com la promoció de l'ús de tecnologies energèticament més eficients, de fonts d'energia renovables o els sistemes de transport massiu. Una opció important hauria de ser la conscienciació ciutadana que és necessari reduir els nivells de consum. No obstant això, aquest enfocament normalment no es considera en primera instància, i es prefereix cercar alternatives (com algunes de les esmentades), esperant que el consum de recursos energètics i naturals sempre vagi creixent amb el temps.

El mateix Protocol de Kyoto considera determinats mecanismes nous destinats a facilitar el compliment dels compromisos adquirits pels Estats que l'han signat i ratificat, com ara el comerç d'emissions, mitjançant el qual les parts podran transferir o adquirir part de les quantitats atribuïdes a altres, aconseguint així reduir o augmentar el seu nivell permès d'emissions.

Per això mateix, és indiscutible la importància dels inventaris d'emissió dins del marc de la CMNUCC i del Protocol de Kyoto, ja que prenent com a base aquesta informació es determina el grau de compliment de les parts en matèria d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. A causa de la complexitat tècnica de la seva estimació, l'IPCC ha invertit molts recursos en l'elaboració i contínua actualització de les seves guies metodològiques (IPCC, 1995, 1996, 2000), que tenen com a objectiu l'elaboració d'inventaris d'emissions que, en la mesura del possible, siguin transparents, documentats, consistents i comparables. Actualment constitueixen els documents guies oficials de referència tècnica per a l'elaboració dels inventaris d'emissions nacionals per ser aplicats dins del context de la CMNUCC i del Protocol de Kyoto.

En l'àmbit de Catalunya, i amb l'objectiu d'analitzar la seva actual situació en matèria d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, així com el grau de participació dels diferents sectors d'emissió, es necessita un inventari d'emissions (seguint la metodologia IPCC) com a base per a establir la pròpia política de gestió amb relació al canvi climàtic i la seva participació a escala nacional i internacional.

Aquest apartat de l'estudi sobre els efectes del canvi climàtic a Catalunya presenta la valoració de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle al nostre país en el període 1990-2001 aplicant la metodologia de l'IPCC. Les estimacions estan basades en dades estadístiques confirmades de les activitats emissores i factors d'emissió proposats pel mateix IPCC (IPCC, 1996, 2000).

Encara que l'IPCC demanda que els Estats Participants del Protocol de Kyoto també presentin l'estimació de les emissions d'altres gasos contaminants (monòxid de carboni, òxids de nitrogen, diòxids de sofre i compostos orgànics volàtils), aquest capítol està centrat exclusivament en els gasos amb efecte d'hivernacle apuntats a l'inici d'aquesta introducció.

D'aquesta manera, es descriu el comportament dels graus d'activitat durant el període 1990-2001 de cada sector d'emissió, les hipòtesis de càlcul i les fonts de consulta per a l'estimació de les emissions dels gasos amb efecte d'hivernacle. Un cop fet això es presenten i analitzen els resultats obtinguts. Finalment s'inclou una discussió de la metodologia i del significat dels resultats, així com de les fonts de consulta utilitzades. L'estimació arriba fins l'any 2001, ja que, és l'últim any del qual es disposa de dades estadístiques publicades fiables.

A5.1. La metodologia de l'IPCC

A l'hora de calcular les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle s'ha utilitzat el *software* desenvolupat per l'IPCC (<http://www.ipcc.ch>, juny de 2003), que s'estructura amb fulls de càlcul excel enllaçats amb macros i inclou directament el format requerit per a la presentació dels resultats.

Amb l'objectiu de fomentar l'ús generalitzat d'una metodologia de càlcul comuna, l'IPCC inicialment desenvolupà els documents *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (1995), que més tard es van substituir pels «*Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*» (IPCC, 1996) i van ser complementats amb les guies *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories* (IPCC, 2000). L'IPCC estableix, en ordre general de prioritat decreixent, els inventaris dels gasos següents:

- CO₂ emès en la transformació d'energia
- CO₂ generat pels canvis en els usos del sòl
- CH₄ que prové, entre d'altres, de la producció d'arròs, l'extracció de carbó mineral, petroli i gas natural, la fermentació entèrica, els fems de bestiar i els dipòsits controlats de residus
- N₂O d'activitats agrícoles
- Altres gasos amb efecte d'hivernacle.

Com a primera alternativa l'IPCC proposa l'ús de metodologies relativament simples (*Tier I*), que es basen en la utilització de factors d'emissió i de les activitats associades que produeixen les emissions, o en el cas de ser viable, l'aplicació de models de càlcul amb major grau de complexitat (*Tier II*).

La metodologia IPCC diferencia la contribució de les següents categories (IPCC, 1996):

- 1) Energia
- 2) Sector industrial
- 3) Ús de solvents i altres productes
- 4) Agricultura
- 5) Canvis d'usos del sòl i activitats forestals
- 6) Residus.

Cadascun d'aquests sectors es divideix en subsectors segons la seva importància relativa en el cas de Catalunya. Tots ells han estat considerats en la valora-

ció de les emissions, tot i que la llista de subsectors que presenta l'IPCC és més extensa que la considerada en aquest estudi.

A5.1.1. Població i PIB

La població de Catalunya ha assolit, actualment, més de sis milions i mig d'habitats, dels quals aproximadament el 70% resideix dins de l'Àrea Metropolitana de Barcelona. L'activitat industrial de Catalunya és una de les més importants de l'Estat espanyol. Aquests dos aspectes impliquen que les emissions antropogèniques (com el transport, la generació d'energia i les activitats industrials) siguin molt significatives. La figura A5.1 resumeix les dades de la població existent durant els anys 1990-2001, obtinguts dels anuaris de l'Institut d'Estadística de Catalunya.

La figura A5.2 mostra l'evolució del Producte Interior Brut per càpita (*PIB*) (a preus de mercat). Els valors dels anys 1995 a 2001 es van obtenir dels anuaris del IDESCAT. El valor de l'any 1991 es va obtenir del document *Xifres de Catalunya 2003* (IDESCAT, 2003). Per als anys 1990, 1992, 1993 i 1994 s'han estimat els valors mitjançant interpolació (extrapolació) lineal. Per a l'any 1990, el PIB per càpita s'estima en 9.292 euros per habitant i s'incrementa fins a 20.146 euros per habitant per a l'any 2001 (increment del 116,8%).

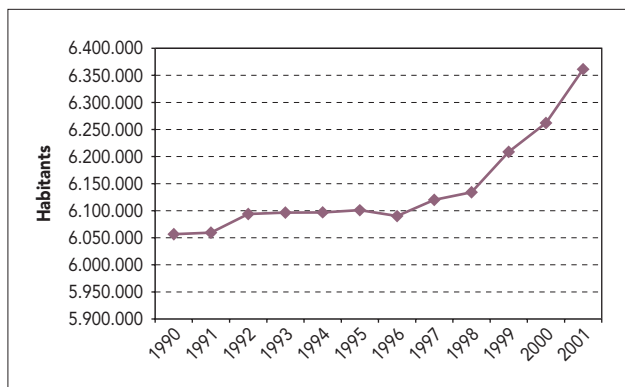


Figura A5.1. Evolució de la població de Catalunya durant el període 1990-2001.
Font: Institut d'Estadística de Catalunya.

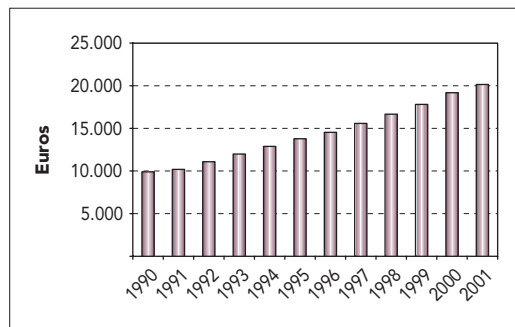


Figura A5.2. Variació del producte interior brut per càpita de Catalunya durant el període 1990-2001.

Font: Institut d'Estadística de Catalunya.

A5.1.2. Energia

L'energia constitueix, habitualment i amb diferència, la principal font d'emissió de CO₂. Quan es produeix la ignició completa d'un combustible fòssil, els gasos que resulten d'aquesta reacció són el CO₂ i el vapor d'aigua. A la pràctica, els processos de combustió són incomplets, en major o menor grau, a causa de factors com la falta d'oxigen, la manca d'homogeneïtat dels combustibles, una mescla insuficient entre l'oxigen i el combustible, les baixes temperatures de combustió o uns temps de residència curts. La combustió incompleta implica la generació de gasos com el monòxid de carboni o la presència de compostos orgànics volàtils.

Dins del subsector del consum de combustibles s'inclouen les indústries de generació d'energia elèctrica, les refineries de petroli, el sector industrial (en la seva vessant com a consumidor d'energia), el transport i els sectors comercial / institucional, residencial i primari. S'inclouen també les emissions generades per la incineració de residus amb aprofitament energètic.

Les emissions de CO₂ s'estimen considerant el seu contingut de carboni. En aquest sentit, l'IPCC diferencia els combustibles primaris (aquells que es troben directament en la naturalesa: carbó, petroli, gas natural) i els combustibles secundaris (aquells obtinguts a partir dels primaris tal com la gasolina o el gasoil).

Per una part, l'IPCC sol·licita el càlcul de les emissions de CO₂ atribuïbles al subministrament (consum aparent) de combustibles primaris i secundaris (*reference approach*) i, per l'altra, el càlcul de les emissions per al consum en cadascun dels subsectors (*sectoral approach*). L'enfocament *reference approach* s'inclou en els resums anuals condensats fonamentalment amb un propòsit verificatori, mentre que es dona prioritat als càlculs efectuats per subsectors (*sectorial approach*), que són els valors finalment vàlids per a la presentació oficial dels inventaris d'emissions.

L'IPCC requereix que en el formulari del resum anual de les emissions s'explicitin les diferències potencials que hi ha entre les valoracions obtingudes a través dels dos enfocaments. S'ha d'especificar que en el *reference approach* no s'inclou l'aprofitament energètic de residus, que sí està considerat en el *sectoral approach*. Això fa que normalment s'hagi d'esperar que aquest últim presenti valors lleugerament superiors al primer, com succeeix en el cas de Catalunya.

Dins de l'enfocament *reference approach*, el subministrament (consum aparent) per combustible s'estableix mitjançant l'equació (1):

$$CA = A + B - C - D - E \quad (1)$$

- CA: subministrament (consum aparent) de combustible
- A: quantitat produïda (extreta de la naturalesa) del combustible primari
- B: quantitat de combustible primari o secundari importat
- C: quantitat de combustible primari o secundari exportat
- D: quantitat de combustible utilitzat per al transport internacional aeri i internacional marí
- E: increment o decreixement en les reserves de combustible.

Del consum aparent de combustible es resta el carboni emmagatzemat en aquella fracció del

combustible fòssil emprat amb finalitats no energètiques, obtenint els valors del carboni net d'emissió. Tot seguit d'aplicar coeficients per estimar la fracció efectiva de carboni oxidat, es valoren finalment les emissions de CO₂. Cal destacar, tanmateix, que tal i com es dedueix de l'equació (1), la metodologia proposada per l'IPCC no inclou en el còmput oficial les emissions atribuïbles al tràfic marí i aeri internacional.

En el cas de Catalunya es van utilitzar els balanços energètics dels anys 1990-1997. S'ha constatat que la publicació d'aquests balanços porta alguns anys de retard respecte als anuaris estadístics del IDESCAT. Així, en l'anuari de l'any 2002, el resum del balanç més actualitzat que es presenta correspon a l'any 1997. En el cas del període 1998-2001 es van elaborar balanços provisionals utilitzant la informació que va servir de base per a estimar les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle de l'Escenari IER contemplat en el *Pla de l'Energia a Catalunya en l'horitzó de l'any 2010* (DICT, 2002). Aquest escenari promou de manera significativa les tecnologies d'estalvi i eficiència energètica, així com la utilització de les energies renovables.

Cal remarcar que aquests balanços s'elaboren seguint la metodologia EUROSTAT, que exclou el consum marítim (tant nacional com estranger) i inclou el consum total de les aeronaus (tant de vols nacionals com internacionals). Aquest aspecte implica una diferència amb els criteris de l'IPCC, però es considera que el seu efecte no és important en l'estimació global de les emissions.

Els balanços d'energia dels anys 1990-1997 presenten valors globals per a la categoria «transport» (que inclouria el tràfic rodat, tràfic aeri total i ferrocarrils, però no el marítim). Presenten un sol valor global per a les categories domèstic, serveis i primari, amb el que no es pot presentar un càlcul diferenciat per a aquests sectors. Aquests balanços presenten la següent agrupació de combustibles (es disposa del valor total d'aquests combustibles i del grup al que correspon):

- Lignit
- Altres carbons: hulla + antracita + altres carbons
- GLP i altres gasos de petroli: GLP + gas de refinaria
- Productes lleugers: gasolina + nafta + gasoils + querosens
- Productes pesats: fueloils
- Altres productes: coc de petroli + asfalts
- Gas natural
- Gas manufacturat.

Per als balanços dels anys 1998-2001 fou possible comptar amb informació més detallada (diferenciant el consum atribuïble al sector domèstic, al primari i dels serveis), encara que no es va poder desagregar el consum energètic per tràfic aeri nacional i internacional, ni tampoc aconseguir el detall requerit per l'IPCC per al sector del transport.

Els principals sectors de consum de combustibles fòssils que formen part dels balanços d'energia s'agrupen de la manera següent:

- *Transformació d'energia*: inclou els combustibles fòssils destinats a la generació d'energia elèctrica, tant pel que fa a centrals de generació públiques, com a centrals d'autoproducció.
- *Consum propi de les indústries del sector energètic*: comprèn l'energia emprada dins dels propis centres de transformació d'energia per al seu funcionament.
- *Pèrdues en el transport i la distribució*: comprèn les emissions directes cap a l'atmosfera de gas natural i gas manufacturat, com a conseqüència de les activitats de distribució per mitjà de la xarxa de gasoductes.
- *Utilització amb finalitats no energètiques*: fa referència a la utilització dels combustibles fòssils com a matèria primera en el sector industrial, de manera que el seu carbó forma part dels productes elaborats (no hi ha emissions a causa de la combustió).

- *Consum final*: comprèn l'ús de combustibles amb finalitats energètiques en els sectors industrial, transport (públic i privat, tràfic vehicular i aeri), domèstic, primari i serveis.

Les taules A5.1 A5.2 i la figura A5.3 mostren l'evolució anual del consum de combustibles fòssils per sectors a Catalunya durant el període 1990-2001. Prenent com any de referència l'any 1990, l'any 2001 hi va haver un increment del 46% en el consum de combustibles fòssils. Cal destacar l'increment del percentatge que correspon al sector energètic, que d'un 5,8% l'any 1990 augmenta fins un 11,4% l'any 2001. Aquest increment contrasta amb la disminució dels percentatges dels sectors de consum no energètic i indústries, els valors dels quals passen de 24,7 i 21,2; a 16,1 i 18,2% respectivament. En el sector del transport hi hagué un augment del percentatge de consum de combustibles fòssils del 29,2 al 33,3%.

Per valorar les emissions de CO₂, CH₄ i N₂O atribuïbles als processos de combustió es van utilitzar els factors d'emissió proposats per l'IPCC (IPCC, 1996).

En l'aprofitament energètic dels residus sòlids urbans, s'ha suposat que el 40% de la generació elèctrica correspon a carboni fòssil; és a dir, s'assumeix que el 60% de les emissions de CO₂ corresponen a l'oxidació de carboni orgànic biodegradable que, segons les directives establertes per l'IPCC, no han de formar part del còmput oficial de les emissions.

Les emissions fugitives constitueixen abocaments cap a l'atmosfera inherents a operacions com l'extracció i la manipulació de carbó; l'extracció, el transport, el refinament i l'emmagatzematge de petroli; i l'extracció, el transport i la distribució de gas natural. Dins d'aquesta categoria s'inclouen les emissions directes de gas natu-

Any	Transformació a energia elèctrica	Consum propi	Pèrdues	Consum no energètic	Indústries	Transport	Domèstic primari serveis	Total	Variació respecte l'any 1990 (%)
1990	650	802	68	2.775	2.380	3.282	1.282	11.238	-
1991	634	772	36	2.896	2.369	3.483	1.499	11.689	4
1992	784	784	27	3.002	2.274	3.459	1.481	11.811	5
1993	507	872	62	3.473	2.165	3.520	1.548	12.147	8
1994	595	868	29	3.541	2.364	3.745	1.507	12.650	13
1995	752	910	68	3.610	2.521	4.045	1.519	13.426	19
1996	940	885	68	3.819	2.658	4.309	1.749	14.427	28
1997	1.347	882	45	3.622	2.755	4.520	1.698	14.869	32
1998	1.358	1237	70	2.469	2.810	4.827	1.812	14.583	30
1999	1.561	1.240	77	2.627	2.845	5.075	1.922	15.347	37
2000	1.654	1.207	84	2.520	2.937	5.185	2.019	15.606	39
2001	1.863	1.251	92	2.636	2.974	5.458	2.105	16.378	46

Taula A5.1. Evolució del consum de combustibles fòssils per sectors a Catalunya durant el període 1990-2001 (en ktep).
Font: elaboració pròpia.

Any	Transformació a energia elèctrica	Consum propi	Pèrdues	Consum No energètic	Indústries	Transport	Domèstic primari serveis	Total
1990	5,8	7,1	0,6	24,7	21,2	29,2	11,4	100
1991	5,4	6,6	0,3	24,8	20,3	29,8	12,8	100
1992	6,6	6,6	0,2	25,4	19,3	29,3	12,5	100
1993	4,2	7,2	0,5	28,6	17,8	29,0	12,7	100
1994	4,7	6,9	0,2	28,0	18,7	29,6	11,9	100
1995	5,6	6,8	0,5	26,9	18,8	30,1	11,3	100
1996	6,5	6,1	0,5	26,5	18,4	29,9	12,1	100
1997	9,1	5,9	0,3	24,4	18,5	30,4	11,4	100
1998	9,3	8,5	0,5	16,9	19,3	33,1	12,4	100
1999	10,2	8,1	0,5	17,1	18,5	33,1	12,5	100
2000	10,6	7,7	0,5	16,1	18,8	33,2	12,9	100
2001	11,4	7,6	0,6	16,1	18,2	33,3	12,9	100

Taula A5.2. Evolució del consum de combustibles fòssils per sectors a Catalunya durant el període 1990-2001 (en percentatges)
 Font: elaboració pròpia.

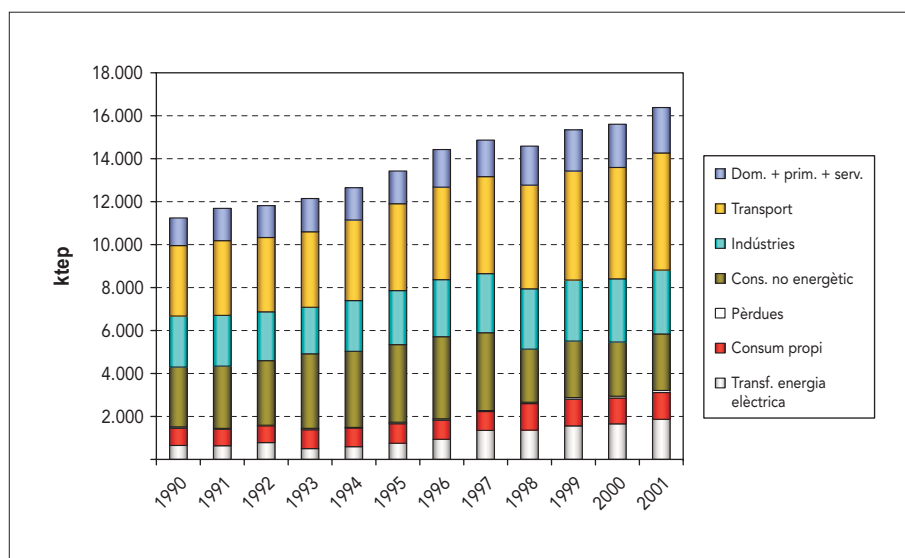


Figura A5.3. Evolució en el consum de combustibles fòssils per sectors a Catalunya durant el període 1990-2001.
 Font: elaboració pròpia.

ral cap a l'atmosfera, que es presenten a l'apartat de «pèrdues en el transport i distribució» dels balanços anuals d'energia. La figura A5.4 mostra l'evolució per a les activitats de refinament de petroli a Catalunya per al període 1990-2001.

A5.1.3. Processos industrials

D'acord amb la metodologia proposada per l'IPCC, s'han considerat els següents subsectors:

- 1) Productes minerals
- 2) Indústria química
- 3) Metal·lúrgia
- 4) Producció d'halocarburs i hexafluorur de sofre
- 5) Consum d'halocarburs i hexafluorur de sofre.

Aquestes emissions es refereixen exclusivament a les que es poden atribuir a la part del procés industrial pròpiament dit, no a la part corresponent al consum d'energia (considerat en l'apartat anterior).

A5.1.3.1. Productes minerals

La taula A5.3 recull els productes minerals considerats, a més dels contaminants produïts, les

fonts d'obtenció de dades i els factors d'emissió utilitzats. La figura A5.5 mostra l'evolució de la producció de ciment i calç viva durant el període 1990-2001.

La fabricació de ciment és una de les fonts no energètiques més importants d'emissió de CO₂, que es forma durant l'elaboració del *clínker* (un producte intermedi a partir del qual s'elabora el ciment). Després de triturar la roca calcària (que té un alt percentatge de carbonat de calci CaCO₃) s'introdueix dins de forns a elevada temperatura, generant òxid de calci (CaO) i CO₂, seguint el procés descrit a l'equació (2):



A continuació s'afegeixen silicats al CaO (o calç viva) i es retira la mescla del forn perquè pugui refredar-se i, posteriorment, pugui ser polvoritzada. En aquesta operació s'afegeixen determinades quantitats de guix per formar el que es coneix com a ciment *portland*.

El factor d'emissió de 0,62 tones de CO₂ per tona de ciment produït s'ha obtingut mitjançant

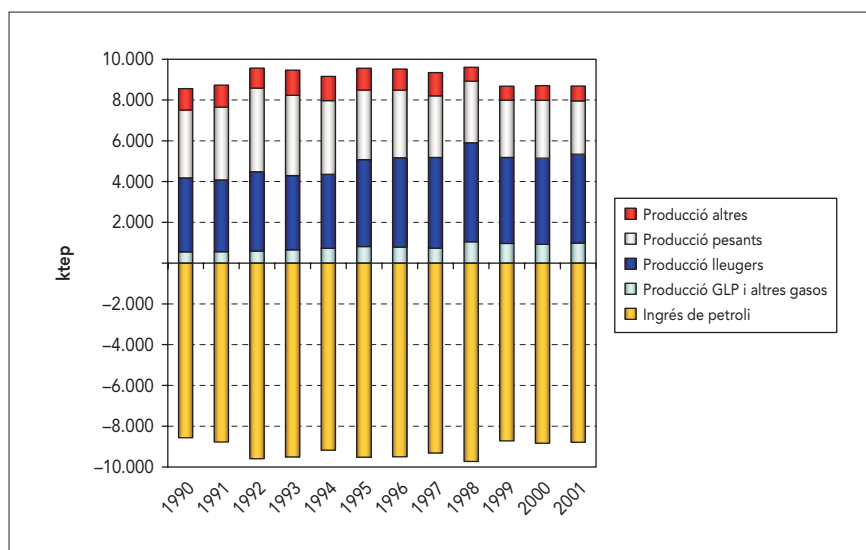


Figura A5.4. Refinament de petroli a Catalunya durant el període 1990-2001.

Font: elaboració pròpia.

Producte	Contaminant	Dada de producció		Factor d'emissió	
		Període	Font	Valor	Unitat
Ciment	CO ₂	1990-2001	IDESCAT	0,62	t CO ₂ t ⁻¹ ciment produït
Calç viva	CO ₂	1990-2001	ANCADE (1)	0,79	t CO ₂ t ⁻¹ calç viva produïda

(1) ANCADE: Asociación Nacional de Fabricantes de Cales y Derivados de España.

Taula A5.3. Productes minerals, contaminants, fonts d'informació i factors d'emissió.
Font: elaboració pròpia

l'expressió proposada per l'IPCC (IPCC, 1996), assumint que la fracció de calç és de 0,79.

A5.1.3.2. Indústria química

Dins d'aquest subsector es consideren les emissions atribuïdes a la fabricació d'amoniac, de CO₂, d'àcid nítric, d'òxid nítrós (N₂O), d'etilè i de metà (CH₄). La figura A5.6 indica l'evolució d'aquests productes a Catalunya durant el període 1990-2001. Les dades de producció d'amoniac provenen dels anuaris de l'IDESCAT, les d'àcid nítric d'Ercros, i les de l'etilè de Repsol/Dow.

A5.1.3.3. Metal·lúrgia

Es consideren les emissions de CO₂ a causa de l'obtenció de ferro i/o acer. Les dades de producció dels anys 1995-2000 s'han obtingut dels anuaris de l'IDESCAT. Per als anys 1990-1994 es va assumir el valor de producció de l'any 1994. El valor de l'any 2001 es va estimar en base al registre de l'any 2000 amb una taxa de creixement igual a l'esperada per al PIB català (DICT, 2002). La figura A5.7 mostra l'evolució de la producció de ferro i/o acer en el període 1990-2001.

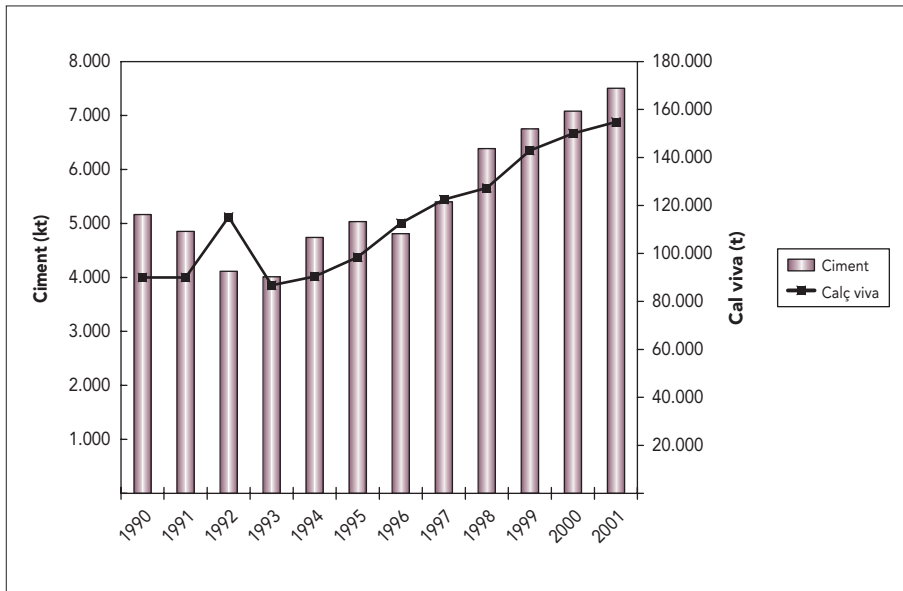


Figura A5.5. Producció de ciment portland i calç viva a Catalunya en el període 1990-2001.
Font: elaboració pròpia.

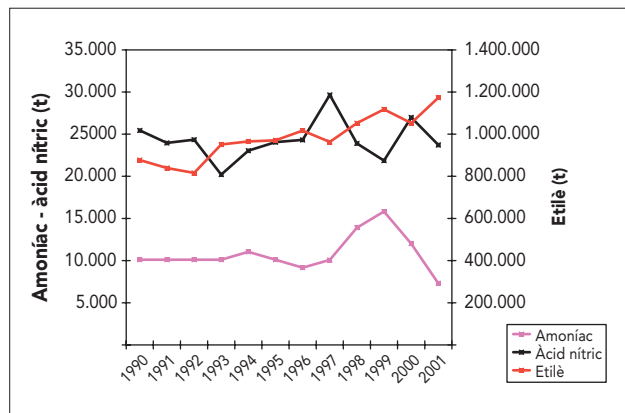


Figura A5.6. Producció d'amoniac, àcid nítric i etilè a Catalunya en el període 1990-2001. Font: IDESCAT i les empreses ERCROS, REPSOL i Dow Chemical.

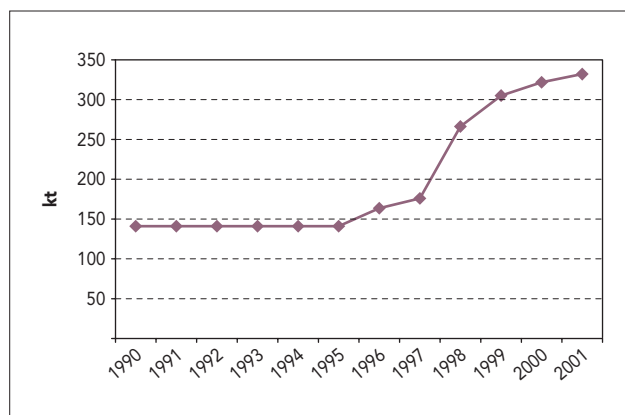


Figura A5.7. Evolució de la producció de ferro i acer a Catalunya en el període 1990-2001. Font: IDESCAT.

A5.1.3.4. Producció i consum d'halocarburs i hexafluorur de sofre

Aquesta categoria només inclou la producció i el consum d'heptafluorpropà (HFC227). El 90% de la producció està destinat a l'exportació, per la qual cosa es pot apuntar que el 10% restant està destinat al consum intern a Catalunya. També inclou les emissions atribuïbles directament a la producció (emissió de l'halocarburi durant el procés de manufactura), a emissions fugitives (distribució de l'halocarburi) i a l'alliberament directe per l'ús de l'halocarburi (el 10% de la producció).

A5.1.4. Ús de dissolvents i altres productes

Fins ara l'IPCC no ha proposat una metodologia específica per al càlcul de les emissions d'aquest sector. Sabent que aquest sector es refereix essencialment a la valoració de les emissions de compostos orgànics volàtils, es considera que no és prioritària la determinació de les seves emissions.

A5.1.5. Agricultura

Inclou els següents subsectors: 1) fermentació entèrica, 2) gestió de fems, 3) cultiu d'arròs i 4) sòls agrícoles.

A5.1.5.1. Fermentació entèrica i gestió de residus ramaders

La fermentació entèrica en el sistema digestiu dels animals herbívors, que es desenvolupa en condicions anaeròbiques, produeix metà (CH_4). La descomposició dels fems en condicions anaeròbiques també produeix emissions de metà i d'òxid nítric (N_2O). Les emissions d'òxid nítric s'estableixen a partir de l'estimació del nitrogen excretat (N_{ex}) de cada mena de bestiar.

Les emissions de CH_4 i de N_2O s'han estimat diferenciant l'aportació per tipus de bestiar segons les següents categories: boví lleter, boví no lleter, oví, cabrum, equí, mular, asiní, porcí i aus de corral.

La informació sobre l'evolució de la població ramadera a Catalunya durant el període 1990-2001 (figura A5.8) s'ha obtingut a partir dels censos agraris de Catalunya dels anys 1989, 1993 i 1999, complementats amb els anuaris de l'IDECAT. Per a l'any 2001 s'ha assumit el valor de l'any 2000. Els valors de N_{ex} es distribueixen segons diferents sistemes de gestió d'abocament dels residus animals, aplicant els percentatges recomanats per als països d'Europa Occidental

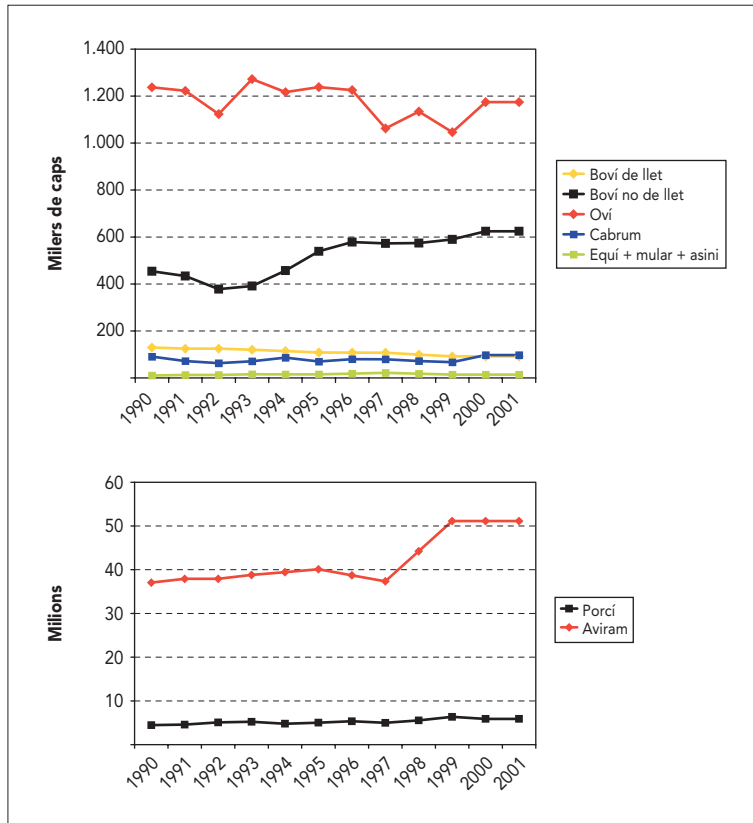


Figura A5.8. Evolució de la població de bestiar boví, oví, cabrum, equí, mular i asini, porcí i aviram a Catalunya en el període 1990-2001.

Font: Elaboració pròpia.

(IPCC, 1996). Per a cada sistema de gestió, les emissions de N_2O s'estimen mitjançant l'aplicació dels factors d'emissió que recomana l'IPCC.

A5.1.5.2. Cultiu d'arròs

La descomposició anaeròbia de la matèria orgànica existent en cultius d'arròs inundats produeix CH_4 , que finalment s'emeta a l'atmosfera. Per a l'estimació d'aquestes emissions s'ha utilitzat un factor d'emissió de $20 \text{ g } CH_4 \text{ m}^{-2}$ de sòl dedicat al cultiu d'arròs (IPCC, 1996). La informació de l'àrea de cultiu s'ha obtingut dels anuaris estadístics de l'IDESCAT. Per a l'any 2001 s'ha assumit el valor de l'any 2000. La figura A5.9 mostra l'evolució de la superfície dedicada a aquest tipus de cultiu entre els anys 1990 i 2001.

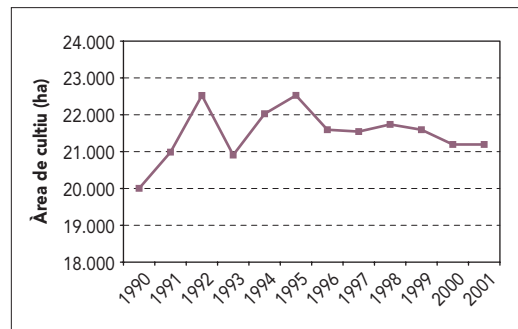


Figura A5.9. Evolució de la superfície dedicada al conreu d'arròs entre els anys 1990 i 2001.

Font: IDESCAT.

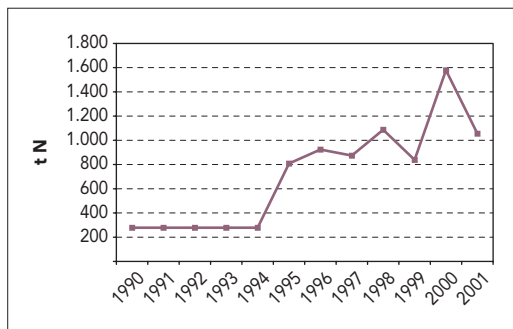


Figura A5.10. Producció d'abonament nitrogenat en el període 1990-2001.

Font: elaboració pròpia a partir de dades pròpies i de l'IDESCAT.

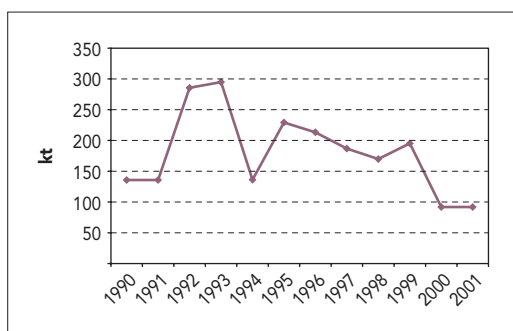


Figura A5.11. Producció de llegums secs i soja en el període 1990-2001.

Font: IDESCAT.

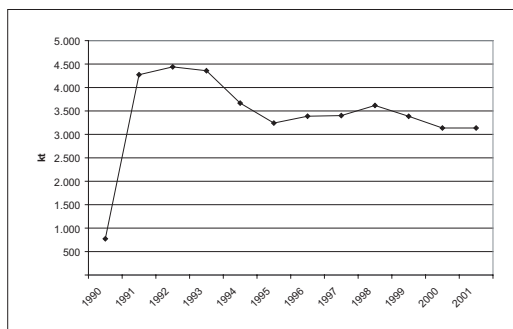


Figura A5.12. Producció d'altres cultius de secà en el període 1990-2001.

Font: IDESCAT.

A5.1.5.3. Sòls agrícoles

L'IPCC considera les emissions de N_2O , segons les següents tres components:

- Emissions directes de N_2O des de sòls agrícoles
- Emissions directes a causa de les activitats ramaderes
- Emissions indirectes relacionades amb l'ús de nitrogen en les activitats agrícoles.

Prèviament, es necessita disposar de la següent informació de base:

- Quantitat total de fertilitzant sintètic utilitzat anualment
- Població de caps de bestiar
- Producció anual de llegums de secà i de soja
- Producció d'altres cultius de secà.

Encara que l'IPCC considera un cinquè component relacionat amb el cultiu de sòls orgànics (*histosols*), d'acord amb el mapa de cobertura d'aquesta tipologia de sòl que presenta l'Organització de les Nacions Unides per a l'Agricultura i l'Alimentació (FAO) en la seva pàgina d'internet (<http://www.fao.org>, juny de 2003), la presència d'aquest tipus de sòl a Catalunya és molt poc rellevant.

Respecte al fertilitzant sintètic, la informació de producció per al període 1994-2001 s'ha obtingut dels anuaris de l'IDESCAT. Per als anys 1990-1993 es va assumir el valor de l'any 1994. S'assumeix que la quantitat de fertilitzant nitrogenat produït és igual a la quantitat de fertilitzant utilitzat. La figura A5.10 mostra l'evolució de la producció d'abonament nitrogenat a Catalunya.

La producció de llegums de secà i soja fins a l'any 2000 s'ha obtingut dels anuaris de l'IDESCAT. Segons el que s'ha indicat a la figura A5.11 fins a l'any 2000 no presenten un comportament definit. Per això s'ha assumit pel període 2001 la producció de l'any 2000.

De la mateixa manera, i respecte a la producció d'altres cultius de secà (blat, civada, alfals, ametlla, avellana, oliva), les dades de producció per als anys 1990-2000 s'han obtingut de l'IDESCAT. Per a l'any 2001 s'assumeix el valor de l'any 2000 (veure la figura A5.12).

El procés de càlcul presenta alguna complexitat i es troba descrit completament en les guies de l'IPCC (IPCC, 1996).

A5.1.6. Canvis d'usos del sòl i activitats forestals

A Catalunya, dins d'aquest sector es considera l'emissió i la fixació de CO₂ a causa dels canvis anuals de l'estoc de boscos i biomassa fustera. La figura A5.13 mostra l'àrea coberta amb boscos poblats per espècies frondoses o planifòlies, resinoses o coníferes i mixtes, categories que són considerades en els anuaris estadístics de l'IDESCAT per als anys 1989 i 1999. A partir d'aquestes dades s'han estimat les cobertures per als anys 1990-1998 mitjançant interpolació lineal. Per als anys 2000 i 2001 s'ha assumit el valor de l'any 1999.

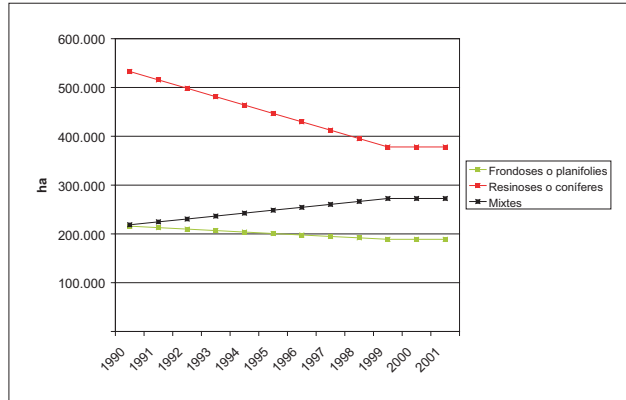


Figura A5.13. Cobertura de boscos a Catalunya en el període 1990-2001. Font: elaboració pròpia.

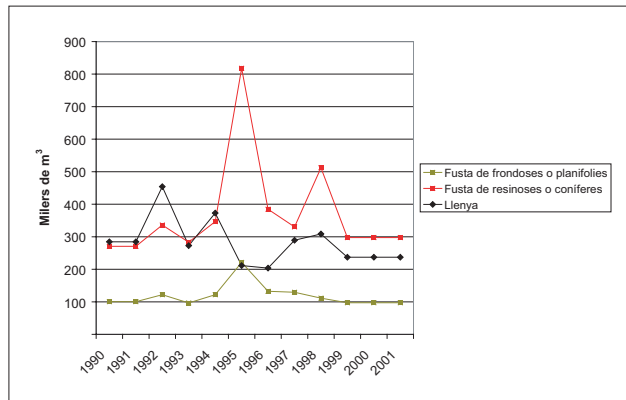


Figura A5.14. Explotació de fusta dels boscos de frondoses o planifòlies, boscos de resinoses o coníferes i de llenya a Catalunya durant el període 1990-2001. Font: elaboració pròpia.

Les taxes mitjanes de creixement anual d'aquestes tres categories de boscos van ser estimades a partir de les taxes anuals de creixement mitjà de les espècies vegetals més importants, establertes a l'*Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya* (CREAF 2000a, 2000b, 2000c, 2001a, 2001b, 2002a, 2002b)

Les dades d'extracció de fusta per al període 1990-1999 dels boscos de resinoses o coníferes i dels boscos de frondoses o planifòlies s'han obtingut dels anuaris de l'IDESCAT. S'ha considerat també la producció de llenya (suposant que prové dels boscos de resinoses o coníferes), així com la producció de suro (suposant que prové

de l'aprofitament dels boscos de frondoses o planifòlies). Per als anys 2000 i 2001 s'ha assumit el valor de l'any 1999.

La figura A5.13 mostra l'evolució de la cobertura dels boscos per al període 1990-2001, segons la categorització abans indicada, en la que s'observa una disminució dels boscos de resinoses o coníferes i dels boscos de frondoses o planifòlies, i un increment en la cobertura dels boscos mixtos. La figura A5.14 mostra l'evolució en l'explotació de fusta que prové dels boscos de frondoses o planifòlies, dels boscos de resinoses o coníferes i llenyos.

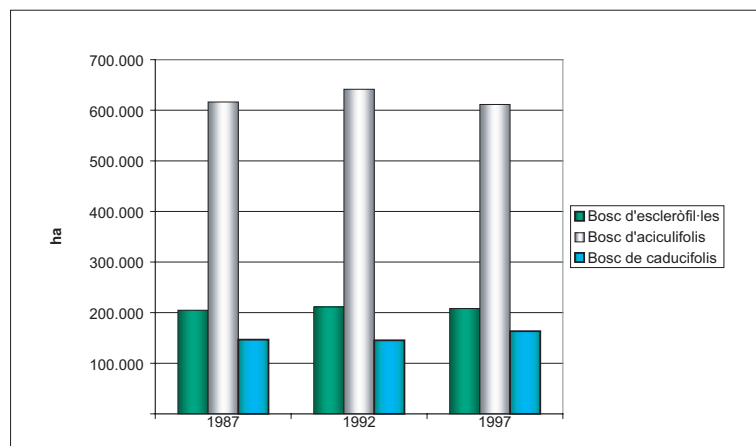


Figura A5.15. Cobertura dels boscos d'escleròfil·les, aciculifolis i caducifolis els anys 1987, 1992 i 1997 a Catalunya.

Font: elaboració pròpia.

Per a corroborar aquestes tendències, addicionalment es va processar la informació sobre la cobertura dels usos del sòl dels mapes digitals dels anys 1987, 1992 i 1997 del Departament de Medi Ambient i Habitatge (<http://mediambient.gencat.net>, setembre de 2004). Comparant els valors dels anys 1992 i 1997 per al bosc de coníferes, s'observa un descens en la cobertura de 641.392 a 611.390 ha, valors coherents amb la tendència obtinguda de les dades estadístiques, encara que els valors no siguin exactament iguals.

La cobertura dels boscos d'escleròfil·les i caducifòlies dels mapes digitals dels anys 1992 i 1997 s'incrementa fins a 356.708 i 371.359 ha, respectivament. Assumint que aquests usos del sòl estan relacionats amb les dades estadístiques que corresponen als boscos de frondoses o planifòlies i boscos mixtos, també són coherents en la seva tendència ja que les cobertures d'aquests últims estadísticament foren de 440.411 ha (any 1992) i 455.320 ha (any 1997), respectivament. La figura A5.15 presenta les cobertures dels boscos dels anys 1987, 1992 i 1997 obtingudes dels mapes digitals d'usos del sòl del Departament de Medi Ambient i Habitatge. No obstant això,

l'IPCC reconeix un grau elevat d'incertesa en la valoració de les emissions (fixació de CO₂) atribuïda a les activitats forestals.

A5.1.7. Residus

L'IPCC només considera els dos subsectors següents en l'àmbit dels residus: 1) l'abocament de residus sòlids (dipòsits controlats) i 2) la gestió de les aigües residuals urbanes. Cal remarcar que les emissions relacionades amb l'aprofitament energètic dels residus estan considerades en el sector energètic.

A5.1.7.1. Disposició de residus sòlids al sòl

La disposició de residus sòlids en dipòsits controlats implica l'estabilització anaeròbia de la matèria orgànica. En aquestes condicions es produeix biogàs, que està compostat per diòxid de carboni i metà, que pot ser emès directament cap a l'atmosfera, o bé cremat en torxes, o recollit per al seu posterior aprofitament energètic.

La informació sobre la disposició anual en dipòsits controlats dels residus sòlids, que es presenta a la figura A5.16, s'ha obtingut dels anuaris de l'IDESCAT.

La formació i emissió de metà es produeix durant un període llarg d'anys. No obstant això, la metodologia IPCC suposa que tot el metà es produeix i s'emet en el mateix any de la seva disposició en dipòsit controlat, a fi d'obtenir inventaris comparables.

Un paràmetre necessari per al càlcul de les emissions de metà és el percentatge de *carboni orgànic degradable (DOC)* contingut en els residus. Aquesta fracció s'ha estimat utilitzant l'equació (3) (IPCC, 1996):

$$DOC = 0,4(A) + 0,17(B) + 0,15(C) + 0,30(D) \quad (3)$$

Essent:

DOC: percentatge de carboni orgànic biodegradable

A: percentatge de paper i tèxtils

B: percentatge de residus de jardí i altres orgànics biodegradables que no siguin d'aliments

C: percentatge que correspon a restes d'aliments

D: percentatge que correspon a restes de fusta o palla

Els valors de DOC s'han obtingut pels anys 1997, 1999 i 2001 aplicant els respectius percentatges als que fa referència l'equació (3). La principal font d'informació ha estat el *Programa Metropolità de Gestió de Residus Municipals (AMB, 2000)*. A partir d'aquestes dades, s'han interpolat i extrapolat els valors de DOC per als anys restants del període 1990-2000. S'assumeix una fracció igual

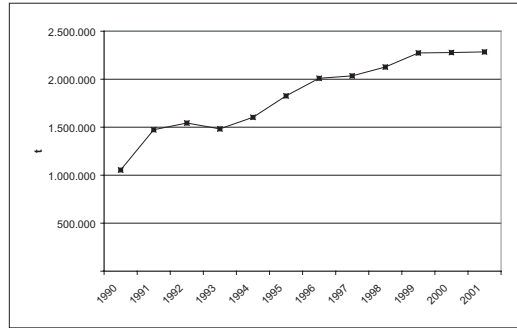


Figura A5.16. Disposició de residus sòlids en dipòsits controlats durant el període 1990-2001.
Font: elaboració pròpia.

a 0,77 per estimar la quantitat de DOC que efectivament es degrada i d'aquest últim valor s'ha considerat que el 50% passa a ser metà.

Per a l'obtenció final de les emissions cal restar la quantitat anual de metà recuperada. La taula A5.4 representa aquestes quantitats, que han estat estimades en base a la cuantificació presentada per Cerdà (2003) sobre el volum total de biogàs aprofitable en aquests abocadors.

A5.1.7.2. Gestió d'aigües residuals urbanes

Com que la contribució emissora d'aquest subsector és molt baixa, no es descriu amb detall el seu tractament, tot i que ha estat considerat en la valoració de les emissions.

A5.2. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a Catalunya

Per tal d'analitzar en conjunt les emissions de CO₂, CH₄ i N₂O, es calculen les emissions en unitats de CO₂ equivalent, considerant que el

Any	Vacarisses	Sta. Maria de Palautordera	Hostalets de Pierola	Pedret i Marzà	Total
2000	4,2	5,7	3,2	1,2	14,3
2001	4,2	5,7	3,2	1,2	14,3

Taula A5.4. Volum de metà recuperat en dipòsits controlats durant el període 2000-2001 (milions Nm³ CH₄ a⁻¹)
Font: elaboració pròpia.

CH₄ i el N₂O tenen un potencial d'escalfament global (*Global Warming Potential*) de 23 i 296 vegades el del CO₂, respectivament, (IPCC, 2001), durant un període de 100 anys. La taula A5.5 i la figura A5.17 mostren els valors anuals de les emissions obtingudes. Les emissions d'altres gasos amb efecte d'hivernacle tenen poca importància en aquesta valoració.

A la figura A5.17 s'observa un comportament creixent de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. Prenent com a referència l'any 1990 (36.332 Gg CO₂ equivalent), les emissions del 2001 (57.337 Gg CO₂ equivalent) són un 57,8% superiors. En terme mitjà, l'aportació percentual del CO₂ durant el període 1990-2001 fou del 78%, del 15% per al CH₄ i del 7% per al N₂O. Amb aquests valors s'obté una generació per càpita pel 1990 de 6,0 t CO₂ equivalent, que s'incrementa a 9,0 tCO₂ equivalent durant el 2001.

La taula A5.6, la taula A5.7 i la figura A5.18 mostren les emissions de CO₂ equivalent distribuïdes per sectors. S'aprecia que el component relacionat amb les activitats forestals constitueix un embornal (valors negatius de les emissions). De l'anàlisi d'aquestes dades es dedueix que de mitjana i respecte a les emissions netes de CO₂ equivalent, la participació del sector energètic és del 72%, el sector agrícola aporta el 12% i els sectors industrials i de residus el 8% cadascun.

De la figura A5.18 es dedueix clarament que l'increment de les emissions correspon majoritàriament al comportament creixent del consum energètic. La taula A5.8, la taula A5.9 i la figura A5.19 mostren la composició de les emissions atribuïdes al consum energètic de combustibles fòssils per subsectors. L'any 1990 les emissions van augmentar a 26.946 Gg CO₂ equivalent i el 2001 es comptabilitzen 42.138 Gg CO₂ equivalent (increment d'un 56,4%).

Any	CO ₂		CH ₄		N ₂ O		Total		Variació respecte l'any 1990 (%)
	Valor	%	Valor	%	Valor	%	Valor	%	
1990	28.894	79,5	4.846	13,3	2.592	7,1	36.332	100	
1991	29.175	77,1	5.726	15,1	2.916	7,7	37.817	100	4,1
1992	29.665	77,0	5.867	15,2	3.015	7,8	38.547	100	6,1
1993	28.795	76,3	5.845	15,5	3.105	8,2	37.745	100	3,9
1994	31.429	77,8	6.055	15,0	2.919	7,2	40.403	100	11,2
1995	33.468	77,5	6.637	15,4	3.075	7,1	43.180	100	18,8
1996	34.232	76,9	7.119	16,0	3.184	7,2	44.535	100	22,6
1997	36.977	78,1	7.162	15,1	3.223	6,8	47.362	100	30,4
1998	40.836	78,9	7.528	14,5	3.383	6,5	51.747	100	42,4
1999	42.759	78,5	8.114	14,9	3.579	6,6	54.452	100	49,9
2000	43.973	79,4	7.859	14,2	3.572	6,4	55.404	100	52,5
2001	45.958	80,2	7.871	13,7	3.508	6,1	57.337	100	57,8

Taula A5.5. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a Catalunya en el període 1990-2001 (Gg CO₂ equivalent)
 Font: elaboració pròpia.

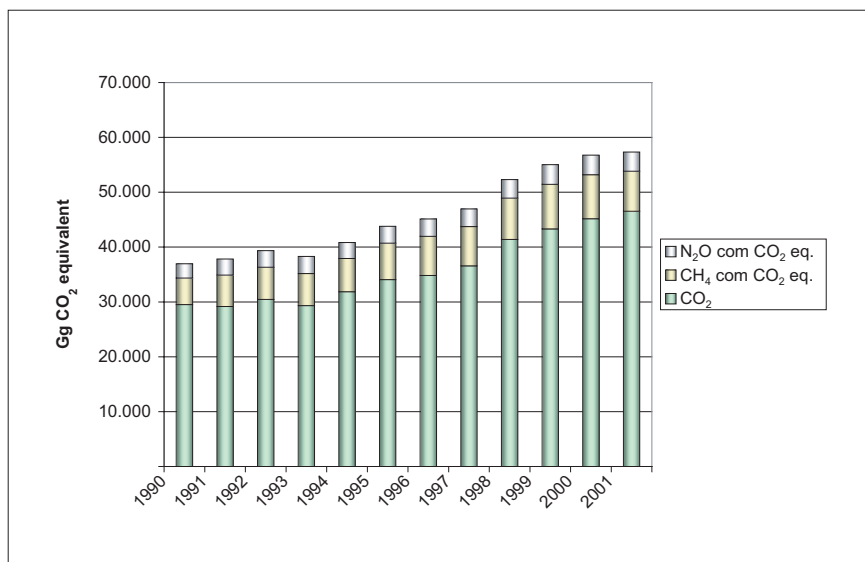


Figura A5.17. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a Catalunya en el període 1990-2001.
Font: elaboració pròpia.

Any	Energia (Sectorial approach)	Processos industrials	Agricultura	Canvi d'usos del sòl i activitats forestals	Residus	Total	Variació respecte l'any 1990 (%)
1990	26.946	3.592	4.643	-1.253	2.404	36.332	
1991	27.435	3.395	4.936	-1.221	3.272	37.817	4,1
1992	27.914	2.956	5.050	-840	3.465	38.547	6,1
1993	27.453	2.864	5.211	-1.163	3.380	37.745	3,9
1994	29.370	3.327	4.994	-891	3.603	40.403	11,2
1995	30.903	3.517	5.314	-586	4.033	43.180	18,8
1996	32.237	3.426	5.524	-1.052	4.399	44.535	22,6
1997	34.662	3.828	5.304	-930	4.498	47.362	30,4
1998	37.501	4.586	5.556	-687	4.792	51.747	42,4
1999	39.455	4.887	5.900	-1.013	5.224	54.452	49,9
2000	40.490	5.127	5.799	-1.013	5.001	55.404	52,5
2001	42.138	5.399	5.794	-1.013	5.019	57.337	57,8

Taula A5.6. Aportació sectorial de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a Catalunya en el període 1990-2001 (Gg CO₂ equivalent)
Font: elaboració pròpia.

Any	Energia (Sectorial approach)	Processos industrials	Agricultura	Canvi d'usos del sòl i activitats forestals	Residus	Total
1990	74,2	9,9	12,8	-3,4	6,6	100
1991	72,5	9,0	13,1	-3,2	8,7	100
1992	72,4	7,7	13,1	-2,2	9,0	100
1993	72,7	7,6	13,8	-3,1	9,0	100
1994	72,7	8,2	12,4	-2,2	8,9	100
1995	71,6	8,1	12,3	-1,4	9,3	100
1996	72,4	7,7	12,4	-2,4	9,9	100
1997	73,2	8,1	11,2	-2,0	9,5	100
1998	72,5	8,9	10,7	-1,3	9,3	100
1999	72,5	9,0	10,8	-1,9	9,6	100
2000	73,1	9,3	10,5	-1,8	9,0	100
2001	73,5	9,4	10,1	-1,8	8,8	100

Taula A5.7. Aportació sectorial de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a Catalunya en el període 1990-2001, en percentatge.
Font: elaboració pròpia.

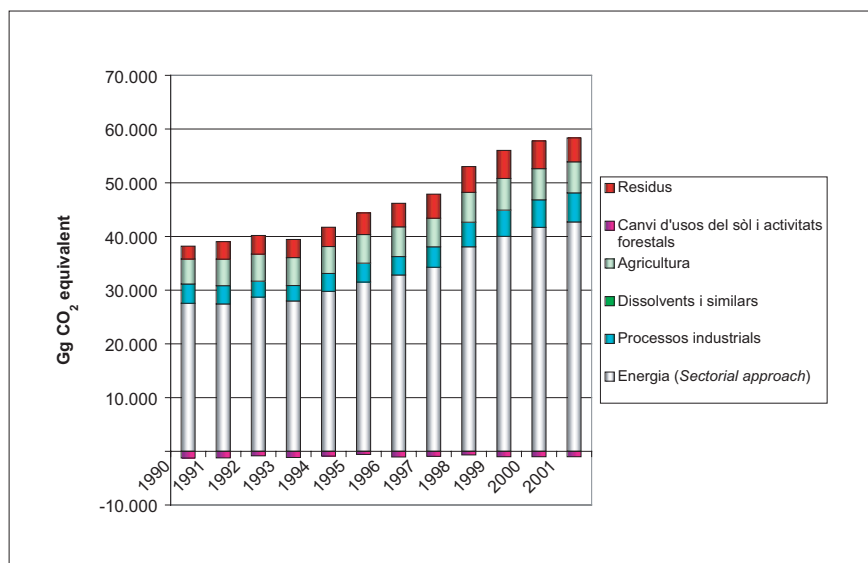


Figura A5.18. Aportació sectorial de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a Catalunya en el període 1990-2001.

Font: elaboració pròpia.

Any	Transformació a energia elèctrica	Indústria	Transport	Primari + domèstic + serveis	Total	Variació respecte l'any 1990 (%)
1990	4.266	9.240	9.796	3.645	26.946	-
1991	4.107	8.899	10.396	4.033	27.435	1,8
1992	4.460	9.120	10.324	4.010	27.914	3,6
1993	3.751	9.097	10.419	4.185	27.453	1,9
1994	3.655	10.417	11.180	4.118	29.370	9,0
1995	3.970	10.704	12.076	4.153	30.903	14,7
1996	4.116	11.528	11.805	4.788	32.237	19,6
1997	4.062	12.310	13.659	4.631	34.662	28,6
1998	5.189	12.699	14.678	4.934	37.501	39,2
1999	5.517	13.266	15.450	5.223	39.455	46,4
2000	5.493	13.730	15.793	5.474	40.490	50,3
2001	5.895	13.931	16.633	5.678	42.138	56,4

Taula A5.8. Contribució a les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle atribuïble al consum de combustibles fòssils a Catalunya en el període 1990-2001, per subsectors (Gg CO₂ equivalent).

Font: elaboració pròpia.

Any	Transformació a energia elèctrica	Indústria	Transport	Primari + domèstic + serveis	Total
1990	15,8	34,3	36,4	13,5	100
1991	15,0	32,4	37,9	14,7	100
1992	16,0	32,7	37,0	14,4	100
1993	13,7	33,1	38,0	15,2	100
1994	12,4	35,5	38,1	14,0	100
1995	12,8	34,6	39,1	13,4	100
1996	12,8	35,8	36,6	14,9	100
1997	11,7	35,5	39,4	13,4	100
1998	13,8	33,9	39,1	13,2	100
1999	14,0	33,6	39,2	13,2	100
2000	13,6	33,9	39,0	13,5	100
2001	14,0	33,1	39,5	13,5	100

Taula A5.9. Contribució a les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a causa del consum energètic de combustibles fòssils a Catalunya en el període 1990-2001, per subsectors, en percentatge.

Font: elaboració pròpia.

Cal remarcar de nou que, segons els requeriments de l'IPCC, el consum energètic per a la generació d'electricitat en centrals d'autoproducció es comptabilitza en el sector industrial.

A la taula A5.9 s'observa que els percentatges de les emissions del subsector de transformació a energia elèctrica varien entre l'11,7 i el 16%, del subsector industrial entre el 32,4 i el 35,8%, del subsector transport entre el 36,4 i el 39,5% i, pel que fa als altres subsectors (primari + domèstic + serveis) varia entre el 13,2 i el 15,2%.

La taula A5.10, la A5.11 i la figura A5.21 mostren la composició de les emissions a causa de les activitats industrials per subsectors. Cal recordar que aquests valors fan referència a les emissions atribuïdes al procés industrial, ja que les emissions amb relació al consum de combustibles fòssils en les indústries ja s'han comptabilitzat en l'apartat d'energia. L'any 1990 les emissions van augmentar a 3.592 Gg CO₂ equivalent i l'any 2001 es comptabilitzen 5.399 Gg CO₂ (increment d'un 50,3%)

La taula A5.11 permet observar que els percentatges de les emissions del subsector de productes minerals varia entre el 88,0 i el 91,2%; del subsector de la indústria química entre l'1,7 i el 3,0% i, pel que fa al subsector metal·lúrgic, entre el 6,3 i el 10,0%. En el cas dels productes minerals, un percentatge per sobre del 98% s'atribueix a les emissions produïdes en la fabricació de ciment.

En aquest sentit, és important remarcar l'increment del sòl dedicat a les urbanitzacions i vies urbanes que ha experimentat Catalunya en els últims anys, com mostra la figura A5.22. S'hi presenta la variació de les cobertures de determinats usos del sòl obtingudes a partir dels mapes digitals del Departament de Medi Ambient pels anys 1987, 1992 i 1997. Aquest aspecte es pot relacionar amb una elevada activitat en la construcció d'obres civils i d'habitatges, que al seu torn implica un consum important de ciment.

Les taules A5.12 i A5.13, així com la figura A5.23, mostren la composició de les emissions

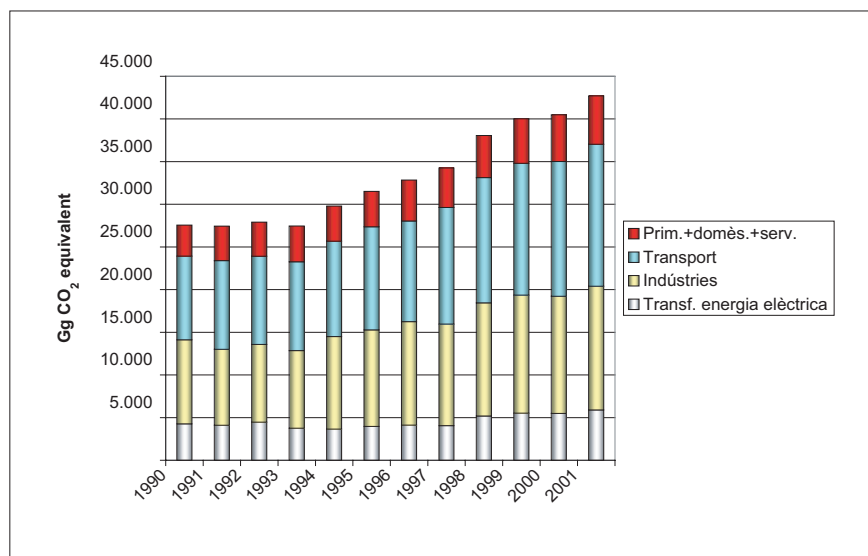


Figura A5.19. Contribució a les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a causa del consum energètic de combustibles a Catalunya en el període 1990-2001, per subsectors.
Font: elaboració pròpia.

Any	Productes minerals	Indústria química	Metal·lúrgia	Total	Variació respecte l'any 1990 (%)
1990	3.274	92	226	3.592	
1991	3.082	88	226	3.395	-5,5
1992	2.643	88	226	2.956	-17,7
1993	2.556	82	226	2.864	-20,3
1994	3.011	90	226	3.327	-7,4
1995	3.200	91	226	3.517	-2,1
1996	3.073	91	262	3.426	-4,6
1997	3.444	103	281	3.828	6,6
1998	4.062	98	426	4.586	27,7
1999	4.301	98	488	4.887	36,1
2000	4.510	102	515	5.127	42,8
2001	4.777	91	531	5.399	50,3

Taula A5.10. Aportació per subsectors de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle atribuïdes als processos industrials a Catalunya en el període 1990-2001 (Gg CO₂ equivalent).

Font: elaboració pròpia.

atribuïdes a les activitats agrícoles, per subsectors. Les emissions de l'any 1990 van ascendir a 4.643 Gg CO₂ equivalent, mentre que l'any 2001 es comptabilitzen 5.794 Gg CO₂ (amb un increment del 24,8%).

A la taula A5.13 s'observa que els percentatges de les emissions del subsector fermentació entèrica varien entre el 21,8 i el 25,7%, del subsector de gestió de fems entre el 26,9 i el 29,7%, del subsector cultius d'arròs entre l'1,7 i el 2,1% i, pel que fa al subsector de sòls agrícoles, entre el 44,1 i el 48,7%.

A5.3. Discussió dels resultats

L'inventari d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle presentat en aquest document correspon a aquells que són utilitzats principalment en la planificació i la gestió de la política ambiental, els quals es caracteritzen normalment per presentar valors passats, actuals i futurs de les emissions amb les següents característiques:

Any	Productes minerals	Indústria química	Metal·lúrgia	Total
1990	91,2	2,6	6,3	100
1991	90,8	2,6	6,6	100
1992	89,4	3,0	7,6	100
1993	89,3	2,9	7,9	100
1994	90,5	2,7	6,8	100
1995	91,0	2,6	6,4	100
1996	89,7	2,7	7,6	100
1997	90,0	2,7	7,4	100
1998	88,6	2,1	9,3	100
1999	88,0	2,0	10,0	100
2000	88,0	2,0	10,0	100
2001	88,5	1,7	9,8	100

Taula A5.11. Aportació per subsectors de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle atribuïdes als processos industrials a Catalunya durant el període 1990-2001, en percentatge.

Font: elaboració pròpia.

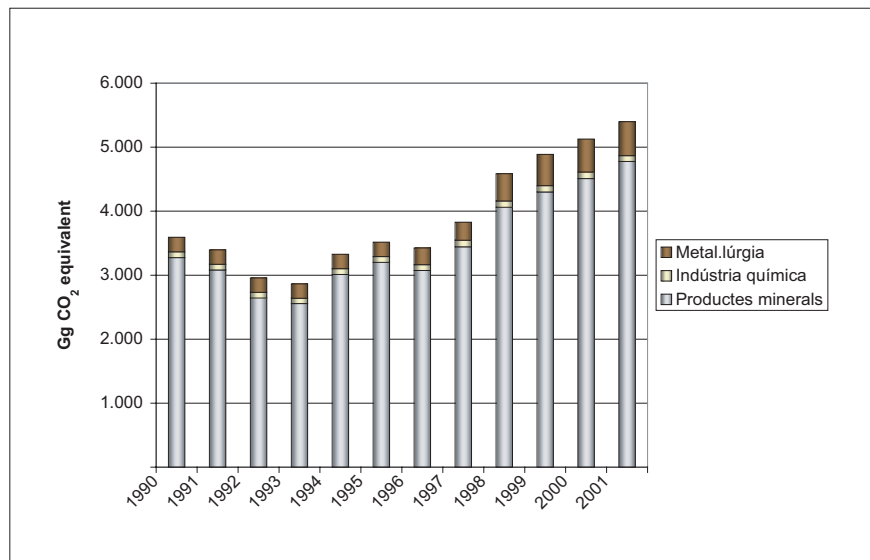


Figura A5.20. Aportació per subsectors de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle atribuïdes als processos industrials a Catalunya en el període 1990-2001.

Font: elaboració pròpia.

- Període anual de resultats
- Àmbit geogràfic de referència amb relació als límits administratius del país o de la regió
- Ús d'un esquema metodològic amb organització definida
- Presentació de resultats segons formats definits

Es tracta, per tant, d'inventaris diferents dels que s'utilitzen a nivell científic, que necessiten conèixer els valors reals de les emissions amb una elevada resolució espacial / temporal i treballen amb una malla georeferenciada.

Tenint en compte la rellevància de la informació que proporcionen els inventaris d'emissió nacionals dins dels objectius de la CMNUCC i del Protocol de Kyoto, queda plenament justificat el desenvolupament de les millors estimacions possibles de les emissions. No obstant això, a la pràctica la manca parcial o total de la informació de les activitats d'emissió acostuma a ser el factor limitant més important.

En l'aspecte tècnic es pot afirmar que l'actual esquema metodològic de l'IPCC és bo, tot i que encara existeixen algunes llacunes metodològiques o aspectes tècnics per resoldre i, en aquest sentit, l'inventari d'emissions com el presentat es basa en algunes assumpcions teòriques com per exemple no incloure les emissions d'incendis forestals, i suposar que les emissions de CH₄ dels abocadors controlats es produeixen completament i en el mateix any en què es dipositen a l'abocador els residus que les causen.

S'ha de remarcar de forma especial la dificultat i el cost temporal que ha implicat la recollida de la informació de determinats sectors, especialment l'industrial, forestal i de residus. Aquest fet ha implicat que la manera d'abordar les estimacions s'hagi decidit en funció de la informació efectivament disponible o que s'hagi preferit no incloure en el cas de Catalunya determinats sectors la informació dels quals s'ha considerat incompleta o de dubtosa qualitat.

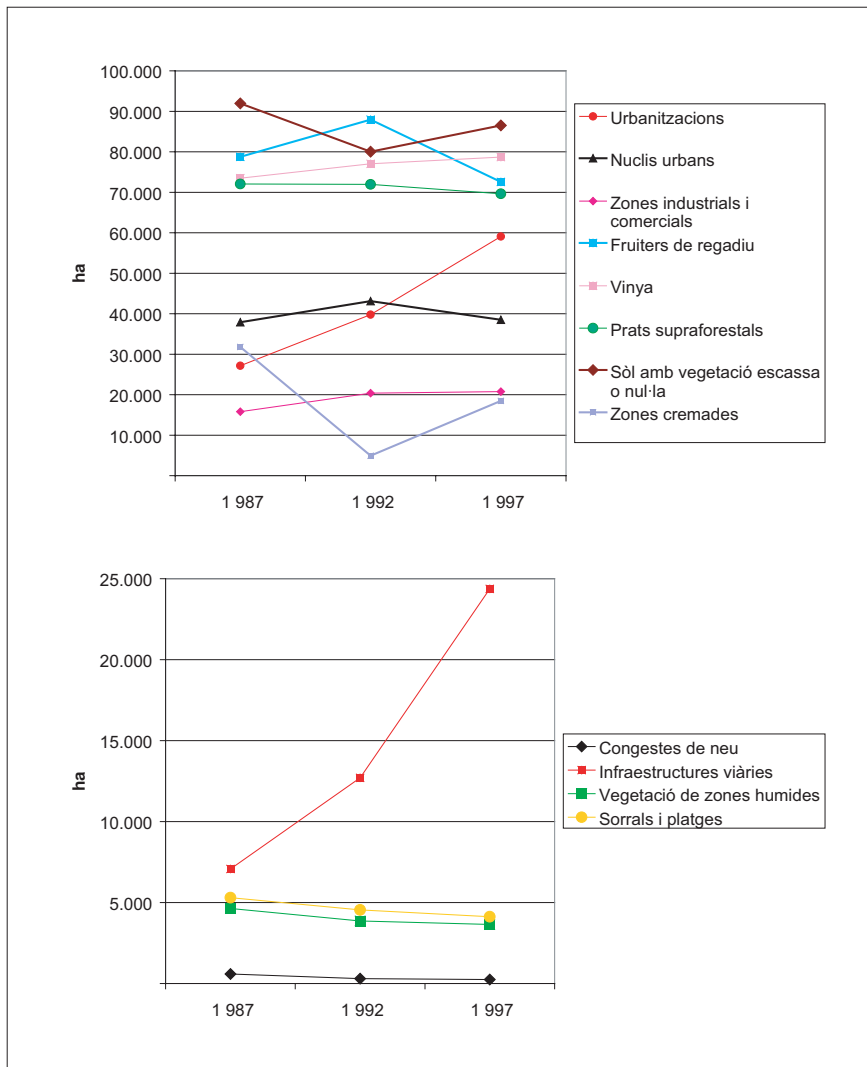


Figura A5.21. Variació de la cobertura de categories d'usos del sòl a Catalunya en els anys 1987, 1992 i 1997. Font: elaboració pròpia.

En el cas de Catalunya, d'acord amb els resultats obtinguts, el consum de combustibles fòssils constitueix la font més important d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle, ja que origina aproximadament el 72% de les emissions (de les quals un 38% correspon al sector transport, un 35% al consum en indústries i el 14% a la generació d'energia elèctrica). L'estimació de les seves emissions és de bona qualitat (basant-se en

la solvència de la informació estadística del consum de combustibles i a la informació de base utilitzada en el *Pla de l'energia a Catalunya en l'horitzó de l'any 2010*) en comparació amb altres sectors com l'agrícola, el forestal o el propi sector industrial.

Altra vegada cal remarcar que els balanços emprats en aquesta valoració no presenten, en sen-

Any	Fermentació entèrica	Gestió de fems	Cultius d'arròs	Sòls agrícoles	Total	Variació respecte l'any 1990 (%)
1990	1.195	1.310	92	2.045	4.643	
1991	1.163	1.325	97	2.351	4.936	6,3
1992	1.099	1.405	104	2.443	5.050	8,8
1993	1.138	1.441	96	2.536	5.211	12,2
1994	1.162	1.366	101	2.364	4.994	7,6
1995	1.265	1.448	104	2.498	5.314	14,5
1996	1.319	1.520	99	2.585	5.524	19,0
1997	1.270	1.459	99	2.476	5.304	14,2
1998	1.285	1.569	100	2.602	5.556	19,7
1999	1.304	1.753	99	2.743	5.900	27,1
2000	1.344	1.671	97	2.687	5.799	24,9
2001	1.344	1.671	97	2.682	5.794	24,8

Taula A5.12. Aportació per subsectors de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle atribuïdes a les activitats agrícoles a Catalunya en el període 1990-2001 (Gg CO₂ equivalent).

Font: elaboració pròpia.

Any	Fermentació entèrica	Gestió de fems	Cultius d'arròs	Sòls agrícoles	Total
1990	25,7	28,2	2,0	44,1	100
1991	23,6	26,9	2,0	47,6	100
1992	21,8	27,8	2,1	48,4	100
1993	21,8	27,7	1,8	48,7	100
1994	23,3	27,4	2,0	47,3	100
1995	23,8	27,2	1,9	47,0	100
1996	23,9	27,5	1,8	46,8	100
1997	23,9	27,5	1,9	46,7	100
1998	23,1	28,2	1,8	46,8	100
1999	22,1	29,7	1,7	46,5	100
2000	23,2	28,8	1,7	46,3	100
2001	23,2	28,8	1,7	46,3	100

Taula A5.13. Aportació per subsectors de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle atribuïdes a les activitats agrícoles a Catalunya en el període 1990-2001, en percentatge.

Font: elaboració pròpia.

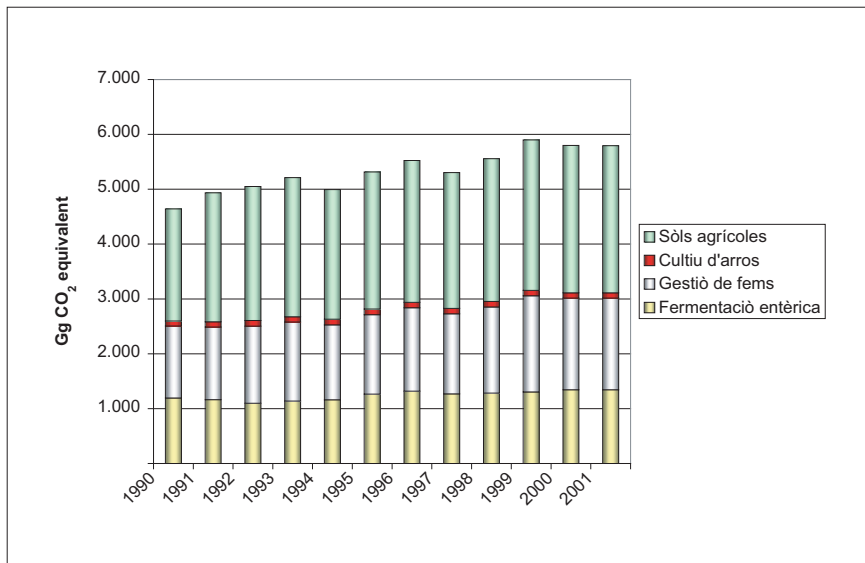


Figura A5.22. Aportació per subsectors de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle atribuïdes a les activitats agrícoles a Catalunya en el període 1990-2001.

Font: elaboració pròpia.

tit estricte, una estructura similar a la requerida per l'IPCC (com ja s'ha indicat anteriorment, els balanços utilitzats inclouen el consum total del tràfic aeri i no inclouen el consum atribuït al tràfic marítim). No obstant això, es considera que la influència d'aquestes diferències és poc rellevant.

També és important assenyalar la contribució de les emissions atribuïdes a les activitats agrícoles, que en terme mitjà representen el 12% de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. És també important indicar la participació de les emissions a causa dels processos industrials, tant les atribuïbles als processos pròpiament dits (8%) com a l'abocament de residus en dipòsits controlats (8%).

S'ha estimat que les emissions de l'any 1990 foren de 36.332 Gg CO₂ equivalent i de 57.337 Gg CO₂ equivalent l'any 2001 (hi ha un increment del 57,8%). La Figura A5.23 mostra, a títol de resum, la variació percentual de les emissions respecte a l'any 1990.

També s'ha estimat que l'emissió per càpita per l'any 2001 a Catalunya augmenta a 9,0 t CO₂ equivalent, valor que correspon a una emissió per càpita de 7,2 t CO₂ (sense considerar el CH₄ ni el N₂O). D'acord amb les dades presentades per les Nacions Unides (que només calcula les emissions de CO₂ per consum energètic i producció de ciment), les emissions de CO₂ per càpita per als països rics és de 12,4 t hab⁻¹; 3,2 t hab⁻¹ per als països amb ingressos mitjans i 1,0 t hab⁻¹ per als països amb ingressos baixos. D'aquesta manera es dedueix que, en el cas de Catalunya, les emissions per càpita l'any 2001 van estar entre els valors assignats als països rics i els de països amb ingressos mitjans.

De cara al futur, i d'acord amb l'evolució de les estimacions optimistes de consum, s'estima que l'emissió per càpita de CO₂ a Catalunya cap a l'any 2010 s'incrementarà a 8,1 t hab⁻¹ si es compleixen les previsions de l'Escenari IER (Intensiu en Eficiència energètica i energies Renovables) del Pla de l'Energia a Catalunya en l'horitzó de l'any 2010 (DICT, 2002). Això significa que en-

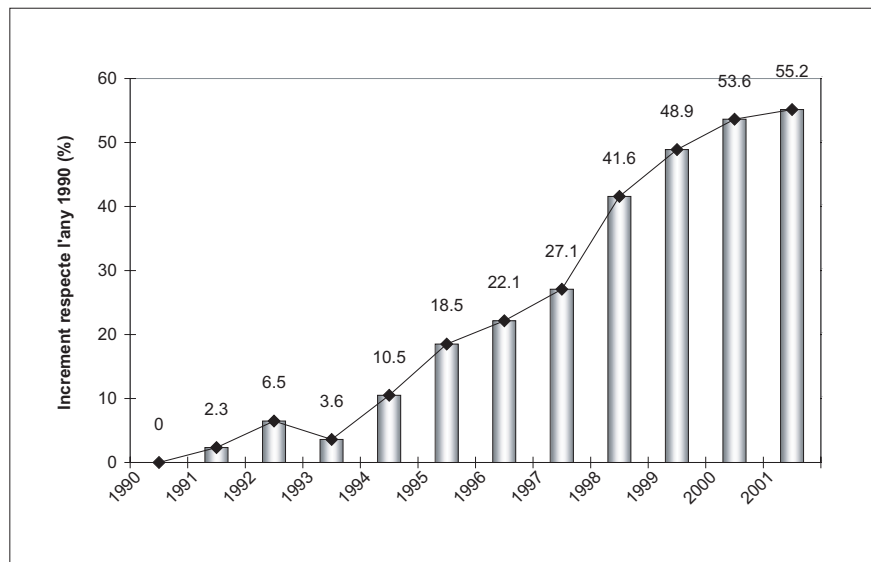


Figura A5.23. Variació percentual de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a Catalunya en el període 1990-2001.
Font: elaboració pròpia.

cara que el programa energètic té una component important en l'ús intensiu d'energies renovables i de l'eficiència energètica, el comportament consumista segueix creixent, aspecte que complica el compliment dels compromisos d'emissió a escala estatal, que de moment ja superen en més del doble la quota d'emissió permesa a l'Estat espanyol per a l'any 2010.

Referències bibliogràfiques

ACA. *Programa de Sanejament d'Aigües Residuals Urbanes 2002. PSARU 2002*. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Departament de Medi de Ambient, 2002.

AMB. *Programa Metropolitano de Gestión de Residuos Municipales*. Barcelona: Entidad del Medi Ambient, 2000.

ANAIP. *Los plásticos en España. Hechos y cifras*. Madrid: ANAIP, 1997.

ANAIP. *Los plásticos en España. Hechos y cifras*. Madrid: ANAIP, 2002.

BBVA. *El Campo. De las ciencias y las Artes. El Cambio Climático*. Madrid: BBVA, 2000.

CERDÀ, X. *Potencial de generació de biogàs dels residus municipals acumulats en abocador controlat a Catalunya. Tractament i contribució a l'efecte hivernacle*. Barcelona: ET-SEIB, 2003. (Projecte de fi de carrera).

CREAF. *Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya. Regió Forestal IV. Sistema d'Informació dels Boscos de Catalunya*. Barcelona: ATM producció, 2000a.

CREAF. *Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya. Regió Forestal V. Sistema d'Informació dels Boscos de Catalunya*. Barcelona: ATM producció, 2000b.

CREAF. *Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya. Regió Forestal VI. Sistema d'Informació dels Boscos de Catalunya*. Barcelona: ATM producció, 2000c.

CREAF. *Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya. Regió Forestal II. Sistema d'Informació dels Boscos de Catalunya*. Barcelona: ATM producció, 2001a.

CREAF. *Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya. Regió Forestal III. Sistema d'Informació dels Boscos de Catalunya*. Barcelona: ATM producció, 2001b.

CREAF. *Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya. Regió Forestal I. Sistema d'Informació dels Boscos de Catalunya*. Barcelona: Argania edició, 2002a.

CREAF. *Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya. Regió Forestal VII. Sistema d'Informació dels Boscos de Catalunya*. Barcelona Argania edició, 2000b.

DICT. *Informe anual sobre la indústria a Catalunya 2001*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, 2001.

DICT. *Pla de l'energia a Catalunya en l'horitzó de l'any 2010*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, 2002.

IDESCAT. *Xifres de Catalunya 2003*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, 2003.

IDESCAT. *Estadística, producció i comptes de la indústria 1993*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, 1998a.

IDESCAT. *Estadística, producció i comptes de la indústria 1994*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, 1998b.

IDESCAT. *Estadística, producció i comptes de la indústria 1995*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, 1998c.

IDESCAT. *Estadística, producció i comptes de la indústria 1996*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, 1998d.

IDESCAT. *Estadística, producció i comptes de la indústria 1997*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, 1999.

IDESCAT. *Estadística, producció i comptes de la indústria 1998*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, 2000a.

IDESCAT. *Estadística, producció i comptes de la indústria 1999*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, 2000b.

IDESCAT. *Estadística, producció i comptes de la indústria 2000*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, 2002.

IDESCAT. *Estadística, producció i comptes de la indústria 2001*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, 2003.

IPCC. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory*. (3 Volumes), 1995.

IPCC. *Revised 1996 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory*, 1996.

IPCC. *IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*, 2000.

IPCC. *Climate Change 2001: The scientific basis. Technical summary*, 2001.

MMA. *Greenhouse Gas Emission Inventories Report from Spain 1999-20201*. Communication to European comision, 2003. Madrid: Ministerio del Medio Ambiente.

ONU. *Informe sobre desarrollo humano 2003*. Madrid: Mundi Prensa, 2003.

A6. Projeccions futures sobre el clima a Catalunya

Josep Calbó Angrill

Departament de Física i Institut de Medi Ambient
Universitat de Girona

Josep Calbó i Angrill (Barcelona, 1965) és llicenciat en Ciències Físiques per la Universitat de Barcelona i doctor en Ciències per la Universitat Politècnica de Catalunya, on va realitzar el doctorat sobre models meteorològics en el programa d'Enginyeria Ambiental. Ha estat investigador post-doctoral al *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) i investigador visitant al *Pacific Northwest National Laboratory* (Washington, EUA). Actualment és professor titular del Departament de Física de la Universitat de Girona. Entre els anys 2000 i 2003 va ser el director de l'Institut de Medi Ambient d'aquesta universitat.

La seva recerca se centra en temes ambientals: contaminació atmosfèrica urbana, canvi climàtic (relació contaminació urbana amb contaminació global, forçaments radiatius de núvols i aerosols), climatologia de núvols, energies renovables, desenvolupament sostenible o educació ambiental. Aquesta recerca s'ha realitzat en el marc d'una trentena de projectes amb finançament públic o de contractes de transferència del coneixement amb entitats públiques i empreses privades.

Ha publicat una vintena d'articles en revistes científiques, una vintena de capítols en llibres científics i de divulgació, i ha presentat més de trenta comunicacions en congressos internacionals.

Síntesi	193
A6.1. Bases de la simulació climàtica	195
A6.1.1. Models numèrics de simulació del clima	
A6.1.2. Forçament radiatiu i resposta climàtica	
A6.1.3. Els escenaris de l'informe de l'IPCC 2001	
A6.2. Projeccions a escala global	204
A6.2.1. Mètodes de simulació a escala global	
A6.2.2. Resposta global del clima	
A6.2.3. Canvis en la variabilitat climàtica	
A6.2.4. Canvis en els esdeveniments extrems	
A6.3. Projeccions a escala regional (per a Catalunya)	210
A6.3.1. Mètodes de simulació a escala regional	
A6.3.2. Resposta regional del clima	
A6.3.3. Canvis en la variabilitat i els esdeveniments extrems	
A6.4. Conclusions	221
Referències bibliogràfiques	224

Síntesi

Els responsables de prendre decisions respecte a possibles accions d'adaptació i/o mitigació al canvi climàtic han de disposar de les millors prediccions possibles, per la qual cosa és necessari millorar i reduir la incertesa de les previsions sobre el clima del futur.

Actualment, les millors prediccions s'obtenen de l'aplicació de models numèrics de simulació del clima i, més concretament, de models tridimensionals acoblats. Aquests models, anomenats AOGCM (*Atmospheric Oceanic General Circulation Models*), han experimentat una important millora en els darrers anys, especialment pel que fa a la seva resolució espacial i a la capacitat de descriure físicament fenòmens com la interacció oceà-atmosfera, entre altres.

La majoria dels models actuals, com els que apareixen en el darrer informe del Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (IPCC), reproduïxen correctament el clima present i passat, tot donant fiabilitat a les prediccions futures. No obstant això, encara continuen havent-hi incerteses, com ho demostra el fet que el paràmetre de sensibilitat climàtica, definit com l'augment de temperatura assolit quan la concentració de CO₂ s'hagi duplicat, variï segons el model al voltant d'una mitjana que es troba entre els 2,5 i 3°C. Per poder fer previsions el màxim de fiables, l'IPCC opta per realitzar simulacions per col·lectivitats, és a dir, integrar diversos models en les mateixes condicions i donar com a resultat el rang de valors obtinguts pels diversos models, com a mesura de la incertesa existent.

Qualsevol projecció del clima futur es basa en prediccions sobre l'evolució demogràfica, tecnològica i econòmica. Aquests escenaris, descrits a l'informe SRES (*Special Report on Emission Scenarios*), són el punt de partida de les prediccions recollides en l'informe de l'IPCC de l'any 2001.

Tenint en compte diversos d'aquests escenaris i models, el darrer informe de l'IPCC preveu que la temperatura mitjana de la Terra s'incrementi entre 1,4 i 5,8°C de cara a l'any 2100. En general, l'augment de temperatura serà més important en latituds altes i sobre els continents que en els tròpics i sobre els oceans. A escala global, també s'espera un augment de la precipitació, que podria ser d'unes poques unitats percentuals respecte la precipitació actual. L'augment no serà gens homogeni (hi ha zones on fins i tot s'esperen disminucions) i podria ser més significatiu a latituds elevades dels dos hemisferis. Per altra banda, com a conseqüència de la dilatació tèrmica i de la fosa d'un cert volum de gel continental, es preveuen increments del nivell del mar d'entre 9 i 88 cm.

Pel que fa als canvis en la variabilitat i els esdeveniments extrems, les prediccions són encara més incertes. Diversos estudis mostren una disminució dels dies amb precipitació i un augment de la intensitat d'aquestes. També es dona versemblança a les prediccions que indiquen, pel que fa als continents, temperatures màximes més altes, més dies calorosos, un augment de l'índex de xafogor i, finalment, un augment de l'evaporació durant l'estiu.

La regionalització de les prediccions del canvi climàtic és una línia de treball de gran actualitat però que encara està poc madura, per la qual cosa les prediccions regionals són menys fiables que les projeccions globals. La mateixa definició del clima comporta un augment de la dificultat en la seva predicció a mesura que anem reduint l'escala espacial. En el cas de Catalunya, la predicció del clima futur per a una àrea tant petita serà altament complicada i incerta. La majoria de projeccions futures del clima que s'han analitzat en el present capítol corresponen a estudis sobre àrees més grans (la Mediterrània en el seu

conjunt, la península Ibèrica, o la costa mediterrània peninsular). Actualment es disposa de diverses metodologies per a la regionalització de les projeccions climàtiques –totes elles dependents dels models d'escala global–, que es poden agrupar en tres línies: l'anàlisi acurada dels resultats dels models globals; l'ús de models globals d'alta resolució o de tècniques d'aniuament (*nesting*) de models regionals (RCM); i les tècniques estadístiques per obtenir resultats d'escala més reduïda (*downscaling*).

En base a un conjunt de projeccions sobre el clima futur realitzades per diversos autors, que abasten àrees que inclouen el territori català, es pot concloure que l'augment de temperatura de l'aire a Catalunya serà superior al de la mitjana del planeta. Això voldria dir un augment a l'entorn de 3,5°C (entre 1,5 i 6,3°C) a finals del segle XXI. Aquest augment no seria ni uniforme en el temps (probablement amb augments més acusats a l'estiu que a l'hivern) ni en l'espai (probablement amb augments més importants a l'interior que a la costa).

Pel que fa a la precipitació, la situació és més complexa (com ja ho és l'estructura actual de la precipitació a Catalunya). Cal tenir present, però, que els diversos estudis d'escala regional donen prediccions diferents. Fent un esforç de síntesi, es pot dir que la precipitació a Catalunya no hauria de canviar de forma molt significativa, ja que les prediccions oscil·len entre disminucions moderades i augments molt lleugers. En termes generals hi ha acord a l'hora de predir disminucions petites o moderades (de fins un 20%) de la precipitació durant l'estiu; i augments petits (de fins un 10%) a l'hivern, sempre a finals del segle XXI. No s'han trobat prediccions de canvis significatius a la primavera, i pel que fa a la tardor la disminució seria encara més petita que la de l'estiu. L'únic estudi que permet distingir variacions espacials d'aquests canvis indica disminucions de precipitació a la zona del Pirineu i Pre-pirineu occidental i augments a la resta del territori.

En tot cas, encara queda pendent una gran tasca investigadora pel que fa a la regionalització de les projeccions sobre el canvi climàtic, amb un interès particular pel cas de Catalunya.

En el marc de la Conferència Mundial sobre Medi Ambient i Desenvolupament, celebrada a Rio de Janeiro el mes de juny de 1992, es va fer pública i patent la preocupació pel canvi climàtic i per la influència de les activitats humanes sobre aquest fenomen. A partir d'aquest moment s'han dedicat grans esforços a la predicció del clima del futur, tot i que cal dir que a nivell acadèmic i en entorns d'investigació ja feia temps que s'hi estava treballant. És fàcil entendre que la predicció del clima del futur és molt complexa. Primer, perquè encara hi ha mecanismes del sistema climàtic que no són del tot ben entesos pels experts que se n'ocupen. Segon, perquè en les projeccions futures hi ha dos factors que s'han de considerar: la variació «natural» del clima i la variació «antropogènica», el pes específic de cadascuna de les quals és difícil de determinar. Tercer, perquè aquesta darrera (la influència humana sobre el clima) depèn sobretot de l'activitat socio-econòmica i de les polítiques que s'emprenguin. Quart, perquè les pròpies projeccions, i la seva validesa i certesa, poden influir a les esmentades polítiques.

En qualsevol cas, és obvi l'interès i la importància de les projeccions del futur canvi climàtic. Aquestes es poden fer per diversos mitjans. Bàsicament, es poden fer:

a) En base a l'anàlisi dels canvis ja detectats en els darrers anys, que són projectats cap al futur.

b) Utilitzant models numèrics de simulació del clima.

D'aquestes dues metodologies, la primera ja ha estat tractada parcialment en capítols anteriors, de manera que aquest apartat estarà centrat en la segona. El capítol té una estructura ben senzilla. A la secció A6.1 es donen alguns fonaments per a la simulació climàtica, i sobretot, es descriuen les característiques dels models emprats actualment. També es descriuen resumidament les projeccions (escenaris) pel que fa a les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i d'aerosols, que són la base de les simulacions del clima. A la secció A6.2 es resumeixen els resultats de l'informe IPCC 2001 pel que fa al canvi climàtic a nivell global. A la secció A6.3 es presenten alguns resultats, tant de l'IPCC com d'altres treballs, sobre el canvi climàtic a escala regional, encara que sovint la regió analitzada és molt més gran que Catalunya.

A6.1. Bases de la simulació climàtica

A6.1.1. Models numèrics de simulació del clima

La majoria de les prediccions amb base científica del clima del futur, tant a escala global (per a tota la Terra) com regional (per a una part del planeta, com ara Europa, la Mediterrània Occidental o Catalunya), es basen en l'ús de *models numèrics de simulació del clima*. En efecte, els models climàtics són la millor eina –per no dir l'única– dispo-

nible actualment per simular la resposta del sistema climàtic global als canvis en la composició de l'atmosfera (Noguer, 2000). Efectivament, altres possibilitats, com ara l'extrapolació al futur de les tendències actuals o passades o altres esquemes empírics són insuficients per projectar el clima del futur, atesa la complexitat del sistema climàtic. Lògicament, aquesta complexitat fa que els models climàtics també siguin representacions simplificades de la realitat.

Per explicar què són aquests models és bo començar explicant, de forma simple, què és un model numèric de predicció del temps (els resultats dels quals són la base de la predicció meteorològica). Actualment, la majoria de models de predicció del temps resolen les equacions bàsiques de la dinàmica dels fluids (l'aire, en el cas de l'atmosfera) sobre un sistema de referència (la Terra) en rotació (Houghton, 1997). Aquestes equacions són l'equació de Navier-Stokes (és a dir, de balanç de quantitat de moviment, que normalment s'aplica a les seves components horitzontals), l'equació hidrostàtica (que correspon a l'anterior, per a la component vertical, i acceptant la situació habitual d'absència d'acceleracions verticals) i l'equació de continuïtat (de conservació de la massa). A més, lògicament, incorporen altres equacions: les lleis termodinàmiques (equació d'estat i conservació de l'energia) i les parametritzacions d'altres fenòmens, és a dir, les representacions simplificades de fenòmens com ara la transferència de radiació solar i terrestre, els processos convectius, els intercanvis de calor i aigua amb la superfície, el fregament viscos i la turbulència que provoca en la capa fronterera, així com els processos de canvis de fase de l'aigua i de precipitació.

Moltes d'aquestes equacions són diferencials i la seva resolució requereix una discretització de l'espai i el temps. Per tant, tot model porta associat una malla de treball: és a dir, la divisió del volum (pot ser tota l'atmosfera) en petites porcions, on es resolen les equacions esmentades. Típicament, per models de predicció del temps

d'abast global, la malla té una resolució d'uns pocs graus de latitud i longitud en l'horitzontal i d'uns centenars de metres en la dimensió vertical. Les malles sovint no són uniformes. També cal discretitzar el temps: atès que els models són de pronòstic (vol dir que evolucionen cap al futur a partir d'unes condicions inicials), cal escollir adequadament un pas temporal per poder trobar la solució, el qual pot ser un interval de minuts. Ateses les incerteses existents en les dades que són necessàries per inicialitzar els càlculs, les altes necessitats de temps de càlcul i la pròpia naturalesa caòtica de la dinàmica atmosfèrica, les prediccions amb aquests models meteorològics no se solen estendre més enllà d'uns pocs dies.

Encara que el fonament d'un model climàtic és exactament el mateix, hi ha diversos aspectes que el diferencien d'un model meteorològic. Aquestes diferències provenen del fet que un model climàtic ha de simular l'evolució del sistema climàtic (no només de l'atmosfera) per períodes de temps molt més llargs. Una primera diferència és que alguns valors que se solen mantenir fixos en els models meteorològics (temperatura dels oceans, composició de l'atmosfera, etc.) en un model climàtic són variables. Més concretament, en els models climàtics cal tenir ben presents les anomenades retroaccions (*feedbacks*), que poden amplificar (si són de signe positiu) o esmorteir (si són negatives) l'efecte d'un forçament radiatiu positiu. Entre les retroaccions positives cal esmentar les del vapor d'aigua, o la del gel-albedo. Entre les negatives, encara que amb gran incertesa, sembla que cal comptar la dels núvols.

Una segona diferència, conseqüència de l'anterior, és que cal incloure descripcions (equacions) que representin altres components del sistema climàtic. És a dir, un model meteorològic descriu el comportament de l'atmosfera, mentre que un de climàtic ha de descriure també els oceans, els gels, i potser fins i tot la biosfera. Hi ha encara, una tercera diferència, que també és

conseqüència de les anteriors: els models climàtics són més complexos (i exigents en recursos de càlcul) que els meteorològics, cosa que provoca que sovint es simplifiquin d'alguna manera. Una manera habitual de reduir el cost de càlcul és reduir la resolució espacial, és a dir, augmentar la grandària de les cel·les de la malla o, fins i tot, reduir la dimensionalitat, és a dir, considerar bandes latitudinals homogènies –models 2D–, o fins i tot el planeta conjuntament –models zero dimensionals–.

Aprofundint una mica en la descripció dels models climàtics, és bo fer-ho també des d'una perspectiva històrica. Inicialment (anys 1970) els models emprats per a la predicció del clima només resolien explícitament la descripció de l'atmosfera. Eren, per tant, extensions directes dels models de predicció del temps i fins i tot van manllevar-los el nom. Es tracta dels models de circulació global (*global circulation models*, GCM). És també en aquests anys que es comença a treballar amb models senzills, però conceptualment molt interessants, anomenats models d'equilibri radiatiu-convectiu (RCM) o models de balanç energètic (EBM). Aquests models permeten efectuar experiments, com ara canviar la intensitat de la radiació solar, la superfície gelada, etc. amb un cost de càlcul molt raonable. En tot cas, cap als anys 1980 els models de circulació global van incorporar representacions de les interaccions entre l'atmosfera i la superfície sòlida de la Terra, mentre que es comença a tenir present de forma explícita (però mitjançant models independents) els processos oceànics (incloent el gel marí). Atès que el model de circulació atmosfèrica GCM (o AGCM) i el de circulació oceànica (OGCM) s'executaven independentment, sovint es trobava una dificultat: el flux tèrmic entre atmosfera i oceà (que és una condició de contorn d'ambdós models) havia de ser diferent en l'un i en l'altre per tal d'obtenir resultats satisfactoris (és a dir, representacions que estiguessin d'acord amb les observacions). Per tant, hom parlava del problema de l'ajustament del flux (*flux adjustment*), un problema que va preocupar

els científics durant més d'una dècada, i que portava associat una manca de confiança en els models per part dels no científics.

A principis dels anys 90 del segle xx, els models atmosfèrics i oceànics es van començar a acoblar totalment, per obtenir els que s'anomenen CGCM (*coupled general circulation models*) o també AOGCM (*atmospheric oceanic general circulation models*). Alguns d'aquests models encara ajustaven el flux tèrmic entre l'oceà i l'atmosfera de forma artificial, però aquests desajustos s'han anat resolent a mesura que han millorat les representacions explícites o paramètriques dels diversos fenòmens implicats. Actualment, els models més sofisticats incorporen també representacions del cicle del carboni, és a dir, la predicció de la concentració de CO₂, dels aerosols de sofre i de la resta d'aerosols.

La tendència actual en el desenvolupament dels models va cap a la incorporació explícita de la química atmosfèrica i la dinàmica de la vegetació (incloent canvis d'usos del sòl i efectes de retroacció entre vegetació i atmosfera). En realitat, alguns models de baixa dimensionalitat (2D, latitud i altitud) ja descriuen tots aquests elements (Prinn *et al.*, 1999). Aquests darrers models sovint poden ser classificats dins els models del sistema terrestre de complexitat mitjana o EMIC (*Earth System Model of Intermediate Complexity*). Aquests models en alguns casos disminueixen resolució o dimensionalitat, però incorporen tots els fenòmens implicats en el sistema climàtic terrestre. Molts dels fenòmens hi apareixen parametritzats, però els models s'ajusten (es calibren) a d'altres models més sofisticats. És a dir, que els resultats són similars a models AOGCM però amb temps de càlcul més curts i assumibles (McGuffie i Henderson-Sellers, 2001).

Sigui com sigui, les intercomparacions entre models, les noves dades (principalment, les aconseguïdes des de satèl·lits), els ordinadors més potents, les millores de les parametritzacions dels fenòmens atmosfèrics i oceànics (que correspo-

nen a la millora de la comprensió d'aquests fenòmens) han anat millorant els models CGCM fins a un punt en què aquests ja són actualment acceptats com a eines de suport en la presa de decisions per part de diverses institucions privades i públiques, incloent-hi els governs (Grassl, 2000). En efecte, una qüestió que es planteja sovint és la següent: si els models de predicció del temps (meteorològics) no solen anar més enllà dels 8 o 10 dies de predicció fiable, com pot fer-se una previsió del clima, és a dir, com es pot fer una previsió de l'evolució del temps durant desenes d'anys? La resposta ve donada, parcialment, en la mateixa pregunta: es tracta de predir el clima, és a dir, les característiques estadístiques (mitjanes i variabilitats, per exemple) del temps, i no el temps d'un dia i lloc concret. Per altra banda, la influència sobre el clima de sistemes (com ara l'oceà) que es comporten segons escales de temps molt més llargues, també justifiquen la predictibilitat del clima.

L'augment en la confiança en els models climàtics que s'ha produït recentment es deu sobretot al fet que aquests presenten bons resultats quan se'ls apliquen diversos tests d'avaluació. Aquestes proves habitualment es poden resumir en quatre (Grassl, 2000):

- a) Capacitat de reproduir adequadament el clima actual,
- b) Capacitat de reproduir (amb la variabilitat interanual i decadal inclosa) els canvis des de l'inici del període instrumental (és a dir, fa de l'ordre de 100 anys), quan són executats amb la corresponent història de forçaments externs (incloent l'augment del CO₂ o les erupcions volcàniques com la del Pinatubo, produïda l'any 1991),
- c) Capacitat de reproduir una situació climàtica ben diferent del passat, derivada del registre paleoclimàtic, i quan són executats amb el corresponent forçament extern d'aquell temps,
- d) Capacitat de reproduir, a grans trets, un canvi sobtat del clima en el passat.

La majoria de models CGCM que s'estan utilitzant actualment superen sense problemes els dos primers tests. També reproduïxen molts dels trets del clima del passat (per exemple, del darrer màxim glacial fa uns 20.000 anys, o del període càlid de fa uns 6.000 anys), però no totes les seves característiques. Pel que fa a la quarta prova, només s'ha pogut aplicar (amb èxit) a models de complexitat mitjana, ja que els més sofisticats (o d'alta resolució) necessiten massa recursos de càlcul per simular transitoris de llarga durada.

Les prediccions sobre el clima del futur que es fan en el darrer informe del IPCC estan basades en els resultats d'un nombre limitat de models, la majoria dels quals queden recollits, amb les seves característiques principals, a la taula A6.1. Alguns dels resultats referents al clima futur a Catalunya que es presentaran més endavant (a la secció A6.3) també es basen de forma important en els resultats d'alguns d'aquests models. Cal destacar que tots els models emprats han estat desenvolupats o s'utilitzen en l'actualitat en centres de recerca de tant sols 8 estats (Estats Units d'Amèrica, Canadà, Alemanya, Regne Unit, França, Xina, Japó i Austràlia).

A6.1.2. Forçament radiatiu i resposta climàtica

El canvi en el clima poden ser el resultat tant de la variabilitat interna del propi sistema climàtic, com de factors externs. Aquests darrers poden tenir un origen natural o també poden ser causats per l'activitat humana (origen antropogènic). Per tal de valorar de forma relativa els diversos factors externs, és molt convenient el concepte de *forçament radiatiu*, que pot ser entès com el canvi en el flux net de radiació que es troba disponible per part del sistema terra-atmosfera. Un forçament radiatiu positiu, com per exemple el que produeixen els gasos amb efecte d'hivernacle, tendeix a escalfar la superfície de la Terra. Un forçament negatiu, com per exemple el que podria derivar-se de l'augment d'alguns tipus d'aerosols a la troposfera, tendeix a refredar la superfície. Cal tenir present que factors naturals, com ara una variació de l'energia que

N	Nom del model	Centre	País	Resolució a l'atmosfera	Resolució als oceans	Flux A-O
1	ARPEGE/OPA1 ARPEGE/OPA2	CERFACS	França	5,6 x 5,6 L30 3,9 x 3,9 L19	2,0 x 2,0 L31 2,0 x 2,0 L31	- -
2	BMRCa BMRCb	BMRC	Austràlia	3,2 x 5,6 L9 3,2 x 5,6 L17	3,2 x 5,6 L12 3,2 x 5,6 L12	- H,W
3	CCSR/NIES	CCSR/NIES	Japó	5,6 x 5,6 L20	2,8 x 2,8 L17	H,W
4	CGCM1 CGCM2	CCCma	Canadà	3,8 x 3,8 L10 3,8 x 3,8 L10	1,8 x 1,8 L29 1,8 x 1,8 L29	H,W H,W
5	COLA1 COLA2	COLA	Estats Units d'Amèrica	4,5 x 7,5 L9 4 x 4 L18	1,5 x 1,5 L20 3,0 x 3,0 L20	- -
6	CSIRO Mk2	CSIRO	Austràlia	3,2 x 5,6 L9	3,2 x 5,6 L21	H,W,M
7	CSM 1.0 CSM 1.3	NCAR	Estats Units d'Amèrica	2,8 x 2,8 L18	2,0 x 2,4 L45	-
8	ECHAM1/LSG ECHAM3/LSG ECHAM4/OPYC3	DKRZ	Alemanya	5,6 x 5,6 L19 5,6 x 5,6 L19 2,8 x 2,8 L19	4,0 x 4,0 L11 4,0 x 4,0 L11 2,8 x 2,8 L11	H,W,M H,W,M H,W
9	GFDL_R15_a GFDL_R15_b GFDL_R30_c	GFDL	Estats Units d'Amèrica	4,5 x 7,5 L9 4,5 x 7,5 L9 2,25 x 3,75 L14	4,5 x 3,7 L12 4,5 x 3,7 L12 1.875 x 2.25 L18	H,W H,W H,W
10	GISS1 GISS2	GISS	Estats Units d'Amèrica	4,0 x 5,0 L9 4,0 x 5,0 L9	4,0 x 5,0 L16 4,0 x 5,0 L13	- -
11	GOALS	IAP/LASG	Xina	4,5 x 7,5 L9	4,0 x 5,0 L20	H,W,M
12	HadCM2 HadCM3	UKMO	Regne Unit	2,5 x 3,75 L19 2,5 x 3,75 L19	2,5 x 3,75 L20 1,25 x 1,25 L20	H,W -
13	IPSL-CM	IPSL/LMD	França	5,6 x 3,8 L15	2,0 x 2,0 L31	
14	MRI1 MRI2	MRI	Japó	4,0 x 5,0 L15 2,8 x 2,8 L30	2,0 x 2,5 L21 2,0 x 2,5 L23	H,W H,W,M
15	NCAR1	NCAR	Estats Units d'Amèrica	4,5 x 7,5 L9	1,0 x 1,0 L20	-
16	NRL	NRL	Estats Units d'Amèrica	2,5 x 2,5 L18	1,0 x 2,0 L25	H,W
17	DOE PCM	NCAR	Estats Units d'Amèrica	2,8 x 2,8 L18	0,67 x 0,67 L32	-

Notes: Tant la resolució atmosfèrica com als oceans es dona en graus de latitud per graus de longitud. En molts casos, especialment en els models espectrals, són valors aproximats per permetre comparacions. Pel que fa a la vertical, la xifra que segueix a la L indica el nombre de capes emprades. A la columna Flux A-O s'indica quins tipus de fluxos entre l'oceà i l'atmosfera s'han ajustat en cada cas: H = flux de calor; W = flux d'aigua dolça; M = flux de quantitat de moviment. Quan en una mateixa fila hi ha diferents noms de models vol dir, en realitat, el mateix model desenvolupat o emprat en un centre, amb petites variacions de resolució o de parametritzacions.

Taula A6.1. Algunes de les característiques dels models AOGCM emprats en el darrer informe de l'IPCC.

Font: Elaboració pròpia en base a una taula d'aquest informe (Houghton et al., 2001).

prové del sol o una erupció volcànica, poden provocar també forçament radiatiu.

La definició rigorosa del forçament radiatiu és la següent: és el canvi provocat per una pertorbació o per la introducció d'un agent a l'atmosfera, en la irradiància (incloent radiació solar i terrestre i en unitats de $W m^{-2}$) neta a la tropopausa, després de permetre que les temperatures estratosfèriques s'ajustin al nou balanç radiatiu, però mantenint sense canvis les temperatures i altres variables atmosfèriques a la superfície i a la troposfera. S'entén que es calcula la mitjana de la irradiància neta a tot el planeta i per un període de temps prou llarg per eliminar la variabilitat pròpia del sistema climàtic. Aquesta definició presenta alguns problemes en la seva aplicació pràctica, especialment quan es vol assignar un forçament radiatiu a un factor o agent que provoca els canvis a través de canvis en l'estat de la

troposfera. No obstant això, ha estat molt útil per tal de relativitzar la importància dels diferents factors que potencialment podrien haver alterat el clima en el passat o podrien fer-ho en el futur.

Així, els successius informes de l'IPCC presenten gràfiques del forçament radiatiu de cadascun dels agents des del temps preindustrials fins al present. En el darrer informe, els forçaments es presenten per 12 agents diferents, per al període entre 1750 i 2000, i amb les seves respectives incerteses (figura A6.1). Cal destacar que el forçament radiatiu positiu dels gasos amb efecte d'hivernacle (CO_2 , CH_4 , N_2O , halocarbur) arriba als $2,5 W m^{-2}$, que el forçament negatiu atribuïble a la pèrdua d'ozó estratosfèric es podria veure sobradament compensat pel forçament positiu a causa de l'augment de l'ozó troposfèric, i que l'efecte dels aerosols, tant directe com indi-

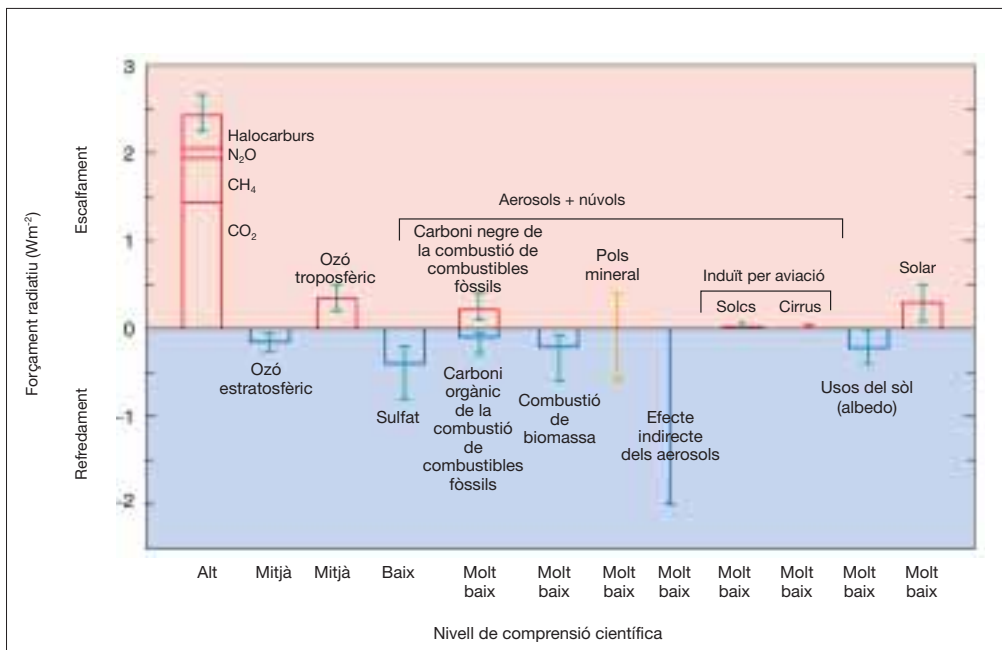


Figura A6.1. Mitjana anual (Wm^{-2}) dels forçaments radiatius globals entre abans de la revolució industrial (1750) i l'actualitat (2000). Es mostra la millor estimació (barres) i la incertesa subjectiva associada. Cal fer notar que el forçament d'alguns components només presenta incertesa, i en el cas de la pols mineral, fins i tot el signe del forçament és incert. Només el forçament dels gasos amb efecte d'hivernacle (els de la primera barra) es considera molt ben entès. El forçament de l'ozó es considera moderadament entès, el dels aerosols de sofre, de forma baixa, mentre que la resta de casos es considera que es troben en un nivell de comprensió molt baix.

Font: Houghton et al., 2001.

recte, tot i que amb gran incertesa i amb manques importants del coneixement dels mecanismes, pot ser el d'un forçament negatiu.

L'interès pràctic del concepte de forçament radiatiu es fonamenta en l'assumpció que, en general, hi ha una relació entre l'esmentat forçament i el canvi en la temperatura global mitjana de la superfície, i que aquesta relació és independent de l'agent o mecanisme que provoca el forçament. De manera molt general, es pot representar el canvi de temperatura mitjana superficial global utilitzant una simplificació del balanç energètic del sistema climàtic, que es pot expressar com:

$$\frac{dH}{dt} = F - \alpha T$$

on dH/dt és la taxa amb què el sistema emmagatzema calor (igual a 0 en una situació d'equilibri), F és el forçament radiatiu, i αT és l'efecte net dels processos que actuen per contrarestar els canvis de forçament.

Tots els termes, en realitat, indiquen els canvis respecte l'estat climàtic d'equilibri no pertorbat. Per exemple, un forçament radiatiu positiu ($F > 0$) implicarà un augment de temperatura. La magnitud d'aquest augment dependrà dels mecanismes implicats, que es representen al terme αT . Com més gran és α , més petit és el canvi de temperatura necessari per contrarestar un forçament radiatiu i tornar el sistema a l'equilibri.

El ritme d'emmagatzematge de calor dH/dt és, bàsicament, el ritme amb què la calor s'emmagatzema a l'oceà. Per tant és habitual escriure:

$$F = \alpha T + F_o$$

on F_o és el flux de calor cap a l'oceà. Aquesta equació s'interpreta com que davant d'un forçament radiatiu es respon amb un canvi de temperatura i amb l'aparició d'un flux de calor cap a l'oceà (profund).

L'informe de l'IPCC 2001 (Houghton *et al.*, 2001) defineix el paràmetre de sensibilitat climàtica λ com l'invers de α (suposant que el sistema ha tornat a l'equilibri):

$$\lambda = T / F$$

En els models unidimensionals radiatius-convectius, en l'àmbit dels quals inicialment es va definir aquest paràmetre, el seu valor és gairebé invariant respecte de l'agent que provoca el forçament –a l'entorn dels 0,5 K / (W m⁻²)–. No obstant això, quan s'intenta calcular aquest paràmetre amb els models més sofisticats (models de circulació global atmosfèrica i oceànica, AOGCM) s'obtenen valors que depenen del model escollit i de l'agent que provoca el canvi. Tot i així, el rang de valors del paràmetre de sensibilitat climàtica no és excessivament gran, i hom acostuma a considerar una variació en λ d'un 25% a l'entorn del valor ja esmentat. Quan es parla d'un model o simulació amb alta sensibilitat climàtica, es vol indicar que es tracta d'un cas en què amb un forçament radiatiu positiu d'1 W m⁻², l'augment de la temperatura d'equilibri és superior a 0,5 K, mentre que amb un model de baixa sensibilitat, l'augment és inferior a 0,5 K.

Sovint (de fet, el mateix informe IPCC 2001 ho fa) s'utilitza una altra definició per al que s'anomena, de manera molt semblant, sensibilitat climàtica en equilibri. Es tracta de la resposta del clima (l'augment de temperatura d'equilibri, T_{2x}) a la duplicació del contingut de CO₂ a l'atmosfera i al seu corresponent forçament radiatiu F_{2x} (vegeu, per exemple, Houghton, 1997). Com que és evident que:

$$T_{2x} = F_{2x} / \alpha$$

resulta que aquesta sensibilitat climàtica (mesurada en graus de temperatura) és inversament proporcional a α o, el que és el mateix, directament proporcional al paràmetre de sensibilitat climàtica λ . El càlcul de la sensibilitat climàtica

en equilibri s'ha de realitzar amb l'ús de models. Típicament, s'imposa un creixement de l'1% anual en la concentració de CO₂ (és un creixement més elevat que el que s'observa actualment, però si es té en compte l'efecte equivalent de la resta de gasos amb efecte d'hivernacle, és un valor raonable) fins que s'assoleix la situació en què la concentració de CO₂ s'ha duplicat. En aquest moment s'atura la introducció de CO₂, però els models han de seguir corrent, ja que encara no s'ha assolit l'equilibri (és a dir, la situació en què $F_0 = 0$). De fet, la temperatura que prediu el model en el moment en què s'assoleix la duplicació de la concentració de CO₂ ($2 \times \text{CO}_2$) s'anomena resposta climàtica transitòria (TCR). Per arribar a assolir l'equilibri, es requereix més o menys temps (de simulació) depenent de si el model és totalment acoblat (atmosfera-oceà) o només representa la capa de barreja oceànica. En tot cas, un valor típic de la sensibilitat climàtica en equilibri és d'uns 3,0°C, que es correspon aproximadament al ja esmentat 0,5K/Wm⁻² per al paràmetre de sensibilitat. És important destacar que hi ha una diferència significativa entre T_{2x} i TCR. Això vol dir que encara que en un moment determinat s'aturi l'augment del forçament radiatiu, no s'aturarà l'augment de temperatura fins molts més anys després (i la temperatura final serà més alta que la que hi havia en el moment en què es va aconseguir estabilitzar les concentracions de gasos amb efecte d'hivernacle).

Per evitar simulacions molt llargues (i costoses en temps de càlcul) és habitual utilitzar una altra característica per descriure un model. Es tracta de la sensibilitat climàtica efectiva T_e . Aquesta es calcula com:

$$T_e = T \frac{F_{2x}}{F - F_0}$$

on T i F són la temperatura i el forçament radiatiu, respectivament, en un moment de la simulació. És obvi que quan aquesta ha assolit

l'equilibri, $F_0 = 0$, $T = T_{2x}$, i $F = F_{2x}$, i per tant, $T_e = T_{2x}$.

A6.1.3. Els escenaris de l'informe de l'IPCC 2001

Els anomenats escenaris per a la predicció del clima futur són les estimacions dels canvis futurs (en particular, de les emissions dels gasos amb efecte d'hivernacle, dels aerosols de diverses menes i dels canvis en els usos dels sòls) calculades a partir de prediccions del creixement (econòmic, demogràfic, tecnològic). Evidentment, aquestes prediccions presenten una alta incertesa, ja que inclouen aspectes tant complicats com les decisions polítiques (que es poden veure influïdes per les pressions per protegir el medi ambient), el desenvolupament de noves fonts d'energia, i en general, l'evolució del comportament humà.

En l'informe de l'IPCC de 1995 (publicat el 1996), les projeccions del clima del futur s'havien fet en base a una col·lecció de previsions de creixement que formaven el que es va anomenar conjunt dels escenaris IS92. Posteriorment, el 1996, es va començar a treballar en l'informe especial sobre escenaris d'emissions (SRES, *Special Report on Emissions Scenarios*), on es desenvolupaven fins a una quarantena de possibles evolucions futures de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i aerosols com a resultat de diverses evolucions del desenvolupament mundial. Una característica comuna a tots els escenaris presentats és que cap d'ells no inclou explícitament una aplicació del Conveni Marc de les Nacions Unides sobre Canvi Climàtic o del Protocol de Kyoto. En canvi, sí que alguns dels escenaris preveuen canvis en les emissions derivats de l'aplicació de regulacions relatives a la contaminació atmosfèrica.

Tots els escenaris del SRES es poden agrupar en 4 famílies, que corresponen a 4 línies evolutives (*storylines*), que s'han vingut a anomenar A1, A2, B1 i B2. Les característiques fonamentals de cadascuna d'aquestes famílies es descriuen a continuació (Houghton et al., 2001).

A1 Es tracta de suposar un creixement econòmic ràpid, un creixement demogràfic fins al 2050 i un decreixement subseqüent, i una ràpida introducció de noves tecnologies més eficients. Suposa també convergència entre les diverses regions del planeta, entenent que això vol dir una disminució substancial de les diferències entre les rendes *per capita* de les diverses zones de la Terra, que s'aconseguiria simultàniament a un augment de les relacions socials i culturals entre aquestes diverses regions. En aquest grup d'escenaris se'n poden distingir tres subgrups d'escenaris, segons el desenvolupament tecnològic en el camp de l'energia:

- A1FI: ús intensiu dels combustibles fòssils.
- A1T: ús d'energies no basades en combustibles fòssils.
- A1B: ús equilibrat de diverses fonts d'energia, incloent també les basades en combustibles fòssils però acceptant millores tecnològiques en totes elles.

B1 L'evolució demogràfica suposada és la mateixa que en els escenaris A1. No obstant això, aquí es suposen canvis ràpids en les estructures econòmiques, incloent una economia basada en els serveis i la informació, la reducció en la intensitat d'ús de materials i la introducció de tecnologies netes i eficients quant a l'ús de recursos. En aquest conjunt d'escenaris, l'aproximació al desenvolupament sostenible, que tendeix també cap a la equitat, es realitza des d'una perspectiva més aviat global.

A2 Aquesta família inclou els escenaris que presenten un món heterogeni (com ara el present). És a dir, les diferències en el creixement demogràfic es mantenen, implicant un creixement de població mundial sostingut. Les diferències econòmiques (renda per càpita) i tecnològiques entre diverses regions del planeta es mantenen o augmenten.

B2 Aquí, la sostenibilitat s'aproxima sota una perspectiva més aviat local o regional. La població creix contínuament, però més lentament que en el cas A2. També el creixement econòmic i els canvis tecnològics són més lents, però en canvi, s'orienten de diverses maneres.

Per cada família (o subfamília, en el cas de la línia evolutiva A1), es van generant una sèrie d'escenaris diferents, que s'agrupen al seu torn entre els harmonitzats (que comparteixen –per cada línia evolutiva– idèntics valors per a la població, producte interior brut mundial i consum d'energia final) i la resta (que exploren l'efecte de la incertesa associada –per cada línia evolutiva–, als esmentats valors). En tot cas, tots els escenaris, fins a un total de 40, són en principi igualment plausibles i probables. L'informe SRES no assigna una certesa més gran a cap d'ells. No obstant això, el mateix informe proposa un escenari de cada família (i subfamília) que podem anomenar indicatiu o il·lustratiu (*marker scenario*), que és el que s'ha utilitzat preferentment en les anàlisis posteriors. Cal també esmentar que la majoria de projeccions del clima del futur, basades en models i incloses en l'informe IPCC 2001, es van començar a realitzar a partir de 1998, quan la comissió que elaborava el SRES encara no havia completat els seus treballs. Per tant, es va treballar sobre uns esborranys d'escenaris, que no sempre han resultat exactament iguals als proposats per l'informe final del SRES. De totes maneres, això no canvia substancialment el valor que tenen les anàlisis climàtiques desenvolupades en base als esborranys d'escenaris indicatius que es van utilitzar.

El desenvolupament demogràfic, econòmic, energètic, tecnològic i normatiu associat a cada escenari dóna com a resultat (pel que fa al canvi climàtic) uns valors d'emissions dels diversos gasos amb efecte d'hivernacle i d'aerosols (figura A6.2). Els escenaris SRES contempnen explícitament les emissions d'aerosols de sofre, però no d'altres aerosols com els que es produeixen en la combustió de biomassa (crema de boscos). Aquestes darreres emissions són estimades, habitualment, en base al ritme de desforestació. Al seu torn, les emissions es converteixen en unes concentracions globals (no necessàriament homogènies) de les esmentades substàncies (figura A6.3). Lògicament, per tal de convertir les emissions en concentracions presents en l'atmosfera,

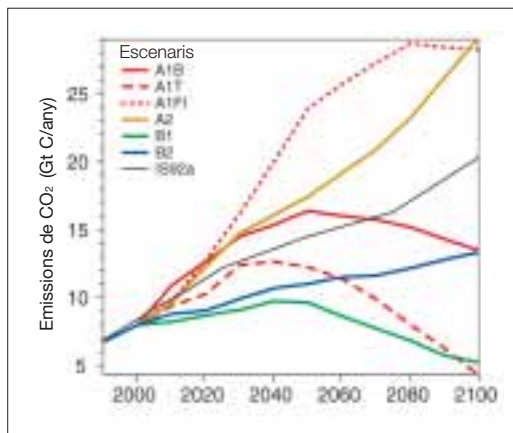


Figura A6.2. Emissions anuals de CO₂ fins l'any 2100, segons els escenaris principals descrits pel SRES, així com per l'escenari IS92a, que va ser emprat en el segon informe de l'IPCC, de l'any 1995. Font: Houghton et al., 2001.

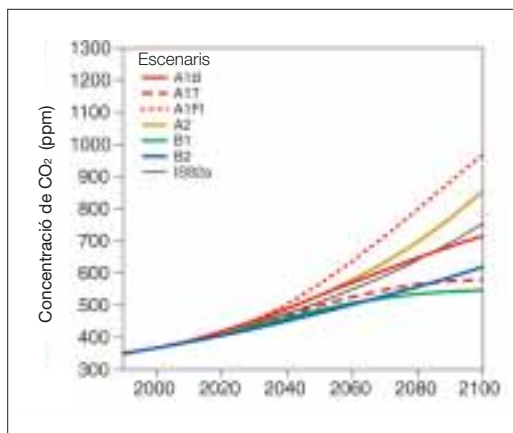


Figura A6.3. La concentració de CO₂ a l'atmosfera, com a resultat de les emissions presentades en la figura anterior. Noteu que malgrat en alguns escenaris les emissions comencen a disminuir cap a mitjan de segle, la concentració segueix augmentant, atès que l'escala de temps característica per assolir un nou equilibri en la concentració de CO₂ és d'uns 200 anys. Font: Houghton et al., 2001.

calen models dinàmics que representin la física i la química de les diverses substàncies i, en particular, dels processos d'intercanvi entre els diversos compartiments del sistema climàtic. Finalment, la presència dels diversos compostos a l'atmosfera, al llarg del temps, provoca un forçament radiatiu. L'evolució amb el temps d'aquest

forçament, sempre en base a l'any 1750 i calculat a partir d'un model simple ajustat a models més complexos del clima, es presenta a la figura A6.4.

A6.2. Projeccions a escala global

A6.2.1. Mètodes de simulació a escala global

L'eina bàsica per a la projecció o predicció del clima del futur, com s'ha apuntat a l'apartat A6.1.1 d'aquest mateix capítol, són els models numèrics del clima i, més concretament, els CGCM o AOGCM. També s'ha comentat que aquests models requereixen grans recursos de càlcul. Això és fàcil d'entendre: cal resoldre totes les equacions abans esmentades, en una malla que pot tenir fàcilment diversos centenars de milers de cel·les, i durant milions de passos de temps (100 anys de simulació amb passos temporals de ½ hora). Per tant, és fàcil entendre que quan es tracta de fer diverses (o moltes) simulacions del clima del futur per tal d'investigar els diversos escenaris o l'efecte de la incertesa en les condicions inicials, no es pot fer sempre amb execucions (integracions) dels models complets.

Així, en les projeccions del clima del futur a escala global, és habitual emprar tota la jerarquia de models disponible. És a dir, s'utilitzen els models complexos AOGCM per segons quines anàlisis que volen ser més detallades, models de complexitat mitjana quan es volen integrar, encara que sigui de manera simple, tots els components del sistema climàtic, i models més senzills (fins els zero dimensionals) quan es desitja analitzar diversos escenaris d'emissions o assumpcions en paràmetres incerts. Cal recordar que els models simples o de complexitat mitjana són ajustats per tal que reproduïxin fidelment els resultats dels models complexos AOGCM.

Evidentment, tot model pot acabar donant alguns errors en les seves simulacions, entenen per errors desviacions respecte a allò que ens indiquen les mesures. Aquests errors poden ser atribuïbles a la limitació de les representacions matemàtiques dels fenòmens implicats, a la resolució

de la malla de treball, a l'exclusió d'alguns fenòmens, etc. En tot cas, habitualment s'utilitza una estratègia per tal d'eliminar al màxim possible aquests errors de les prediccions del clima futur, que consisteix en fer primer una simulació sense canvis en els forçaments radiatius. Aquesta simulació s'anomena de *control*. Després s'executen les simulacions que realment interessin, és a dir, aquelles que exploren l'efecte d'algun canvi (normalment, la concentració de gasos amb efecte d'hivernacle) sobre el clima futur. El que es considera en les anàlisis no és el clima que resulta d'aquestes darreres simulacions, sinó les diferències entre el clima d'aquestes i el de la simulació *control*. D'aquesta manera, hom creu que s'eliminen els efectes d'ajustaments artificials o d'errors sistemàtics. Evidentment, atesa la naturalesa no lineal del sistema, poden quedar-hi altres errors o fonts de divergència respecte a les mesures. Això darrer és el que explica que no hi hagi dos models, que amb el mateix forçament radiatiu i les mateixes condicions inicials, donin exactament el mateix resultat.

Un altre problema és el que va associat a la *variabilitat natural*. Per poder-ho entendre millor, cal imaginar-se que es vol descriure la temperatura característica del clima actual. Això no es podria fer considerant les temperatures mesurades un any determinat, ja que aquestes podrien ser diferents de les mesurades l'any anterior o el següent, fins i tot en un clima no canviant. Per tal de descriure el clima, cal fer una mitjana sobre un període prou llarg de temps, mentre que la variància de la sèrie de dades de temperatura serà un reflex de la variabilitat característica d'aquell clima. Ara bé, al mateix temps, aquesta variabilitat es comporta com un *soroll* respecte al *senyal*, que correspondria al clima que volem descriure. Quan es vol projectar, mitjançant els models, el clima de futur com a conseqüència de canvis en el sistema climàtic, cal discernir, d'en-

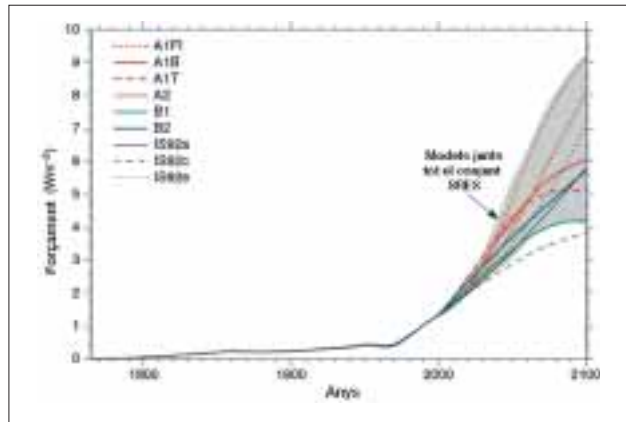


Figura A6.4. El forçament radiatiu des de 1750 fins a l'any 2100, calculat segons els diferents escenaris de l'informe SRES. En diversos colors es representen els escenaris principals i l'ombregat gris cobreix tots els escenaris analitzats en l'informe. També s'inclouen alguns escenaris entre els emprats en l'anterior informe del IPCC, de 1995 (IS92a,c,e).

Font: Houghton et al., 2001.

tre els resultats dels models, el senyal respecte del soroll.

Per fer front a aquest problema s'utilitza la tècnica del conjunt o col·lectivitat de simulacions (*ensembles*). En el cas d'un sol model, consisteix en fer diverses integracions (execucions) amb el mateix forçament, però amb petites diferències en les condicions inicials. Com que el forçament és el mateix, la part determinista del canvi climàtic serà la mateixa en les diverses integracions i les diferències entre els resultats caldrà assignar-les a la variabilitat natural que genera el model. Així, fent la mitjana entre els diversos casos es pot obtenir una millor estimació del canvi climàtic provocat pel forçament que si es fes una sola simulació, i quants més casos es realitzin millor serà la relació entre el senyal i el soroll. Altres alternatives per disminuir l'efecte de la variabilitat (el soroll) són les de fer mitjanes per regions geogràfiques, bandes latitudinals (mitjanes zonals) o mitjanes globals.

Per anar encara més enllà i augmentar el nivell de confiança en les projeccions del clima futur, es solen fer també simulacions per conjunts

considerant diversos models (*multi-model ensembles*). En efecte, ja s'ha dit que actualment es disposa de l'ordre de 20 models AOCGM igualment plausibles, però que donen resultats lleugerament diferents associats a la diversitat de resolucions espacials i de representacions dels fenòmens. Suposant, doncs, que tots els models són igualment correctes i que les diferències entre els seus resultats són conseqüència de la variabilitat pròpia del sistema, la mitjana dels resultats del conjunt de simulacions serà una bona aproximació a la resposta del sistema (és a dir, al canvi climàtic). La dispersió dels resultats individuals de cada model (mesurada mitjançant la variància) és una indicació de la incertesa dels resultats. En general, aquesta incertesa augmenta a mesura que les simulacions s'allarguen en el temps i és més gran per a variables com la precipitació que per a la temperatura.

A part de la incertesa de la variabilitat, cal tenir present que les projeccions del clima futur efectuades mitjançant models tenen altres fons d'incertesa: en primer lloc, la que es deriva del desconeixement de les emissions futures i del forçament radiatiu associat (incertesa dels escenaris de forçament); en segon lloc, la que es deriva dels propis models, és a dir, del possibles errors sistemàtics que aquests poden contenir (incertesa de la resposta dels models); i en tercer lloc, la incertesa dels processos físics que no estan representats correctament, o senzillament, no són presents en els models (incertesa associada al processos). La darrera es pot disminuir mitjançant l'avaluació dels models, de manera que aquests siguin capaços de reproduir el clima present. La segona es mesura en part mitjançant les tècniques de simulació per conjunts, però mai no es pot estar segur que en el procés d'ajustament s'eliminin els diversos errors sistemàtics o que un model particularment diferent dels altres no faci augmentar molt el nivell de variabilitat o incertesa associada a la predicció.

Pel que fa als tipus de simulacions que es realitzen per tal de fer prediccions del canvi climàtic,

es poden classificar en tres categories. En primer lloc, i amb l'objectiu de comparar els diversos models i de calibrar-los, es fan simulacions on se suposa un augment constant de l'1% en la concentració de CO₂. Ja s'ha comentat que aquest augment és aproximadament el doble que l'augment observat del CO₂ però, si es mira a partir del forçament radiatiu que significa, correspon aproximadament a l'augment conjunt de tots els gasos amb efecte d'hivernacle. Les simulacions d'aquest tipus van ser la base del projecte CMIP (*Coupled Model Intercomparison Project*). En segon lloc, hom acostuma a fer una sèrie d'integracions que comencen en algun moment del segle XIX i continuen durant tot el segle XX. Això permet, d'una banda, comparar els resultats dels models amb les observacions i, sobretot, permet iniciar les simulacions de la darrera categoria a partir de l'estat final, dinàmic, d'aquestes simulacions. És a dir, serveixen en part per disminuir el problema d'iniciar una simulació des d'una situació estàtica, allò que es coneix com l'arranca-da en fred (*cold start*).

Finalment, la tercera categoria o conjunt de simulacions –la més interessant– inclou les integracions que utilitzen com estat inicial la situació al final del segle XX (segons els resultats de l'anterior conjunt) i assumeix els forçaments corresponents als diversos escenaris SRES. En l'informe IPPC 2001 es van simular sobretot els escenaris A2 i B2, que estan a la banda alta i baixa dels forçaments previstos respectivament. Com ja s'ha apuntat anteriorment, es poden realitzar moltes altres simulacions equivalents a aquestes, per a molts diversos escenaris, mitjançant models més senzills que reproduïen els resultats dels AOGCM (i així es contempla a l'informe IPCC 2001).

A6.2.2. Resposta global del clima

Malgrat que, com s'ha vist a la secció anterior, es poden fer un gran nombre de simulacions diferents per projectar el clima del futur, aquest apartat està dedicat a les simulacions que corresponen als escenaris de l'informe SRES. Un altre

comentari inicial que cal fer és que en els informes de l'IPCC la descripció del clima es fa gairebé de forma exclusiva a partir de les variables temperatura i precipitació. En poques ocasions s'analitzen altres variables, com ara pressió, humitat relativa, nuvolositat, etc. Aquestes seran doncs les variables que també es presentaran aquí.

En primer lloc, a la figura A6.5 es presenta l'evolució futura prevista de la temperatura mitjana del planeta, per 9 simulacions diferents realitzades amb 9 models AOGCM diferents, totes elles amb els escenaris d'emissions i forçaments SRES A2 i B2. En el cas de l'escenari A2, l'augment de la temperatura mitjana entre els anys 2071 i

2100 respecte la mitjana dels anys 1960 a 1990 és de 3,0°C, amb un rang segons els diversos models d'1,3 a 4,5°C. Per a la mitjana dels anys 2021-2050, l'augment és d'1,1°C amb un rang de 0,5 a 1,4°C. Els valors corresponents de l'escenari B2 són de 2,2°C amb un rang de 0,9 a 3,4°C per a finals de segle, i 1,2°C amb un rang de 0,5 a 1,7°C per a la meitat del segle. És a dir, en conjunt tots els models preveuen augments de temperatura, que són gairebé iguals per als dos escenaris a mitjans de segle, i més alts per l'escenari A2 a finals de segle. Això és força lògic, ja que l'escenari A2 presenta un forçament radiatiu més alt que el B2 a partir d'aproximadament de l'any 2040.

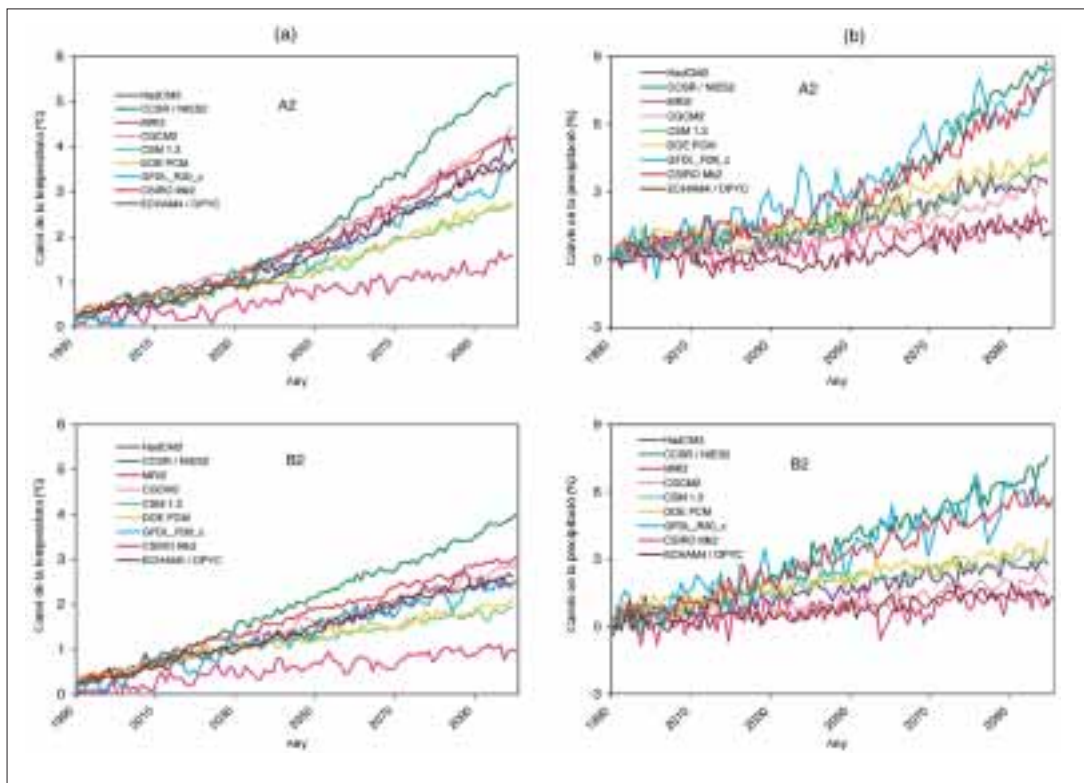


Figura A6.5. Evolució temporal de la temperatura i precipitació (canvis respecte els valors mitjans del període 1961-1990) previstos per diversos models AOGCM i emprant els escenaris A2 i B2 generats pel SRES pel que fa a les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i aerosols. Els models emprats es troben descrits a la taula A6.1, tot i que en alguns casos, les presents simulacions s'han efectuat amb versions una mica modificades dels models allí descrits.

Font: Houghton et al., 2001.

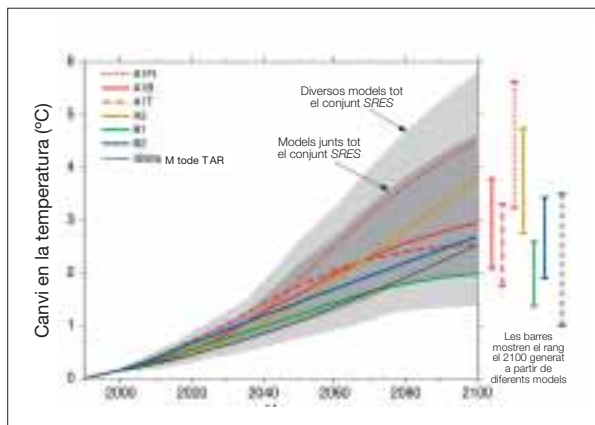


Figura A6.6. Evolució temporal de la temperatura (canvi respecte la temperatura global mitjana de l'any 1990) previstos pel models senzill ajustat a diversos models AOGCM i emprant tots els escenaris SRES. Es destaquen en colors els sis escenaris principals, i també es mostren els resultats pels escenaris IS92 emprats en l'anterior informe de l'IPCC.

Font: Houghton et al., 2001.

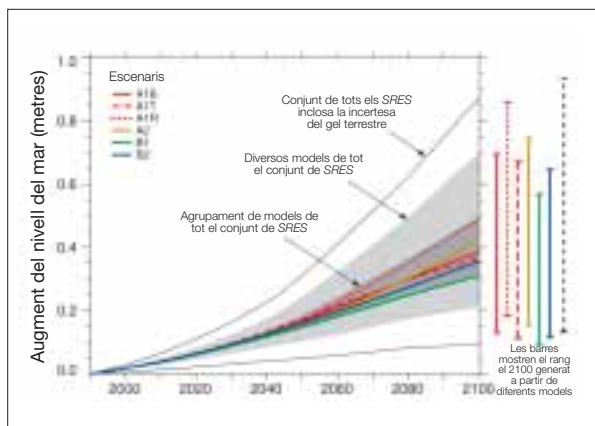


Figura A6.7. Evolució temporal de l'augment del nivell del mar entre els anys 1990 i 2100 pels diversos escenaris SRES. Les principals contribucions a l'augment del nivell del mar (dilatació tèrmica i canvis en el gel continental) s'han calculat amb un model simple ajustat a 7 models AOGCM. Es donen les evolucions mitjanes previstes, i la incertesa (el rang de resultats obtinguts amb els diferents models AOGCM) pel 2100, per cadascun dels 6 escenaris principals (línies de colors). Els ombrejats corresponen a les simulacions efectuades amb tots els escenaris SRES. Les línies negres més externes inclouen els efectes d'afegir la incertesa en la resposta dels gels terrestres, del permafrost i de la deposició de sediments.

Font: Houghton et al., 2001.

En la mateixa figura A6.5 es mostren les prediccions pel que fa a la precipitació segons les mateixes simulacions. En l'escenari A2, l'augment de precipitació a finals de segle és, en mitjana, del

3,9%, amb un rang entre l'1,3 i el 6,8%. A mitjans de segle, la mitjana d'augment de la precipitació és d'1,2%. En l'escenari B2, a finals de segle l'augment de precipitació és de 3,3% [1,2-6,1%], i a mitjans de segle, d'un 1,6%. Tots els models i escenaris preveuen, doncs, un augment en la mitjana global de precipitació.

Les mateixes simulacions es poden analitzar amb més detall. Atès que són integracions de models AOGCM, donen molta més informació (tant en l'espai com en el temps) que les mitjanes comentades. Més concretament, es poden extreure les següents conclusions, en les que estan d'acord majoritàriament tots els models emprats:

- a) L'escalfament afecta tot el planeta, però de forma poc homogènia. A les latituds elevades de l'hemisferi nord, l'escalfament és notablement més alt que la mitjana.
- b) Igualment, l'augment global de precipitació és el resultat d'un patró no gens homogeni. En aquest cas, la precipitació augmenta als tròpics (particularment sobre els oceans) i en latituds mitjanes i elevades dels dos hemisferis, mentre que disminueix en les zones subtropicals d'ambdós hemisferis.

És important destacar que, en els resultats que fan referència a la temperatura, els models estan més d'acord entre ells, amb relacions senyal-soroll tan altes com 2, mentre que per la precipitació, poques vegades l'esmentada relació assolix el valor d'1.

Presentats i comentats els resultats obtinguts amb els models complexos AOGCM en alguns escenaris, es pot passar a mostrar els resultats obtinguts per un model senzill que ha estat prè-

viament ajustat per reproduir els resultats mitjans globals de diversos models complexos. Amb aquest model senzill s'ha pogut investigar les respostes del clima a tota la quarantena d'escenaris proposats pel SRES, tot i que en les gràfiques només apareixen destacats els sis escenaris principals. La figura A6.6 mostra l'evolució prevista de la temperatura els propers 100 anys, calculada amb el model simple i segons diversos escenaris.

Tot i que no es tracta d'una variable climatològica en sentit estricte, una magnitud que preocupa considerablement és el nivell del mar. Per això la figura A6.7 presenta les projeccions futures pel que fa a aquesta dada. Sense entrar en detalls, només cal recordar que el principal causant de l'augment del nivell del mar és la dilatació tèrmica de l'aigua quan augmenta la temperatura. Aquesta dilatació té una gran incertesa, atès que costa de saber a quina fondària del mar arribarà l'augment de temperatura en tan sols 100 anys. La segona causa en importància, pel que fa a l'augment del nivell de mar, és la fosa dels gels que es troben sobre terra ferma (és a dir, les geleres de l'Antàrtida i Groenlàndia i les de diverses zones muntanyoses). Curiosament, però, sembla força ben establert que el gel antàrtic no contribuirà positivament a aquest augment del nivell del mar, ja que els models climàtics preveuen un increment en l'acumulació de gel sobre l'Antàrtida. Finalment, també cal recordar que la fosa del gel marí (n'hi ha importants acumulacions tant a l'Àrtic com al voltant del continent Antàrtic) no contribueix a incrementar el nivell del mar.

A6.2.3. Canvis en la variabilitat climàtica

Si els canvis previstos en els valors mitjans de les variables s'han de prendre amb una certa precaució, ateses les incerteses associades, amb molta més precaució s'han de considerar les previsions sobre els canvis en la variabilitat climàtica (ententent aquesta com a variabilitat en el temps). No obstant això, l'informe de l'IPCC recull algunes de les prediccions en aquest sen-

tit. Les prediccions es centren en diverses escales (diària, estacional, anual, etc.) i sobretot en fenòmens ben coneguts i de gran escala com ara *El Niño* o l'oscil·lació de l'Atlàntic Nord (NAO). Pel que fa al primer fenomen, diversos models indiquen que les condicions d'*El Niño* seran més habituals al Pacífic, mentre que la seva variabilitat tendirà a disminuir. En canvi, pel que fa a l'índex NAO hi ha poc acord entre els diversos resultats publicats, tot i que en general, semblen mostrar un lleuger augment d'aquest índex.

Pel que fa a escales temporals més curtes, hi ha un acord força general en què l'oscil·lació tèrmica diària disminuirà com a resultat d'un augment més gran de les temperatures mínimes nocturnes que de les màximes diürnes. També hi ha acord respecte a una disminució de la variabilitat diària de les temperatures hivernals i un augment d'aquesta variabilitat a l'estiu, sempre a l'hemisferi nord. Diversos estudis mostren també una disminució dels dies amb precipitació, malgrat el ja esmentat augment mitjà de la precipitació a escala global.

A6.2.4. Canvis en els esdeveniments extrems

Tal i com també fa l'informe IPCC 2001, a continuació es presenta una taula on es presenten els possibles canvis en la freqüència de diversos esdeveniments extrems a escala global (taula A6.2). Els esdeveniments extrems són aquelles situacions meteorològiques o climàtiques que tenen un impacte més alt, tant socio-econòmic com ambiental. Hi ha grans incerteses sobre els canvis en altres esdeveniments extrems que no apareixen en la taula, tot i que sovint preocupen tant o més que els canvis ben establerts del clima mitjà. Un d'aquests esdeveniments, que pot augmentar la seva freqüència en alguns llocs del món, són les inundacions de zones costaneres que es produeixen en casos de tempestes fortes. Aquest augment s'associa a l'augment del nivell del mar.

Fenomen que canvia	Confiança en els canvis observats	Confiança en els canvis projectats durant el segle XXI
Temperatures màximes més altes i més dies calorosos sobre totes les àrees continentals.	Verseblant (66-90% de certesa)	Molt verseblant (90-99% de certesa)
Temperatures mínimes més altes, menys dies freds i dies molt freds a totes les zones continentals.	Molt verseblant	Molt verseblant
Oscil·lació diària de temperatures reduïda a moltes àrees continentals.	Molt verseblant	Molt verseblant
Augment de l'índex de xafigor (un índex que combina la temperatura i la humitat i que estima el nivell de manca de confort de les persones) a les àrees continentals.	Verseblant, a moltes àrees	Molt verseblant, a moltes àrees
Més situacions de pluges intenses	Verseblant, sobre àrees de latituds mitjanes i altes de l'hemisferi nord	Molt verseblant, a moltes àrees
Augment de l'evaporació durant l'estiu als continents, i del risc associat de sequeres.	Verseblant, a algunes àrees	Verseblant, sobre moltes àrees interiors dels continents a latituds mitjanes
Augment de les intensitats màximes dels vents en ciclons tropicals.	No s'ha observat de moment.	Verseblant en algunes àrees
Augment de les precipitacions mitjanes i màximes en ciclons tropicals.	Dades insuficients per a l'avaluació	Verseblant en algunes àrees

Taula A6.2. Estimacions de la confiança en les observacions i les projeccions de canvis en alguns esdeveniments extrems. Les observacions, els models i, també, la verseblança des del punt de vista de la física són les bases que permeten establir aquests nivells de confiança.

Font: elaboració pròpia a partir de la taula 9-6 de l'informe IPCC 2001 (Houghton et al., 2001).

A6.3. Projeccions a escala regional (per a Catalunya)

A6.3.1. Mètodes de simulació a escala regional

Actualment encara és extremadament difícil fer prediccions climàtiques per a una zona geogràfica tan petita com Catalunya. En efecte, el nostre país té una superfície lleugerament superior als 30.000 km², la qual cosa implica que les diferències màximes de latitud i longitud són de l'ordre d'uns 3 graus. Cal tenir present, en aquest sentit, que els models AOGCM amb una resolució més elevada emprats en el darrer informe de l'IPCC tenen resolucions de, precisament, 2,5° (tant de longitud com de latitud). Això vol dir, doncs, que les previsions climàtiques sobre Catalunya corresponen als resultats d'una sola cel·la d'un model climàtic típic.

Com ja ha quedat explicat més amunt, els resultats dels models climàtics són tant més bons com més amitjanats (en el temps i/o en l'espai) els considerem. En realitat, els valors que un model AOGCM obté per a una cel·la concreta tenen ben poca significació. En efecte, si s'efectua el procés de simulació per conjunts (*ensemble*) amb un sol model i es miren els resultats d'una cel·la, la relació senyal-soroll tindrà un valor molt més petit que el que tindrà per a una zona més àmplia, o lògicament, que el que tindrà per tot el globus terraquí. El mateix passa, encara que molt més exagerat, si s'analitza la relació senyal-soroll obtinguda en un procés de simulació conjunta amb diversos models. Hom ha estimat que, amb una regionalització de la superfície continental de la Terra en 16 parts (cadascuna de les quals tindria aproximadament 1.500 km de radi, és a dir, una superfície

de 7 milions de km²), la relació senyal-soroll disminueix en un factor de 4 (Gerald North, Universitat de Texas A&M, comunicació personal).

De fet, aquestes dificultats de què estem parlant són inherents a la pròpia definició del clima, abans de parlar del seu canvi o de la predicció del seu canvi. Per posar un exemple, es pot imaginar que es disposa de sèries meteorològiques temporals de 100 estacions repartides correctament (des del punt de vista de representativitat estadística) sobre el continent europeu. Amb aquestes 100 sèries es pot determinar amb força encert la temperatura mitjana anual d'Europa. També es pot imaginar que, d'aquestes sèries, s'utilitzen les que corresponen a la Península Ibèrica (n'hi podrien tocar 5 o 6) per descriure el clima de la Península. Ja es veu que el valor que s'obindrà serà molt més dubtós que el que s'ha obtingut per Europa.

Ara es pot arribar a imaginar que es vol obtenir el clima de Catalunya. Amb una mica de sort, entre les 100 sèries n'hi haurà una que correspondrà a una estació del territori català. La seva significació, però, serà mínima (cal pensar que passaria si l'estació estigués situada a la Vall d'Aran, a Lleida o al delta de l'Ebre: el clima que ens indicarien per a Catalunya seria totalment diferent en cada cas). És a dir, unes dades (la sèrie temporal de l'estació ubicada a Catalunya) que tenen significació a gran escala (Europa) són totalment insuficients per descriure el clima d'una regió petita (Catalunya).

Totes aquestes dificultats es reflecteixen clarament quan es busca informació sobre el canvi climàtic a escala regional. D'una banda, aquesta informació és molt escassa. D'altra banda, les regions definides en aquells estudis que en parlen, acostumen a ser regions molt més grans. Per exemple, en l'anàlisi regional que efectua l'informe IPCC, que es detalla a la propera secció, la regió on s'ubica Catalunya és la regió mediterrània, és a dir, l'àrea compresa entre 30°N i 50° N i

10°W i 40°E (uns 10 milions de km², 300 vegades la superfície de Catalunya).

Malgrat tot això, atès l'interès social i econòmic (i per tant, polític) que tenen les prediccions o projeccions del canvi climàtic a escala regional, s'han desenvolupat metodologies per a efectuar aquestes projeccions (aquest és un àmbit de recerca molt actiu). Aquestes metodologies es poden encabir en tres grans línies:

- a) L'anàlisi acurada dels resultats dels models AOGCM estàndard.
- b) L'ús de models AOGCM o AGCM d'alta resolució o de tècniques d'aniuament (*nesting*) de models regionals (RCM, *regional climate models*).
- c) Les tècniques analítiques per obtenir resultats d'escala més reduïda a partir dels resultats dels models globals (*downscaling*).

Una possibilitat, doncs, consisteix en utilitzar directament els resultats dels models globals AOGCM, analitzant la informació a l'escala més petita possible (és a dir, a la d'una cel·la del model que, com ja ha quedat dit, cobreix de l'ordre de 60.000 km²). Els avantatges d'aquesta metodologia són, per una banda, que els resultats ja existeixen i es troben força a l'abast. Per altra banda, el fet de no aplicar cap modificació a les dades assegura la seva consistència física. Els inconvenients principalment vénen de la baixa resolució i, per tant, de la limitació que això significa en la predicció de fenòmens d'escala inferior a la de diverses cel·les, en particular en zones d'orografia complexa o d'interaccions entre terra i mar.

La segona metodologia parteix del fet que per obtenir resultats d'escala regional no és necessari realitzar simulacions molt llargues del sistema climàtic complet. És a dir, s'assumeix que es poden obtenir resultats adequats per projeccions temporals a 50 o 100 anys vista, amb models

només atmosfèrics (AGCM), incorporant la temperatura de la superfície del mar, l'extensió del gel o el forçament radiatiu que resulta de models acoblats de baixa resolució. En aquestes condicions, és possible efectuar simulacions amb AGCM amb una resolució de 100 km o, fins i tot, a 50 km si només s'escull aquesta resolució per a una zona concreta. Aquesta metodologia també té inconvenients. El principal, és l'alta demanda de recursos de càlcul. Però els inconvenients més profunds vénen d'una banda, de l'ús per resolucions altes de parametritzacions que han estat derivades i comprovades en resolucions baixes i, de l'altra, del fet de considerar només les retroaccions generades en la zona que es tracta amb alta resolució, menyspreant la possibilitat que en altres àrees, si fossin tractades amb la mateixa alta resolució, es poguessin generar altres retroaccions. Per tant, a la pràctica aquesta metodologia és poc emprada.

En realitat, hi ha una opció més atractiva per realitzar simulacions d'alta resolució espacial. Consisteix en l'ús dels anomenats models climàtics regionals (RCM). Atès que existeixen models meteorològics de mesoscala, regionals o d'àrea limitada, que s'apliquen per a obtenir prediccions meteorològiques detallades, es poden emprar versions climàtiques d'aquests. Es tracta de forçar (és a dir, establir les condicions de contorn) del model regional amb els resultats d'un model d'escala global AOGCM. Aquesta tècnica s'anomena d'aniuament (*nesting*) i de moment només s'ha utilitzat en una direcció (*one-way*), és a dir, el model global proporciona informació al regional, però els resultats d'aquest no influeixen els del model global. Amb models RCM es pot treballar amb resolucions de l'ordre de 20 km, amb la qual cosa molts fenòmens locals (com ara efectes orogràfics) es poden representar físicament. Les principals limitacions (a part dels alts recursos de càlcul necessaris) són les incerteses que provenen del model global i la ja esmentada manca d'interacció en les dues direccions. Aquestes limitacions i altres problemes, com ara el de la durada de la

simulació, la validesa dels models físics (parametritzacions) o les condicions de contorn laterals són revisats a bastament a Giorgi and Mearns (1999).

La tercera opció metodològica per a l'obtenció de projeccions regionals de canvi climàtic es basa en mètodes estadístics (*statistical downscaling*). La base conceptual és senzilla: s'assumeix que el clima regional és el resultat de la influència de factors locals sobre l'estat existent a gran escala. Per tant, es tracta de buscar relacions estadístiques entre variables d'escala gran (que seran els predictors) i les variables climàtiques d'interès en la regió (els predictands). A Paeth et al. (2003), per exemple, s'analitza la importància de diversos índex descriptius de situacions sinòptiques en les prediccions de canvi climàtic regional. Un exemple seria buscar relacions estadístiques entre l'índex NAO (oscil·lació de l'Atlàntic Nord) i la precipitació a Catalunya. Es poden distingir dues possibilitats dins d'aquesta tècnica. Per una banda, hi ha les relacions purament empíriques, que poden ser tan simples com correlacions o tan complexes com les determinades per xarxes neuronals. Per altra banda, hi ha les relacions basades en l'anàlisi dinàmica dels patrons meteorològics i climàtics. Per exemple, es pot emprar un model de mesoscala per veure com respon la meteorologia a nivell local en diverses situacions atmosfèriques globals. La principal limitació d'aquestes tècniques prové del fet que no es pot assegurar que les relacions estadístiques vàlides actualment (del clima present) es mantinguin invariables per a un clima futur diferent.

A6.3.2. Resposta regional del clima

L'informe de l'IPCC de l'any 2001 conté un apartat on s'analitzen les projeccions de diversos models climàtics AOGCM a escala regional (en les grans regions comentades més amunt, Catalunya pertany a la regió Mediterrània). Més concretament, s'ha estudiat la consistència entre els resultats obtinguts amb les integracions de 9 models emprant dos escenaris SRES diferents

(els escenaris A2 i B2). Els resultats obtinguts, doncs, es poden considerar força robustos, ja que només es dona per bona una tendència si hi estan d'acord almenys 7 dels 9 models. Els models emprats han estat els CGCM2, CSIRO Mk2, CSM 1.3, ECHAM4/OPYC, GFDL_R30_c, HadCM3, MRI2, CCSR/NIES2, DOE PCM (tots ells apareixen descrits a la taula A6.1). Els resultats, que es presenten a la figura A6.8 –pel que fa a temperatures– i a la figura A6.9 –pel que fa a precipitació– corresponen a les diferències entre la predicció pel període 2071-2100 i el clima actual (1961-1990). El mateix informe avisa que aquests resultats són preliminars, però en tot cas no s'allunyen excessivament de resultats semblants, però més robustos encara, produïts pels mateixos models en escenaris IS92.

Pel que fa a la regió Mediterrània, la figura A6.8 indica que tant en l'escenari A2 com en el B2 cal esperar augments de temperatura molt més alts que la mitjana global durant l'estiu. Cal recordar que la mitjana global d'escalfament (per a tot l'any) dels diversos models està entre 1,2 i 4,5°C en l'escenari A2 i entre 0,9 i 3,4°C en el B2, la qual cosa vol dir que el 40% més voldria dir entre 1,7 i 6,3°C en A2 i entre 1,3 i 4,7°C en B2. Per a l'hivern, l'escalfament previst en aquesta regió també és superior a la mitjana global. Pel que fa a la precipitació, els diversos models estan d'acord que aquesta no canviarà significativament durant l'hivern en cap dels dos escenaris, mentre que disminuirà molt clarament en l'escenari A2 durant l'estiu (en l'escenari B2 els models no estan d'acord en la tendència). Cal re-

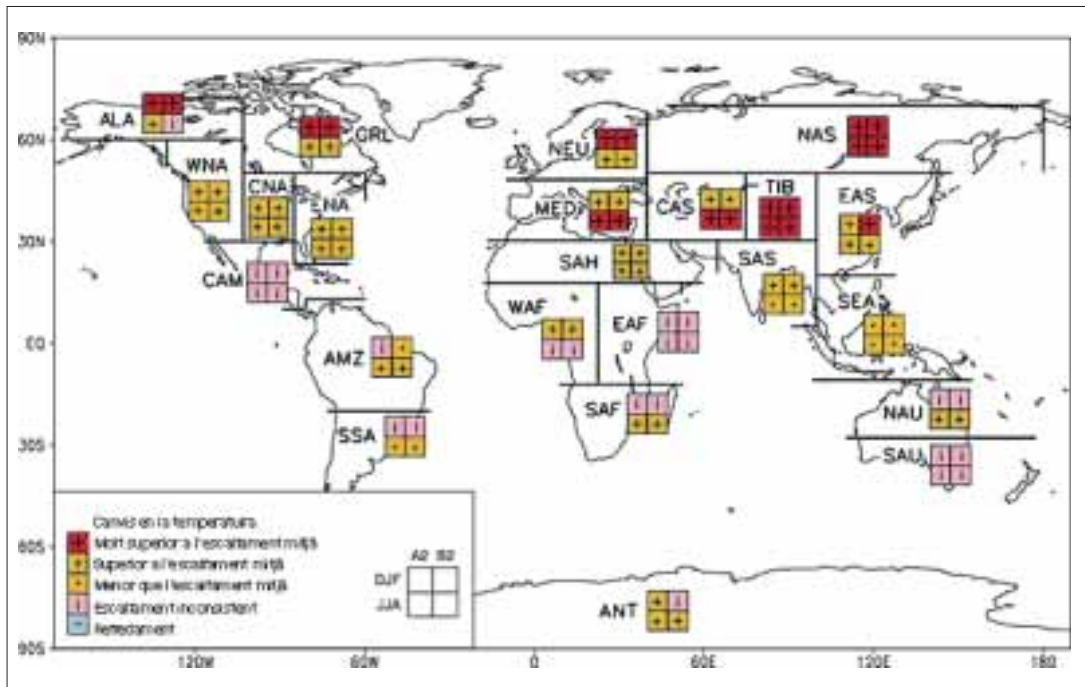


Figura A6.8. Anàlisi de l'escalfament regional relatiu (és a dir, relatiu a l'escalfament global predit per cada model). L'etiqueta *Molt superior a l'escalfament mitjà* és per a regions on l'escalfament és un 40% superior al global. *Superior a l'escalfament mitjà* vol dir un escalfament superior al global. *Menor que l'escalfament mitjà* correspon a un escalfament inferior al global. *Escalfament inconsistent* vol dir que els diversos models no tenen una resposta majoritàriament comuna. Hi ha una etiqueta per a cadascun dels dos escenaris (A2 i B2) i per als períodes d'hivern (DJF) i d'estiu (JJA) a l'hemisferi nord.

Font: Houghton et al., 2001.

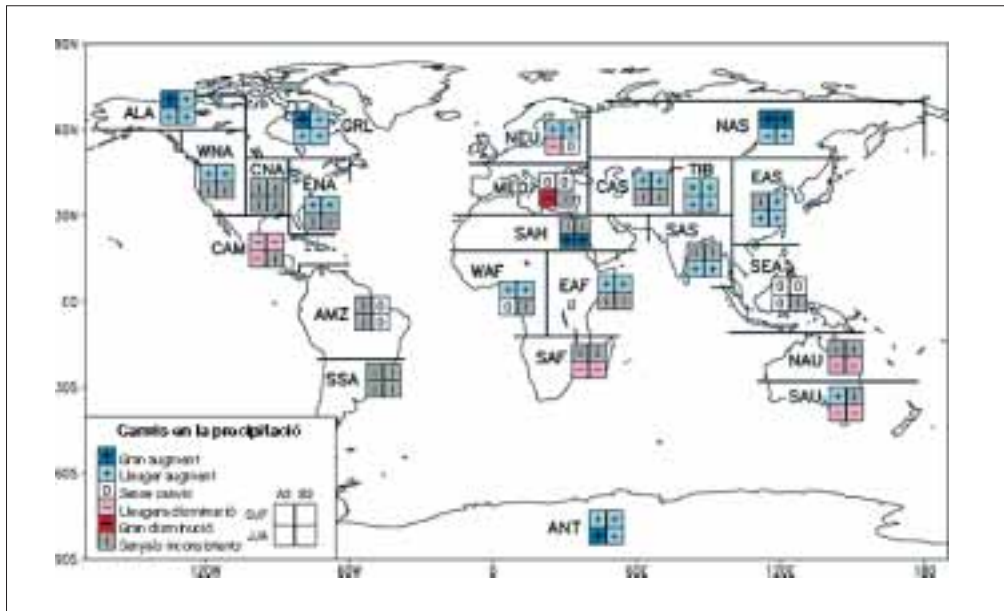


Figura A6.9. Anàlisi del canvi en les precipitacions a escala regional. L'etiqueta *Gran augment* indica regions en les quals es preveu un augment de precipitació superior al 20%. *Lleuger augment* indica increments entre el 5 i el 20%. *Sense canvis*, que l'acord s'assoleix per uns canvis d'entre un -5 i un +5%. *Lleugera disminució*, quan la predicció és de disminució de la precipitació d'entre un 5 i un 20%. *Gran disminució* és per a regions on es preveuen disminucions superiors al 20%. *Senyals inconsistents*, quan els models mostren tendències ben diferents.

Font: Houghton et al., 2001.

cordar que les estacions analitzades (estiu i hivern) no són en general les més plujoses a Catalunya o, en tot cas, ho són només en algunes àrees. També cal recordar, com fa el mateix informe de l'IPCC, que aquestes anàlisis regionals no han de ser necessàriament directament aplicables a àrees més petites dins de la regió. Probablement, això és especialment cert en el cas de la precipitació a Catalunya. Per altra banda, el mateix informe comenta altres anàlisis realitzades sobre la resposta regional (a Europa) dels models de circulació global: una revisió dels resultats de diversos models arriba a la conclusió que el Sud d'Europa serà més sec.

Seguint amb l'anàlisi dels resultats dels models globals, un treball interessant és el desenvolupat per la *Climate Research Unit* de la Universitat de East Anglia, al Regne Unit, per encàrrec de la organització WWF (Hulme i Sheard, 1999). En aquest treball s'analitzen els resultats de les si-

mulacions de 10 models diferents, que s'han integrat amb els forçaments dels 4 escenaris principals del SRES i considerant sensibilitats climàtiques baixa, moderada o alta. No tots els resultats es donen en la publicació esmentada, però sí alguns de prou interessants, els quals es reproduïxen a continuació.

Pel que fa a la temperatura, la figura A6.10 mostra el seu augment sobre el territori peninsular, depenent de l'escenari i del període temporal considerat. Cal fixar-se en el fet que els valors numèrics es donen per a cadascuna de les 8 cel·les que cobreixen la península (Catalunya queda una mica fora, però els resultats de les cel·les immediatament contigües semblen aplicables). Per al període 2065-2095 (vegeu l'etiqueta de 2080) i en l'escenari A1 amb sensibilitat mitjana (A1-med) es poden esperar augments de temperatura mitjana anual de 3,1°C. Pel que fa a la precipitació, i en aquesta situació moderada

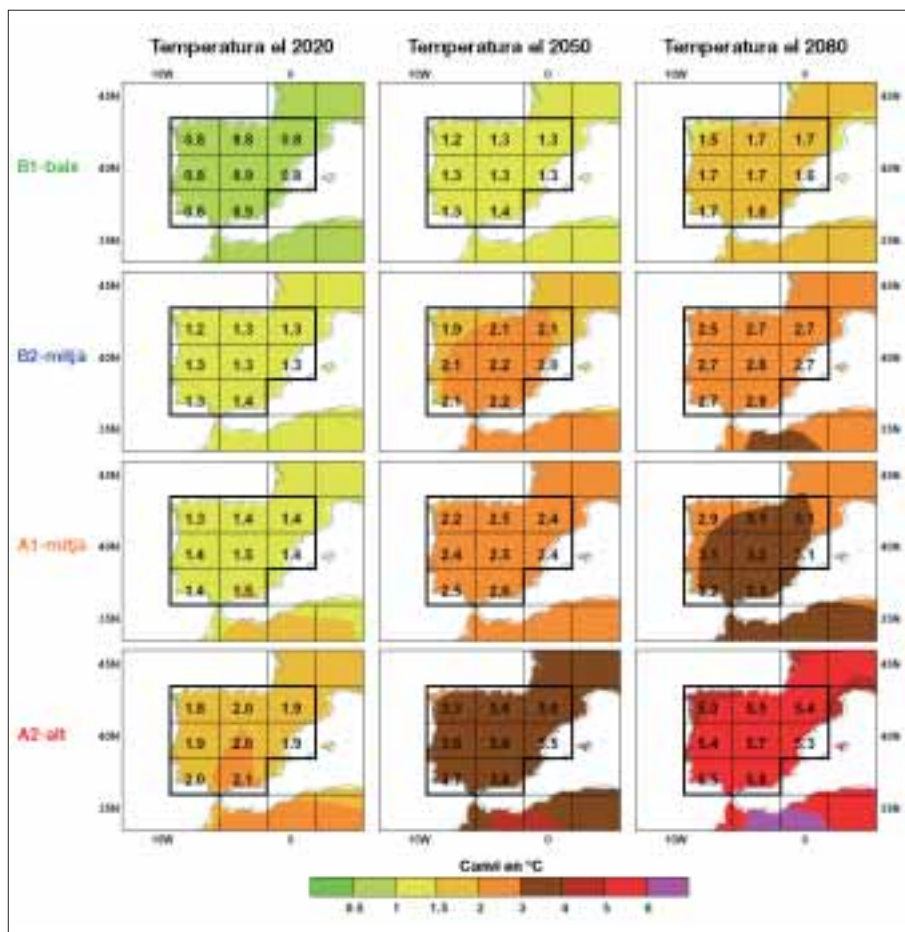


Figura A6.10. Canvi en la temperatura anual mitjana (°C respecte de la mitjana de 1961-90) per a períodes de 30 anys centrats en les dècades de 2020, 2050 i 2080, en els quatre escenaris. Els canvis només es mostren quan són prou grans comparats amb la variabilitat natural de la temperatura en escales de 30 anys.

Font: Hulme i Sheard (1999).

(escenari A1 i sensibilitat mitjana), la figura A6.11 mostra com a Catalunya la precipitació augmentarà a l'hivern i disminuirà a l'estiu, així com probablement a les altres dues estacions. Considerant els valors de les cel·les immediatament contigües, i per la trentena de finals de segle XXI, la precipitació podria augmentar un 10% a l'hivern, disminuir un 20% a l'estiu i un 8% a la tardor, mentre que no hi hauria canvis significatius a la primavera. En tot cas, també s'ha de destacar que la disminució d'estiu i tardor seria força inferior a la que experimentaria la resta de la Península.

En la línia d'analitzar regionalment els resultats de models globals, un treball recent (Giorgi and Mearns, 2003) introdueix el que anomenen *Reliability Ensemble Averaging* per establir unes probabilitats de canvis futurs en el clima a escala regional. En essència, el que es tracta és d'assignar a cada model emprat una fiabilitat diferent, basant-se en la capacitat del model de reproduir el clima present. D'aquesta manera, la probabilitat que el canvi de temperatura, per exemple, sigui superior a un llindar determinat es troba a partir de la col·lectivitat de simulacions disponibles (que pot incloure escenaris diferents), però pesant de for-

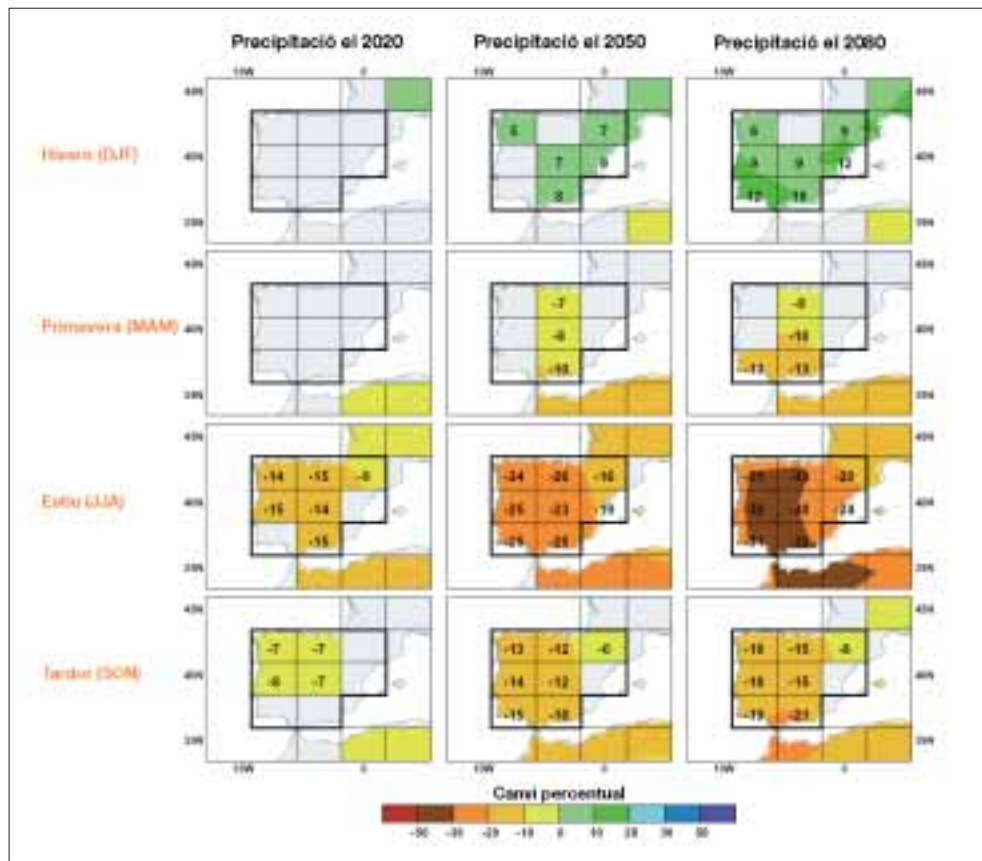


Figura A6.11. Canvis en la precipitació estacional mitjana (expressats en percentatge respecte de la mitjana de 1961-90) per períodes de 30 anys centrats en les dècades dels anys 2020, 2050 i 2080, i per l'escenari SRES A1 i els models de sensibilitat mitjana. Els nombres indiquen els canvis en cada cel·la, només quan aquests són destacats respecte la variabilitat natural.
 Font: Hulme & Sheard (1999).

ma diferent (no exempta d'una certa subjectivitat) cadascun dels elements de la col·lectivitat. Amb aquest procediment els autors troben que és molt probable que, a la regió Mediterrània, a finals del segle XXI la temperatura sigui més de 2°C més alta que l'actual (probabilitat 96% a l'hivern i 99% a l'estiu). De fet, a l'estiu hi ha quasi un 50% de probabilitat que la temperatura augmenti més de 3,5°C. Pel que fa a la precipitació, la probabilitat que es modifiqui en $\pm 10\%$ a l'hivern és molt petita i, en qualsevol cas, és més probable que augmenti en una proporció molt baixa. En canvi, a l'estiu és altament probable (80%) que la precipitació disminueixi a la regió més d'un 10%.

Pel que fa a estudis regionals desenvolupats amb les altres metodologies esmentades (*nesting*, RCM, *downscaling*) i, concretament, per a l'àrea que afecta a Catalunya, l'informe de l'IPCC no aprofundeix en el resultat de cap d'ells. Sí que n'esmenta alguns, però més per comentar les limitacions que presenten o el fet que són estudis molt preliminars que per presentar-ne els resultats. Més específicament, hi ha una llista de models RCM que s'han aplicat arreu del món. Entre ells, només un (Gallardo et al., 2001) sembla que pot ser interessant per a l'àrea d'estudi emprada (la Península Ibèrica), tot i que també n'hi ha d'altres que s'han centrat en el territori europeu. La

resolució espacial d'aquestes simulacions amb RCM és de l'ordre de 50-100 km, però les integracions no s'allarguen més de 20 anys en cap cas. També hi ha una llista equivalent pel que fa a anàlisis efectuades mitjançant mètodes estadístics empírics o dinàmics; aquesta llista inclou fins a 7 referències a treballs que basen el seu interès en la Península Ibèrica o en l'Estat espanyol. Alguns d'aquests treballs, així com també altres treballs dels que l'informe IPPC no fa referència, seran comentats a continuació.

Per començar cal fer un comentari sobre un treball força pioner, publicat per Cubasch et al. (1996). En aquesta publicació es comparen tres dels mètodes esmentats (interpolació directa dels resultats de models globals, les simulacions d'alta resolució espacial però de curta durada temporal i el mètode estadístic) utilitzant com a àrea de referència la del Mediterrani (tal i com la defineix l'IPCC) i més concretament, en el tercer mètode, la Península Ibèrica. El primer dels mètodes dona, segons els autors, massa poca resolució local, mentre que el segon requereix molta potència de càlcul. Pel que fa al tercer, necessita sèries de dades prou llargues i bones com per poder efectuar-ne l'estadística. El model que els autors utilitzen amb alta resolució és el model ECHAM, que proven amb resolucions T42 i T106 (és a dir, el doble i 5 vegades més que la versió utilitzada normalment T21). S'ha de destacar que, quan es comparen els resultats de canvis de temperatura i de precipitació sobre l'àrea d'estudi (el Mediterrani) segons les tres resolucions, a vegades s'observen diferències tan grans que les correlacions resulten ser negatives. En qualsevol cas, però, per a Catalunya i amb el temps de duplicació del CO₂, les tres resolucions indiquen augments de temperatura més petits a l'hivern (al voltant d'1°C) i més grans a l'estiu (entre 1 i 4°C segons la simulació de menys i de més resolució respectivament). Els canvis en la precipitació són, en tots els casos, molt petits.

En el mateix treball es presenta una anàlisi basada en *downscaling* estadístic, que s'aplica a la precipi-

tació hivernal d'11 estacions espanyoles, incloent la de Barcelona. En primer lloc s'estableixen relacions empíriques entre les sèries de dades i els resultats a gran escala d'un model (ECHAM1/LSG), i després les mateixes relacions s'utilitzen per predir els canvis en la precipitació, quan s'apliquen a la sortida del mateix model en el cas de duplicació de CO₂. El resultat és un augment de la precipitació hivernal a Barcelona. Evidentment, aquests resultats tenen una vàlida força limitada.

També cal destacar el treball de Gallardo et al. (2001), que utilitza el model PROMES, un model inicialment pensat per a simulacions meteorològiques de mesoscala i que els autors van estendre a les simulacions climàtiques. El model va ser executat en dues simulacions, una de control i l'altra corresponent a l'escenari de clima canviant. En els dos casos es va anuiar el model RCM amb el model global HadCM2, que es va executar, en el cas de l'escenari de clima canviant, en les condicions corresponents a l'escenari IS92a de l'informe de l'IPCC de l'any 1995. El període simulat pel RCM (que es va executar amb una resolució espacial de 50 km) va ser de 10 anys, entre 2040 i 2049, que correspon aproximadament al període en què la concentració de CO₂ assoleix el doble del valor preindustrial segons l'escenari d'emissions emprat. A continuació es comentaran les diferències més significatives entre la simulació de l'escenari futur i la de control. La temperatura augmenta a la Península Ibèrica, de mitjana, 2,8°C a la primavera i 3,9°C a la tardor. Segons els mapes que es presenten, a Catalunya aquests augments podrien ser en general una mica superiors a la mitjana peninsular, sobretot a les comarques interiors. Una raó important per explicar l'augment de temperatura resulta ser la disminució de la nuvolositat. La precipitació experimenta canvis, que en mitjana per a tota la península són disminucions de 0,4 mm per dia a l'estiu i augments de 0,7 mm per dia a l'hivern. Observant els mapes corresponents, el tret més allunyat de la mitjana peninsular és la disminució de la precipitació hivernal en les comarques catalanes nord-occidentals.

Un dels treballs basats en disminució d'escala mitjançant tècniques estadístiques (*downscaling*) és el que van desenvolupar per a la *Asociación para la Investigación del Clima* (AIC) diversos investigadors de la *Fundación para la Investigación del Clima* (FIC, una entitat independent sense ànim de lucre) i del *Instituto Nacional de Meteorología* (INM). La metodologia i els resultats d'aquest treball (Borén et al., 1999; Ribalaygua et al., 1999) es descriuen resumidament a continuació. El mètode emprat conté dos passos, que els autors anomenen analògic i de regressió respectivament. En el primer pas, s'agrupen els dies més semblants entre ells (des del punt de vista de la situació atmosfèrica de baixa resolució o gran escala) per determinar unes característiques comunes de la situació atmosfèrica amb alta resolució. En el segon pas, es treballa diferent segons es tracti de temperatures (els autors es plantegen de predir les temperatures màximes i mínimes) o de precipitació. La precipitació a un lloc es troba com a mitjana de les precipitacions mesurades en tots els dies que formen part d'un mateix grup. Les temperatures es troben mitjançant regressió lineal múltiple, utilitzant diversos predictors que representen els factors meteorològics, estacionals i d'inèrcia tèrmica del terreny. La validació del mètode la fan els autors amb dades del període 1961-1994, que consideren que és prou llarg com per garantir que les relacions trobades siguin vàlides per a un clima lleugerament diferent que es pot donar en el futur. Aquesta validació els indica que, excepte per a la precipitació durant la tardor, el mètode és vàlid per tal d'emprar la sortida d'un model AOGCM de baixa resolució per fer estimacions d'alta resolució sobre el territori espanyol. Concretament, els autors utilitzen els resultats dels experiments HadCM2SUL (és a dir, el model HadCM2 amb forçament d'un 1% d'augment de CO₂ i aerosols de sofre incorporats) com a dades d'entrada al seu mètode. Amb això, arriben a obtenir els resultats que es presenten a la figura A6.12.

Aquests resultats mostren, pel que fa a la precipitació i a Catalunya, que la mitjana anual d'a-

questa gairebé no hauria de canviar en el futur, ni en l'horitzó de mitjan de segle ni en el de finals. En tot cas, els petits canvis anirien en el sentit d'augmentar la precipitació. Això seria el resultat d'augmentos molt significatius de la precipitació durant l'hivern, canvis menors a la primavera i estiu, i disminucions de la precipitació a la tardor. Pel que fa a les temperatures, tant les màximes com les mínimes, tendeixen a augmentar en totes les estacions. Les mínimes ho fan uniformement i amb valors mitjans anuals a l'entorn d'1°C el 2050 i de 2°C el 2100. L'augment de les màximes és més gran i més heterogeni: augmenten més a l'interior que a la costa (aquí, durant l'estiu, es nota l'efecte moderador de les brises marines). En tot cas, en l'horitzó de finals de segle XXI hi ha augmentos de més de 4°C a l'estiu i de més de 2°C a l'hivern. Malauradament, els mateixos autors adverteixen de la validesa limitada dels resultats, ja que l'experiment global de base (HadCM2SUL) no és capaç de reproduir perfectament el clima actual (1961-1990) i, per tant, pot tenir desviacions importants en les projeccions futures.

Un altre exercici de *downscaling* que es preocupa de Catalunya (de fet, incideix sobre tota la costa mediterrània espanyola) és el de Sumner et al. (2003). Aquest treball se centra en els canvis experimentats per la precipitació, i el mètode es pot classificar com a estadístic-dinàmic ja que relaciona les configuracions atmosfèriques a 925 i 500 hPa amb les precipitacions diàries a què donen lloc. S'utilitza com a model de gran escala l'ECHAM-OPYC3 (amb el forçament corresponent a l'1% d'augment del CO₂), els resultats del qual per al període present 1971-1990 són emprats com a base per establir els patrons atmosfèrics més probables per a un període futur (2080-2099). Com que els patrons es poden vincular a unes precipitacions, es pot fer l'estimació d'aquestes. La metodologia s'avalua i calibra en base a les anàlisis del Centre Europeu per a Predicció a Mitjà Termini (ECMWF) i a dades del període 1984-1993. Sembla que les situacions que resulten més difícils de reproduir amb la metodologia

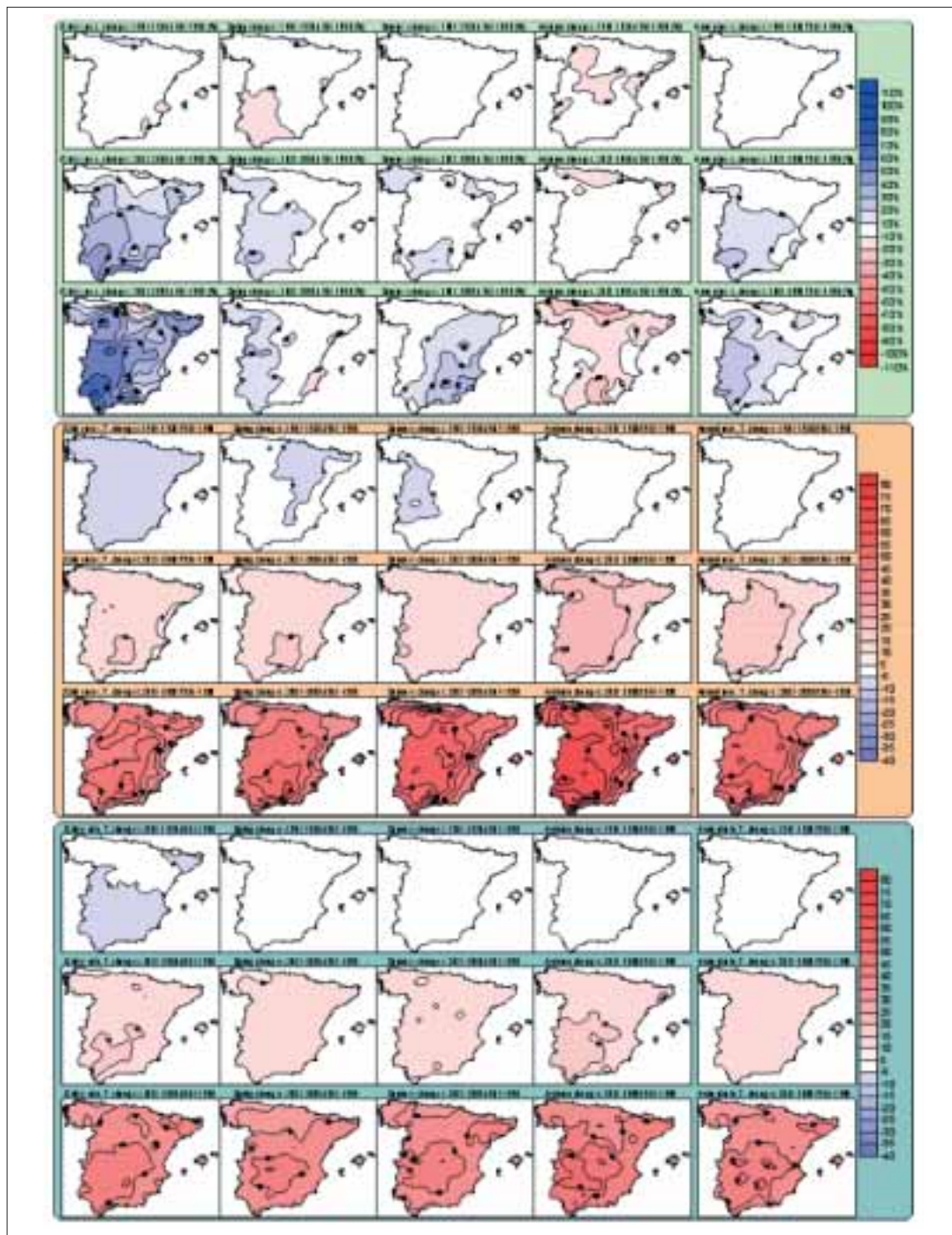


Figura A6.12. Canvis en la precipitació, les temperatures màximes i les temperatures mínimes a l'Estat espanyol. Per a cada variable hi ha tres files de mapes. La fila superior és la diferència entre el període 1901-1930 i el període de referència (1961-1990); la del mig és la diferència entre 2021-2050 i la referència; i la inferior és la diferència entre 2081-2099 i la referència. En cada fila hi ha cinc mapes, un per cada estació (hivern, primavera, estiu, tardor) i de la mitjana anual. Les diferències de precipitació es mostren en %, les de temperatures, en dècimes de grau.

Font: Ribalaygua et al. (1999).

emprada són les de llevant. De nou, se suposa que les relacions actuals entre situacions sinòptiques i precipitació es mantindran invariables en el futur. Els resultats (figura A6.13) indiquen, en termes mitjans anuals, augments de la precipitació de fins al 8% al sud de Catalunya i disminucions de fins al 4% a la part nord-occidental (Vall d'Aran i comarques properes).

Hi ha altres treballs científics sobre la regionalització de les projeccions de canvi climàtic realitzades amb models globals. Per exemple, Jean P. Palutikof, amb diversos col·laboradors, té una sèrie de publicacions sobre mètodes de *downscaling* i aplicacions a la Península Ibèrica o a alguna part d'aquesta (vegeu per exemple, Goodess i Palutikof, 1998). Com els treballs apuntats anteriorment, aquests estan més centrats en la presentació de la validesa del mètode que no pas en la validesa dels resultats de l'aplicació.

Per altra banda, hi ha diverses publicacions, entre les que cal destacar les comunicacions de l'Estat espanyol al Conveni Marc de les Nacions Unides sobre Canvi Climàtic o molts documents a l'entorn del Pla Hidrològic Nacional, on es presenten o s'utilitzen escenaris futurs de clima a escala estatal, sense fer referència clara a les fonts científiques originals que avalen aquests escenaris. En les publicacions que se centren en els recursos hídrics, s'assumeixen escenaris d'augment moderat de la temperatura (1°C el 2030, 2,5°C el 2060) i reduccions petites (5%) de la precipitació (MIMAM, 2002). En aquesta línia, són destacables també diverses publicacions de F.J. Ayala-Carcedo, que sempre recalquen la importància de tenir en compte no només la variació de la precipitació sinó també de l'evapotranspiració abans d'estimar els canvis en l'aigua disponible (vegeu, per exemple, Ayala-Carcedo i Iglesias López, 2001). En aquest dar-

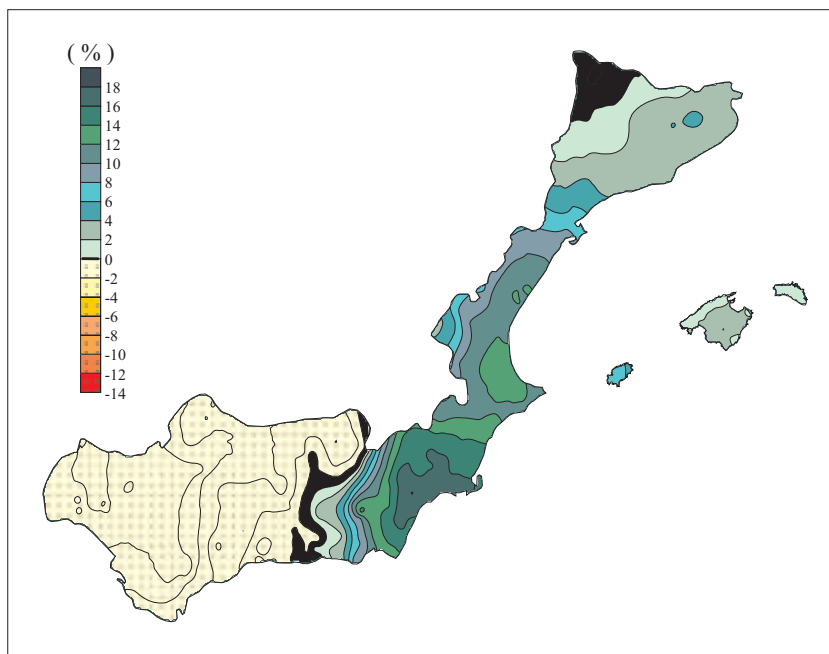


Figura A6.13. Estimació del canvi en la precipitació des de la dècada 1984-1993 a la 2090-2099, d'acord amb el treball de Sumner et al. (2003).

Font: extreta de la comunicació de S. Alonso a les jornades «Tradició i innovació en la gestió de l'aigua», Girona, gener de 2002, organitzades per l'Institut Joan Lluís Vives.

rer treball, i citant com a font un informe del *Instituto Nacional de Meteorología*, en l'horitzó de l'any 2060 es presenten reduccions de les precipitacions del 6-7% en les conques hidrogràfiques que afecten el territori català.

A6.3.3. Canvis en la variabilitat i els esdeveniments extrems

Si els resultats sobre variabilitat i fenòmens extrems ja eren molt limitats en l'àmbit global, ho són més encara a escala regional. No obstant això, l'informe IPCC 2001 conté diverses referències a treballs que donen indicis sobre canvis en la variabilitat o els esdeveniments extrems. Per exemple, pel que fa a la temperatura, diversos treballs semblen indicar que la variabilitat diària tendeix a augmentar durant l'estiu i a disminuir durant l'hivern. Les mateixes tendències es poden esperar per a la variabilitat mensual i estacional, en particular al sud d'Europa. Sovint, els canvis previstos en la variabilitat de la temperatura són semblants encara que es dedueixin mitjançant models RCM.

Pel que fa a la precipitació, també es troben estudis que, especialment al sud d'Europa, indiquen una tendència a augmentar la variabilitat, tant a escala diària com mensual. Aquesta tendència a un increment de variabilitat motivada per un forçament radiatiu positiu es reflecteix en un augment en la intensitat i la freqüència de situacions de precipitacions molt intenses: alguns estudis indiquen que les precipitacions intenses corresponents a un període de retorn d'un any poden ser entre un 10% i un 25% més altes que les actuals. La variabilitat de la precipitació acostuma a incrementar-se encara més quan s'analitza en base als resultats d'un model regional RCM, i les diferències entre els models globals i regionals són particularment grans durant l'estiu. Curiosament, quan s'analitzen les precipitacions intenses (per exemple, superiors a 30 mm per dia) aquests augments no són tan alts com els que indiquen els models globals, tot i que els models regionals també indiquen, a Europa, augments en la probabilitat d'aquestes precipitacions.

A part d'aquests resultats tant limitats que es poden trobar a l'informe IPCC, s'han identificat pocs treballs més detallats, centrats en la regió mediterrània, que donin resultats sobre canvis en la variabilitat o els esdeveniments extrems. Alguns dels treballs ressenyats en la secció anterior fan referència indirecta a aquests canvis, però en general els seus autors no destaquen cap conclusió en aquest sentit. Una de les excepcions és el treball de Gallardo et al. (2001), que indica que la variabilitat interanual de les temperatures disminuirà a l'hivern i augmentarà, en canvi, a l'estiu. La variabilitat interanual de la precipitació també augmenta, sobretot durant la tardor i l'hivern. També a Cubasch et al. (1996) es fa alguna referència als canvis d'esdeveniments extrems, en concret les pluges intenses i els períodes de sequera. Aquests autors no troben canvis significatius, quan utilitzen el model ECHAM1 amb diferents resolucions, en la freqüència de pluges intenses, més enllà d'un lleuger augment a l'hivern. Pel que fa a períodes secs, sí que sembla manifestar-se un augment de la probabilitat de sequeres en totes les estacions. Cal recordar que aquests darrers resultats corresponen al conjunt de l'àrea mediterrània.

A6.4. Conclusions

1. La necessitat de prendre decisions polítiques en l'àmbit nacional i internacional per tal de fer front als problemes que es poden derivar d'un clima ràpidament canviant com a conseqüència de l'activitat humana, obliguen a millorar i reduir la incertesa de les previsions que es fan del clima del futur. En efecte, els que tenen la capacitat, oportunitat i responsabilitat de prendre decisions ho han de fer en base a les millors prediccions i més contrastades des del punt de vista científic; en cas contrari, es poden excusar en l'absència de prediccions fiables per no emprendre accions d'adaptació i/o mitigació dels efectes del canvi climàtic.
2. És ben acceptat per la comunitat científica internacional, representada, per exemple, al Grup Intergovernamental d'Experts sobre Canvi Cli-

màtic (IPCC), que les millors prediccions del clima del futur s'obtenen amb l'aplicació de models numèrics de simulació del clima, en particular dels models tridimensionals acoblats, anomenats AOGCM (Atmospheric Oceanic General Circulation Models). Aquests models han millorat diversos aspectes en els darrers anys. Per una banda, en general han augmentat la seva resolució espacial, amb la millora de la potència de càlcul dels ordinadors. Els models actuals acostumen a treballar amb resolucions de l'ordre de 2,5° de latitud i longitud. Per altra banda, han millorat les descripcions físiques dels diversos fenòmens, com ara la interacció oceà-atmosfera (molts dels models ja no requereixen ajustos artificials dels fluxos de calor i matèria) o altres fenòmens que s'han de parametritzar ja que presenten escales espacials característiques inferiors a les de la malla de treball. Els millors models emprats per l'IPCC, que no són més d'una vintena i s'estan executant en no més d'una desena de països diferents, acostumen a reproduir força bé el clima present i els canvis passats (del darrer segle), per la qual cosa els seus resultats pel que fa a les prediccions futures són cada cop més fiables.

3. Malgrat tot, encara existeixen incerteses, que es reflecteixen, per exemple, en el fet que diversos dels models AOGCM integrats amb el mateix forçament radiatiu (és a dir, amb el mateix augment de concentració de CO₂ i d'aerosols) donen resultats (prediccions) prou diferents. Un paràmetre que il·lustra les diferències entre models és la sensibilitat climàtica, que es pot definir com l'augment de temperatura que el model preveu en condicions d'equilibri, quan la concentració de CO₂ s'ha duplicat. Hi ha tot un rang de sensibilitats al voltant de la que es considera una mitjana, que es troba entre els 2,5 i 3°C. Aquestes diferències entre models poden venir de les diversitat de parametritzacions (núvols, convecció, etc.), de com consideren les diverses retroaccions (del gel, del vapor d'aigua, etc.), de si in-

corporen o no un tractament explícit dels intercanvis amb la superfície continental, de la biota, etc.

4. Per tal de donar previsions el màxim de fiables possible, l'IPCC opta per realitzar simulacions per conjunts o col·lectivitats: es tracta d'integrar diversos models en les mateixes condicions i donar com a resultat el rang de valors obtinguts pels diversos models, com a mesura de la incertesa.

5. Qualsevol projecció del clima futur té com a punt de partida una predicció pel que fa al creixement demogràfic, econòmic i a diversos aspectes d'aquest creixement (més igualitari o més divergent entre regions, intensiu en l'ús de combustibles fòssils o d'energies renovables, etc.). L'informe IPCC 2001 es basa en diversos escenaris de creixement que es corresponen a escenaris d'emissions de gasos i aerosols, generats per una comissió específica i recollits en l'informe SRES (*Special Report on Emission Scenarios*). De menys a més emissions acumulades de CO₂ fins l'any 2100, tenim com a escenaris principals (entre un conjunt de quasi 40 escenaris possibles) els anomenats B1, B2, A1 i A2.

6. Considerant doncs els diversos escenaris i els diversos models, l'augment de la temperatura mitjana de la Terra es preveu que sigui d'entre 1,4 i 5,8°C de cara a l'any 2100. En general, sigui quin sigui l'escalfament mitjà, l'augment de temperatura serà superior en latituds altes i sobre els continents, que en els tròpics i sobre els oceans.

7. A escala global, també s'espera un augment de la precipitació, que podria ser d'unes poques unitats percentuals respecte la precipitació actual. L'augment, que no és gens homogeni al llarg de la superfície del planeta (hi ha zones on s'esperen disminucions de la precipitació) podria ser més significatiu a latituds altes dels dos hemisferis.

8. Com a conseqüència de la dilatació tèrmica provocada per l'augment de temperatura, i també com a resultat de la fosa de un cert volum de gel continental, es preveuen increments del nivell del mar. El rang d'augment previst, depenent de l'escenari i del model escollit, es troba entre 9 i 88 cm.
9. Hi ha diverses prediccions, molt més incertes que les que fan referència a les mitjanes globals, relatives als canvis en variabilitat i esdeveniments extrems. En particular, diversos estudis mostren una disminució de dies amb precipitació, la qual cosa, combinada amb un augment de la precipitació total, implica un augment de la intensitat de les precipitacions. També es dona versemblança a les prediccions que indiquen temperatures màximes més altes i més dies calorosos sobre les àrees continentals, augment de l'índex de xafogor, i augment de l'evaporació durant l'estiu als continents, amb el risc associat de sequeres i incendis forestals que això comporta.
10. La regionalització de les prediccions del canvi climàtic és un tema de gran actualitat, sobre el que s'està duent a terme molta investigació, però que encara no està prou madur com perquè prediccions regionals tinguin ni molt menys la mateixa fiabilitat i robustesa que les projeccions globals. De fet, la pròpia definició del clima comporta intrínsecament un augment de la dificultat en la seva predicció a mesura que anem reduint l'escala espacial a on es vol fer. En particular, la predicció del clima futur per a una àrea tant petita com la del territori català serà altament complicada i incerta. En realitat, tots els resultats de projeccions futures que es donen a continuació han estat extrets d'estudis que s'apliquen a àrees molt més grans (des de la Mediterrània en el seu conjunt, passant per la Península Ibèrica, fins a la costa mediterrània peninsular).
11. Hi ha diverses metodologies proposades per a la regionalització de les projeccions climàtiques. Totes elles depenen d'una manera o altra dels models d'escala global. Aquestes metodologies es poden agrupar en tres línies: l'anàlisi acurada dels resultats dels models globals; l'ús de models globals d'alta resolució o de tècniques d'aniuament (*nesting*) de models regionals (RCM); i les tècniques estadístiques per obtenir resultats d'escala menor (*downscaling*).
12. La temperatura de l'aire prop de la superfície augmentarà a tot el territori català en el decurs del proper segle, com a conseqüència de l'escalfament global. L'augment exacte és difícil de predir, ateses el gran nombre d'incerteses associades i la pròpia complexitat del sistema climàtic. No obstant això, hi ha un acord força general entre els diversos investigadors que han analitzat el canvi de temperatura previsible per regions que inclouen Catalunya en el fet que l'augment serà superior al de la mitjana del planeta. Això voldria dir un augment a l'entorn de 3,5°C (1,5-6,3) a finals de segle XXI. Aquest augment no seria uniforme ni en el temps (probablement augments més acusats a l'estiu que a l'hivern) ni en l'espai (probablement augments més importants a l'interior que a la costa).
13. Pel que fa a la precipitació, la situació és molt més complexa (com de fet ja ho és l'estructura de la precipitació a Catalunya en el clima present). Els diversos resultats regionalitzats donen prediccions una mica diferents. A tall de síntesi es podria dir que a Catalunya la precipitació no hauria de canviar de forma gaire significativa, ja que les diverses prediccions oscil·len entre disminucions moderades i augments molt lleugers. Amb una mica més de detall, en general hi ha acord per predir disminucions entre petites i moderades (fins un 20%) de la precipitació durant l'estiu, i augments petits (fins un 10%) a l'hi-

vern. No s'han trobat prediccions de canvis significatius pel que fa a la primavera, mentre que de cara a la tardor la disminució de la precipitació seria encara menor que la de l'estiu. L'únic estudi que permet distingir variacions espacials d'aquests canvis indica disminucions de precipitació a la zona del Pirineu i Pre-pirineu occidental (podria anar lligat a les disminucions estiuencques) i augments a la resta del territori. Tots aquests resultats corresponen a finals del segle XXI.

14. Hi ha encara una gran tasca d'investigació a realitzar pel que fa a les qüestions de regionalització de les projeccions del canvi climàtic i, en particular, a les projeccions per l'àrea de Catalunya. De fet, no s'ha trobat cap estudi centrat estrictament en el territori català. Amb tota seguretat, a escala internacional en els propers anys es desenvoluparan projectes de recerca per tal de millorar les prediccions regionals, atesa aquesta necessitat clara de resultats el màxim de robustos possible. Per la seva proximitat, cal citar tres projectes finançats per la Comissió Europea (PRUDENCE, STARDEX, MICE) que se centren en la regionalització de les previsions de canvi climàtic. Seria molt convenient que, simultàniament, es desenvolupessin projectes semblants, vinculats d'alguna manera als d'escala superior, i que estiguessin centrats en el territori català.

Referències bibliogràfiques

AYALA-CARCEDO, Francisco Javier; IGLESIAS LÓPEZ, Alfredo. «Impactos del posible cambio climático sobre los recursos hídricos, el diseño y la planificación hidrológica en la España peninsular». A: BALAIRÓN, Luís, *El cambio climático*, Madrid: Servicio de Estudios del BBVA, 2000.

BORÉN, R.; RIBALAYGUA, J.; BENITO, L.; BALAIRÓN, L. «A two step analogical/regression downscaling method. Part I: description and validation». (Comunicació privada).

CUBASCH, U.; VON STORCH, H.; WASKIEWITZ, J.; ZORITA, E. «Estimates of climate change in Southern

Europe derived from dynamical climate model output». *Climate Research*, vol. 7 (1996), p. 129-149.

GALLARDO, C.; ARRIBAS, A.; PREGO, J.A.; GÄRTNER, M.A.; CASTRO, M. «Multi-year simulations using a regional-climate model over the Iberian Peninsula: Current climate and doubled CO₂ scenario». *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 127 Part A, núm. 575 (July, 2001) p. 1659-1681.

GIORGI, Filippo; O MEARNS, Linda. «Introduction to special section: Regional climate modeling revisited». *Journal of Geophysical Research*, vol. 104, núm. D6 (March 27, 1999), p.6335-6352.

GIORGI, Filippo; O MEARNS, Linda. «Probability of regional climate change based on the reliability Ensemble Averaging (REA) method». *Geophysical Research Letters*, vol. 30, núm. 12 (2003), p. 31-1-31-4.

GOODESS, C.M.; PALUTIKOF, J.P. «Development of daily rainfall scenarios for Southeast Spain using a circulation-type approach to downscaling». *International Journal of Climatology*, vol. 10 (1998), p. 1051-1083.

GRASSL, Hartmut. «Status and Improvements of Coupled General Circulation Models». *Science*, vol. 288 (June 2000), p.1991-1997.

HOUGHTON, J.T.; DING, Y.; GRIGGS, D.J.; NOGUER, M.; VAN DER LINDEN, P.J.; DAI, X.; MASKELL, K.; JOHNSON, C.A. *Climate Change 2001: The Scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge and New York: Cambridge University Press, 2001.

HOUGHTON, John. *Global Warming: The Complete Briefing*. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.

HULME, M.; SHEARD, N. *Escenarios de Cambio Climático para la Península Ibérica*. Norwich: Climatic Research Unit, University of East Anglia, 1999.

MCGUFFIE, K.; HENDERSON-SELLERS, A. «Forty years of numerical climate modelling». *International Journal of Climatology*, vol. 21 (2001), p. 1067-1109

MIMAM (Ministerio de Medio Ambiente). *Tercera comunicación nacional de España a la Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, 2002.

NOGUER, María. «Modelos climáticos». A: BALAIRÓN, Luís, *El cambio climático*. Madrid, España: Servicio de estudios del BBVA, 2000.

PAETH, H.; RAUTHE, M.; HENSE, A. «Relative Importance of the AO, NAO and Aleutian Low in Predicting

Regional Climate Change». *Geophysical Research Abstracts*, vol.5, 06152 (2003).

PRINN, R.; JACOBY, H.; SOKOLOV, A.; WANG, C.; XIAO, X.; YANG, Z.; ECKHAUS, R.; STONE, P.; ELLERMAN, D.; MELILLO, J.; FITZMAURICE, J.; KICKLIGHTER, D.; HOLIAN, G.; LIU, Y. «Integrated Global System Model for climate policy assessment: Feedbacks and sensitivity studies». *Climatic Change* vol. 41, núm. 3/4 (1999), p. 469-546.

RIBALAYGUA, L.; BORÉN, R.; BENITO, J. «A two step analogical/regression downscaling method. Part II: application to HadCM2SUL output». (Comunicació privada).

SUMNER, G. N.; ROMERO, R.; HOMAR, V.; RAMIS, C.; ALONSO, S.; ZORITA, E. «An estimate of the effects of climate change on the rainfall of Mediterranean Spain by the late twenty first century». *Climate Dynamics*, vol 20 (2003), p. 789-805.

B. Impacte, vulnerabilitat, mitigació i adaptació

B1. Energia

Joaquim Corominas

Ecofys i Ecoserveis

Joaquim Corominas (Barcelona, 1940) és doctor enginyer per la Universitat Politècnica de Catalunya i MSEE per la Universitat de Califòrnia a Berkeley. És un dels fundadors d'Ecotècnia i, actualment, és director d'Ecoserveis i d'Ecofys, organitzacions d'estudis i projectes sobre energia i medi ambient, així com professor a les llicenciatures de Ciències Ambientals i de Geografia a la Universitat Autònoma de Barcelona.

És coautor del llibre *La ruta de l'energia* i ha participat en els capítols dedicats a l'energia de l'*Atlas Comarcal del Baix Llobregat* i de l'*Atlas Ambiental de Barcelona*, així com en el Pla de millora energètica de Barcelona. Ha coordinat i treballat en diversos projectes finançats per la Unió Europea en l'àmbit de l'energia i ha participat com expert en l'àrea d'energia de l'obra *Ciudades para un futuro más sostenible. Primer catálogo español de buenas prácticas*, publicat pel Ministeri d'Obres Públiques, Transport i Medi Ambient (MOPTMA) del Govern espanyol.

És membre del *Working Group on the Modalities of European Cooperation in the Fields of Education and Training in Renewable Energy Sources* de la UNESCO.

Síntesi	233
B1.1. Situació actual de la producció i del consum d'energia a Catalunya	237
B1.1.1. Estructura actual del mapa de la producció d'energia primària	
B1.1.1.1. Electricitat primària	
B1.1.1.2. Combustibles	
B1.1.2. Producció pròpia, importació i exportació d'energia	
B1.1.3. Transformació de l'energia primària	
B1.1.4. Estructura actual del consum energètic a Catalunya	
B1.1.4.1. Energia primària	
B1.1.4.2. Energia final	
B1.1.5. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle derivades del consum d'energia	
B1.2. Projeccions energètiques futures per a Catalunya	240
B1.2.1. Projeccions de les demandes d'energia	
B1.2.1.1. Consum d'energia final	
B1.2.1.2. Consum d'energia primària	
B1.2.2. Projeccions de la producció d'energia primària	
B1.2.3. Projeccions del saldo importació-exportació d'energia	
B1.2.4. Projeccions de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle associades al consum d'energia	

B1.2.5. La influència del canvi climàtic sobre l'energia	
B1.2.5.1. Influència directa	
B1.2.5.2. Influència indirecta	
B1.3. Mesures d'adaptació als canvis	248
B1.3.1. El Llibre Blanc de l'Energia a Catalunya	
B1.3.2. Programa ESPREC (Estudio Especial y Prospectivo de la Energía en Cataluña)	
B1.3.3. El Llibre Verd de les Energies Renovables a l'Euroregió	
B1.3.4. Pla de l'Energia a Catalunya en l'Horitzó de l'any 2010	
B1.3.5. Implicació en la producció d'energia primària a Catalunya	
B1.3.6. Implicació en la importació-exportació d'energia	
B1.3.7. Implicació en el consum a Catalunya	
B1.3.7.1. Consum final d'energia	
B1.3.7.2. Consum d'energia primària	
B1.4. Mesures de mitigació	256
B1.4.1. Introducció	
B1.4.1.1. Els actors principals	
B1.4.1.1.1. La Unió Europea	
B1.4.1.1.2. Organismes internacionals	
B1.4.1.1.3. L'Estat espanyol	
B1.4.1.1.4. Catalunya	
B1.4.1.1.5. Universitats	
B1.4.1.1.6. ONG	
B1.4.1.1.7. Empreses	
B1.4.2. Mesures sobre les tecnologies de subministrament	
B1.4.3. Mesures sobre les tecnologies d'ús final	
B1.5. Conclusions	261
B1.5.1. Conclusions generals	
B1.5.2. El sistema energètic de Catalunya i les seves emissions de GEH	
B1.5.3. Elements clau en els propers cinc anys	
Referències bibliogràfiques	264

Síntesi

La utilització d'energia d'origen fòssil és un dels principals factors que expliquen l'augment de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. El consum energètic s'ha incrementat d'ençà de la Revolució Industrial, tot i que a partir de 1945, ho ha fet amb un ritme més elevat. Aquest creixement s'alenteix amb la crisi energètica de l'any 1973 i, especialment, del 1979, bàsicament per motius econòmics i de consciència sobre la limitació dels recursos fòssils i dels efectes nocius del seu ús (com, per exemple, la pluja àcida). En la dècada dels anys 90 del segle passat, hom comença a reconèixer la necessitat de reduir les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i, per tant, el consum de combustibles fòssils.

L'any 2000, les fonts no renovables d'energia aportaven el 97% de l'energia primària consumida a Catalunya. Aquesta proporció s'ha mantingut o ha baixat fins al 95%, segons els diversos escenaris del *Pla de l'Energia a Catalunya en l'Horitzó de l'any 2010*. Prenent com a base 100 les emissions de GEH de l'any 1990, les emissions de l'any 2000 eren de 149, les estimades per l'any 2010 són de 206 i de 181 en els escenaris Base i IER, respectivament. Pel que fa al conjunt de l'Estat espanyol, aquests mateixos índexs eren 130 (any 2000), 148 (escenari Base per l'any 2010) i 128 (escenari IER per al mateix any). Qualsevol d'aquests índexs del conjunt de l'Estat espanyol són més petits que els de Catalunya.

A Catalunya, les emissions de GEH atribuïbles a tot el cicle de l'energia són de 4,2 tones per habitant, l'any 1990, 6,1 t l'any 2000, 8,15 en l'escenari base de 2010 i 7,16 en l'escenari IER. Per a l'Estat espanyol, aquests valors són de 5,3 el 1990 i de 9,83 el 2000. De cara a l'any 2010, s'estimen unes emissions de 7,72 i 6,67 en funció de l'escenari. Com es pot observar, els valors previstos per a l'any 2010 són més petits que els previstos per a Catalunya.

Els valors de les emissions de GEH (en tn/10⁶ ptes de VAB) són de 2,89 l'any 1990 i 2,18 l'any 2000. Les estimacions per al 2010 són de 2,2 en el cas de l'escenari Base i d'1,94 en l'escenari IER. Els índexs corresponents al conjunt de l'Estat espanyol són de 6,51 l'any 1990, de 4,35 l'any 2000 i, de cara a l'any 2010, de 3,83 o 3,31 segons l'escenari. Aquest índex és més favorable per a Catalunya que per al conjunt de l'Estat espanyol.

La preocupació creixent pels efectes dels GEH sobre el clima ha generat nombroses respostes en el sector energètic. A Catalunya s'han escomès diverses accions de cara a adaptar-se a les noves circumstàncies. El *Llibre Blanc de l'Energia a Catalunya* (any 1981 i any 1985) va ser el primer, seguit pel *Programa ESPREC: Estudio Especial y Prospectivo de la Energía en Cataluña* (1989), el *Llibre Verd de les Energies Renovables a l'Euroregió* (any 1997) i el *Pla de l'Energia a Catalunya en l'Horitzó de l'any 2010* (aprovat l'any 2002).

Els conceptes d'energia primària, final i útil, així com la cadena que hi ha entre la font primària d'energia i l'energia útil (que inclou els materials emprats per a les transformacions i el transport d'energia) són clau per comprendre el conjunt del sistema energètic. En general, com més llarga és aquesta cadena més gran és l'impacte i més importants són les pèrdues energètiques. Per aquest motiu, és essencial escollir adequadament les fonts, les tecnologies i els vectors energètics per tal de reduir al màxim la cadena entre la font i l'energia útil.

Reduir les emissions de GEH derivades de la producció d'energia primària a Catalunya implica disminuir els consums propis i l'ús dels combustibles més intensius de GEH per unitat d'energia lliurada, augmentar la proporció dels tipus d'energia menys intensiva en GEH i produir formes d'energia més properes a la demanada d'energia

útil. Substituir unes formes d'energia primària per unes altres acostuma a tenir repercussions ambientals i territorials. La localització de les fonts i dels dipòsits energètics difícilment serà la mateixa i els processos diferiran en tecnologies i en emissions i residus produïts.

La manera més directa de reduir les emissions de GEH és disminuir el consum final d'energia, ja sigui per mesures d'estalvi (deixar de consumir-la), d'eficiència (utilitzant equips i sistemes més eficients) o desplaçar l'ús de tipus d'energies vers altres menys intensives en GEH, fet que pot comportar inversions en equipaments i uns costos energètics més elevats. En aquests aspectes encara queda molt camp per córrer, i és un dels factors més importants per reduir els GEH. Optimitzar les necessitats d'energia disminueix les emissions de GEH, la despesa energètica i els impactes dels canvis en els preus dels productes energètics.

Les emissions de GEH poden ser evitades de maneres diverses, com ara:

- 1) Reduir l'ús dels combustibles que produeixen més emissions per servei energètic, substituint aquests combustibles per altres menys contaminants i augmentant l'eficiència de les transformacions energètiques;
- 2) Reduir el consum final d'energia, disminuint els consums que no afecten els serveis energètics útils, augmentant el rendiment de les transformacions o, fins i tot, disminuint els serveis proporcionats;
- 3) Utilitzar fonts d'energia adequades: renovables, combustibles menys productors de GEH per unitat energètica, residus productors de GEH o amb contingut energètic;
- 4) Augmentar l'eficiència de les transformacions, reduint pèrdues i transports evitables, aprofitant subproductes, utilitzant processos més eficients i evitant transformacions innecessàries;

5) Internalitzar els costos: eliminant subvencions encobertes i transferències de costos entre fonts, erradicant subvencions i tarifes que afavoreixen processos que no minimitzin les emissions de GEH, assignant els costos de la reducció de les emissions de GEH a cadascuna de les fonts,

6) Aprofitar els GEH: CO₂ a la indústria, CH₄ com a carburant, introduint-lo a la xarxa de gas canalitzat o per a la generació de calor i/o electricitat.

A Catalunya, la política energètica ha estat marcada per dos documents: el *Llibre Blanc de l'Energia a Catalunya* (període 1981-2000) i el *Pla de l'Energia a Catalunya en l'Horitzó de l'any 2010* (període 2002-2010). El primer va mostrar les accions que podrien realitzar-se en estalvi, eficiència i ús de fonts renovables a Catalunya. En gran part es va basar en accions anteriors impulsades per diversos actors. De les seves conclusions i propostes es pot destacar que moltes encara són vàlides actualment, que algunes s'haurien de modificar per adaptar-se a les necessitats de reducció de les emissions de GEH i que s'hauria d'impulsar l'execució de les accions que no s'han dut a terme i que encara són vàlides.

Cal preveure que la transposició de la Directiva sobre els límits nacionals d'emissions de determinats contaminants atmosfèrics a l'Estat espanyol comporti problemes importants per al seu compliment a Catalunya. Els Estats membres tenen la competència per fer l'assignació de les emissions a les regions i als diversos sectors. El *Pla de l'Energia a Catalunya en l'Horitzó de l'any 2010* proposa utilitzar l'indicador d'emissions de GEH per unitat de VAB. Aquest paràmetre és clarament beneficiós per a Catalunya en relació al conjunt de l'Estat espanyol.

A Catalunya hi ha prou recursos renovables, prou coneixements i tecnologia suficient com per poder augmentar significativament l'aportació de les fonts renovables d'energia si s'estableixen les

condicions oportunes de promoció activa com les que en el seu dia van obtenir totes les altres fonts. Moltes de les condicions estan exposades, de forma molt clara, al *Llibre Blanc de l'Energia a Catalunya*.

Hi ha accions que poden dur-se a terme per reduir les emissions de GEH que no han estat proposades en els documents oficials esmentats, com ara afegir turbina i generador als embassaments existents que no en tenen o no autoritzar centrals termoelectriques sense congeneració.

És essencial aconseguir acords favorables per a la importació a Catalunya d'energia verda en

forma de combustibles, de carburants i d'electricitat.

Cal adequar els sistemes d'assignació de costos i la fiscalitat als costos reals. Cal tenir present que els costos de reducció de les emissions de CO₂ són de l'ordre de magnitud de les primes assignades a l'electricitat d'origen renovable. És necessari impulsar l'assignació dels costos als tipus d'electricitat (renovable –incloent tota la hidràulica– i no renovable –fòssils i nuclear–), evitant que la gran hidràulica financii l'electricitat d'origen no renovable abaratint-ne el preu de venda en lloc d'aconseguir un preu competitiu per al conjunt de fonts renovables.

B1.1. Situació actual de la producció i del consum d'energia a Catalunya

B1.1.1. Estructura actual del mapa de la producció d'energia primària

La utilització d'energia d'origen fòssil (carbó, petroli, gas natural i els seus derivats) és un dels principals factors causant de l'augment de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (GEH) arreu del món i, per tant, a Catalunya. El consum energètic a escala mundial s'ha anat incrementant d'ençà de la Revolució Industrial, però és a partir de l'any 1945 quan ho fa amb un ritme més elevat, que s'alenteix amb la crisi energètica de l'any 1973 i, especialment, del 1979. Aquest alentiment es pot explicar, bàsicament, per motius econòmics, de conscienciació sobre el fet que els recursos fòssils són limitats i dels efectes nocius del seu ús, com la pluja àcida. En la dècada dels 90 hom comença a reconèixer la necessitat de reduir les emissions de GEH i, per tant, de reduir l'ús dels combustibles fòssils.

El consum d'energia està relacionat amb molts aspectes de la vida quotidiana. D'aquesta manera, s'utilitza energia extrasomàtica fòssil per a moltes finalitats, que van des d'amplificar o substituir la força muscular fins a les ornamentals o esportives. Amb l'electrònica, s'introdueixen noves aplicacions de l'energia elèctrica, algunes de les quals s'havien dut a terme mecànicament com ara operacions aritmètiques, senyalització, comunicacions o la reproducció del so.

El paper central que va jugar l'energia en les guerres de mitjan segle xx i en la reconstrucció posterior van modificar essencialment l'estructura i les regles de joc del sector energètic, concentrant-lo en mans d'empreses estatals o dels grups que van donar suport als conflictes bèl·lics o els processos de reconstrucció.

El criteri de garantir la disponibilitat d'energia o d'obtenir uns beneficis importants com a compensació pels favors fets en l'etapa bèl·lica va marcar el desenvolupament del sector energètic a Europa en règim de monopoli o de servei d'utilitat pública.

A partir de les primeres centrals electronuclears comercials, l'any 1956, s'abandonen els projectes i els programes de desenvolupament de les fonts renovables d'energia que havien assolit fites importants. De la mateixa manera, els costos, els riscos, la manca de solució als residus nuclears i els accidents van aturar el desplegament de noves centrals nuclears a la majoria de països d'Europa.

La preocupació creixent pels efectes que els GEH tenen sobre el clima ha generat nombroses respostes en el sector energètic. Els apartats següents descriuen la situació actual del sector energètic i la seva contribució en termes d'emissió de GEH, les projeccions futures, i les mesures d'adaptació i mitigació adoptades.

En el ciclo de l'energia podem considerar el consum en tres fases (figura B1.1):

- 1) Energia primària: inclou el carbó, el petroli, el gas natural, l'energia hidroelèctrica, la solar, l'eòlica i la nuclear, així com certs tipus de biomassa. És un indicador de les emissions del sistema energètic.
- 2) Energia final: energia subministrada als usuaris, com l'electricitat, el gas canalitzat, embottellat o en cisterna. Permet mesurar el negoci del sector energètic.
- 3) Energia útil: energia del servei desitjat, com la llum, la calor, el moviment, la deformació i el canvi d'estat. Permet mesurar el nivell de vida

B1.1.1.1. Electricitat primària

A Catalunya hom considera electricitat primària la d'origen hidràulic, solar, eòlic i nuclear, la de la combustió de la biomassa (forestal, residus agrícoles) o de biogàs. L'electricitat generada a

partir dels combustibles fòssils es considera *energia final*. En la producció d'electricitat primària domina la d'origen nuclear (82,6%), seguida per la hidràulica (15,8%). La resta queda reduïda a l'1,6%. La proporció de la potència instal·lada és una mica diferent, a causa de la diferència d'hores d'utilització equivalents a plena potència entre les diferents fonts. La potència de les centrals nuclears és més de la meitat del total de la potència de generació d'electricitat primària (56,4%), seguida per les centrals hidràuliques (41,5%) i la resta (2,1%).

La Taula B1.1 mostra els valors de les potències de generació elèctrica instal·lades, la producció bruta l'any 2000 i l'energia primària consumida per produir l'electricitat.

L'electricitat primària d'origen renovable ha aprofitat un 98,9% de l'energia primària que ha consumit, i les instal·lacions de generació han funcionat un total de 1.980 hores equivalents a l'any o, el què seria el mateix, un 22,6% de la

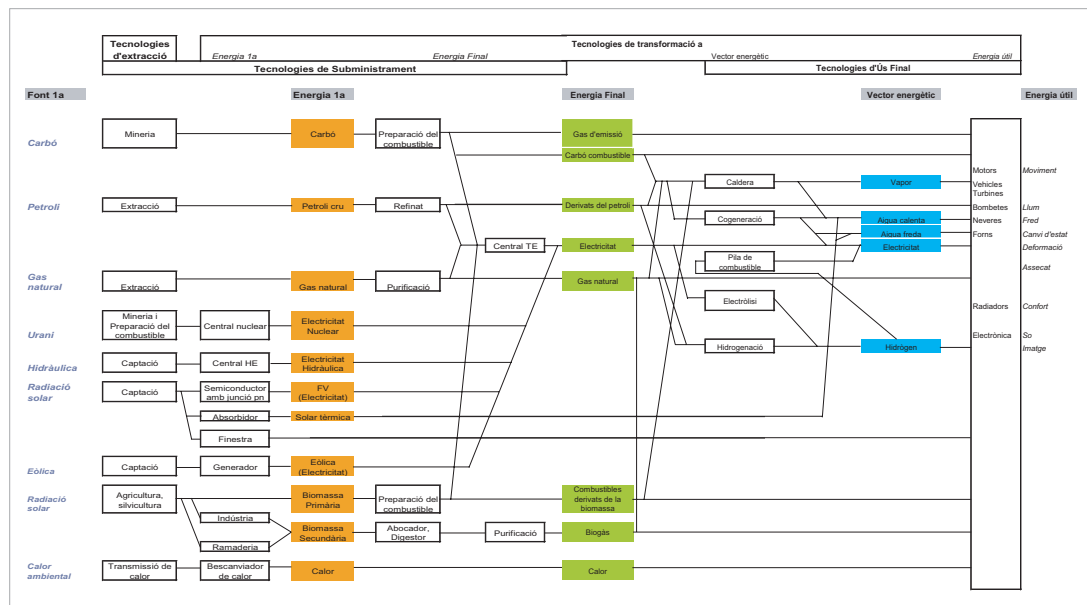


Figura B1.1. Fluxos principals del cycle de l'energia. Font: elaboració pròpia.

	Potència Bruta (MW)		Consum anual per a la generació (GWh)		Producció anual Bruta (GWh)	
Renovable	2.358,0		4.722,7		4.670,8	
Hidràulica		2.293,1		4.536,4		4.536,4
Biomassa + Metanització		4,3		81,4		29,5
Èolica + Fotovoltaica		60,6		104,9		104,9
No renovable	3.166,3		71.231,4		23.993,6	
Nuclear		3.117,0		69.690,7		23.689,2
Residus		49,3		1.540,7		304,4
Total	5.524,3		75.954,0		28.664,4	

Taula B1.1. Estructura de la generació d'electricitat primària a Catalunya
Font: elaboració pròpia.

seva capacitat total de producció. L'electricitat primària d'origen no renovable ha aprofitat un 33,7% de l'energia primària que ha consumit, i les seves instal·lacions han funcionat 7.578 hores a l'any o, el que seria el mateix, un 86,5% de la seva capacitat.

Cal ressaltar que la generació d'electricitat primària està molt concentrada en un nombre reduït de comarques pirinenques, al Baix Ebre i al Baix Camp.

B1.1.1.2. Combustibles

La producció d'energia primària en forma de combustibles (carbó, petroli i derivats, gas natural i residus industrials) a Catalunya representa només un 16% de la producció d'electricitat pri-

mària. Aquest valor reflecteix els pocs recursos energètics fòssils propis dels quals disposa el país. El petroli és el combustible dominant (55%), seguit pel carbó (28,3%) i pels residus industrials (16,3%). La producció de combustibles també es concentra en unes quantes comarques de Catalunya. La taula B1.2 mostra els valors de la producció d'energia primària en forma de combustibles a Catalunya l'any 2000. La figura B1.2 mostra les transformacions d'energia primària a energia final a Catalunya.

B1.1.2. Producció pròpia, importació i exportació d'energia

La taula B1.3 mostra la producció bruta d'energia i el saldo importació-exportació d'energia per tipus de font primària, tant en valors abso-

	ktep	GWh	Percentatge	
			del total	acumulat
Petroli	218,1	2,536,0	55,0	55,0
Carbó	111,8	1,300,0	28,2	83,2
Residus industrials	64,8	753,5	16,3	99,5
Gas natural	2,0	23,3	0,5	100,0
Total	396,7	4.612,8		

Producció de combustibles

- Petroli
- Carbó
- Residus industrials
- Gas natural

Taula B1.2. Producció d'energia primària en forma de combustibles a Catalunya (any 2000)
Font: elaboració pròpia.

	Producció		Importació		
	ktep	GWh	ktep	GWh	% del consum
Carbó	111,8	1.300,0	156,4	1.818,6	58,3
Petroli	218,1	2.536,0	11.368,8	132.195,3	98,1
Gas natural	2,0	23,3	3.873,4	45.039,5	99,9
Electricitat renovable	622,5	7.238,4	n.a	n.a	n.a
Electricitat nuclear	5.993,4	69.690,7	n.a.	n.a	n.a
Total electricitat primària	6.615,9	76.929,1	105,9	345,4	0,4
Total	6.947,8	80.788,4	15.504,5	179.398,8	94,5

Taula B1.3. Producció i saldo de les importacions d'energia a Catalunya (any 2000)
Font: elaboració pròpia.

luts com en percentatge del consum, fet que permet avaluar el pes de les importacions energètiques.

B1.1.3. Transformació de l'energia primària

La figura B1.2 mostra els fluxos i els valors de les transformacions de l'energia primària a Catalunya. Les pèrdues per generació elèctrica representen un 31% de l'energia disponible per al consum final, i el total de pèrdues i consums propis representa un 42% d'aquesta.

B1.1.4. Estructura actual del consum energètic a Catalunya

B1.1.4.1. Energia primària

La taula B1.4 mostra l'estructura del consum actual d'energia a Catalunya, detallada per fonts. Les no renovables són un 97,3% del total, el petroli representa més de la meitat, la nuclear més d'una quarta part i el gas natural un 17%. Així doncs, aquestes tres fonts representen, globalment, un 94,3% de tot el consum energètic de Catalunya.

B1.1.4.2. Energia final

El consum final d'energia és el 58,8% del consum d'energia primària. Les pèrdues per transformacions i per consums propis representen el

47,2% del consum final d'energia. La taula B1.5 mostra la distribució del consum final d'energia per sectors i per tipus d'energia. El transport és el sector amb més consum (39,2%), seguit de la indústria (33,5%), mentre que el sector primari té un pes molt baix en el consum final d'energia (amb un 4,1%).

B1.1.5. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle derivades del consum d'energia

Les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle derivades del consum d'energia a Catalunya es mostren a la taula B1.6 (expressades en valors absoluts i en tones per GWh). Les emissions de l'any 2000 eren 1,5 vegades les de l'any 1990. Expressant les emissions en forma d'indicadors s'obtenen els valors de la taula B1.7.

B1.2. Projeccions energètiques futures per a Catalunya

Les projeccions energètiques futures a Catalunya exposades en aquest apartat es basen en la metodologia i les dades aportades pel *Pla de l'Energia a Catalunya en l'Horitzó de l'any 2010* (Generalitat de Catalunya, 2002), el qual utilitza dos escenaris (Base i IER) i dos terminis (2005 i 2010). L'escenari IER és l'Intensiu en Eficiència i ús d'Energies Renovables.

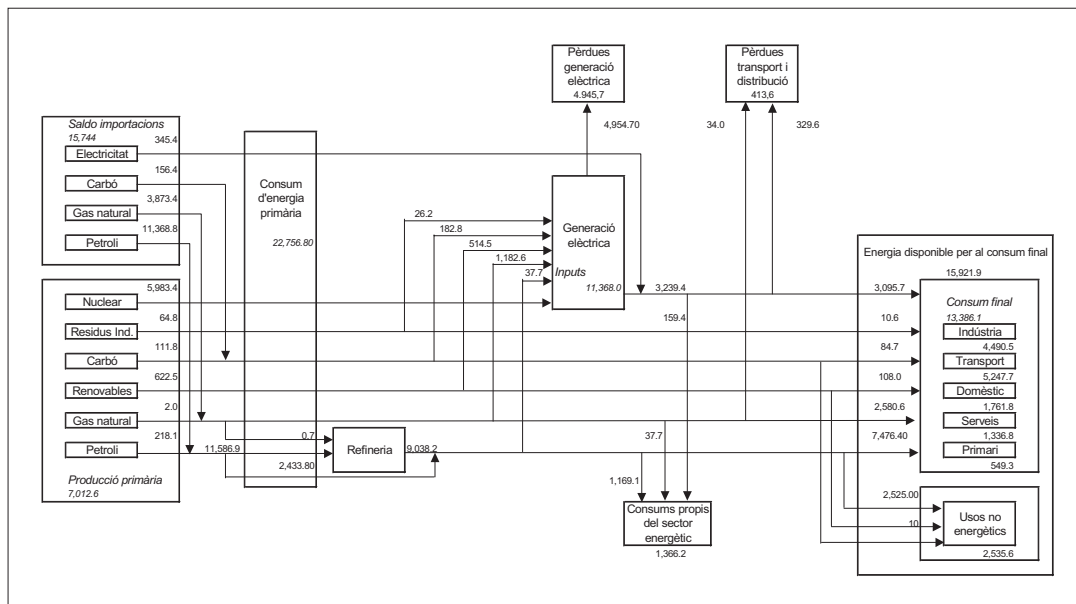
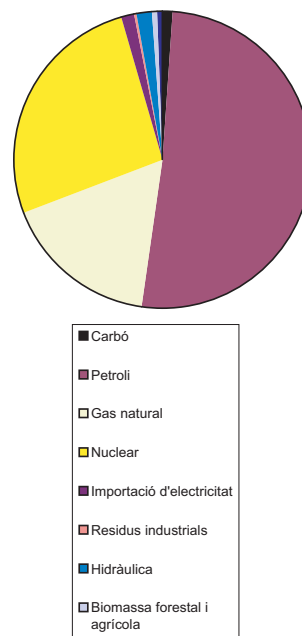


Figura B1.2. Transformacions de l'energia a Catalunya (any 2000).
Font: elaboració pròpia.

Font	Ktep	GWh	% del total
Carbó	268,3	3.119,8	1,18
Petroli	11.586,9	134.731,3	50,92
Gas natural	3.875,4	45.062,8	17,03
Nuclear	5.993,4	69.690,7	26,34
Importació d'electricitat	345,4	4.016,3	1,52
Residus industrials	64,8	753,5	0,28
Total no renovable	22.134,2	257.374,4	97,27
Solar	1,2	14,0	0,01
Eòlica	8,9	103,5	0,04
Hidràulica	390,1	4.536,0	1,71
Biomassa forestal i agrícola	107,2	1.246,5	0,47
RSU	108,3	1.259,3	0,48
Biogàs	6,8	79,1	0,03
Total renovable	622,5	7.238,4	2,74
TOTAL	22.756,7	264.612,8	100,0



Taula B1.4. Estructura del consum d'energia primària a Catalunya (any 2000)
Font: elaboració pròpia.

	Consum final d'energia per Sector (GWh)						% del total
	Indústria	Domèstic	Primari	Serveis	Transport	Consum final	
Carbó	962,8	9,3	0,0	14,0	0,0	986,0	0,63
Coc de petroli	7.087,2	58,1	3,5	9,3	0,0	7.158,1	4,60
Fuel	4.438,4	0,0	0,0	168,6	0,0	4.607,0	2,96
Gasoil	1.290,7	2.527,2	5.854,6	1.126,7	34.219,7	45.029,0	28,93
Querosè	0,0	4,7	0,0	0,0	7.505,8	7.510,5	4,83
Benzina	0,0	0,0	0,0	0,0	18.474,4	18.474,4	11,87
GLP	425,6	2.669,8	173,3	802,3	83,7	4.154,6	2,67
Gas natural	19.950,0	7.139,5	33,7	2.873,3	10,5	30.007,0	19,28
Electricitat	17.088,4	7.466,3	300,0	10.416,3	726,7	35.997,7	23,13
Residus industrials	472,1	0,0	0,0	0,0	0,0	472,1	0,30
Biomassa forestal i agrícola	500,0	590,7	20,9	132,6	0,0	1.244,2	0,80
Solar tèrmica	0,0	10,5	0,0	1,2	0,0	11,6	0,01
Total sector	52.215,1	20.486,0	6.386,0	15.544,2	61.020,9	155.652,2	
% del total	44,5	13,2	4,1	10,0	39,2	100,0	

Taula B1.5. Estructura del consum final d'energia a Catalunya (any 2000)

Font: elaboració pròpia.

	kt CO ₂ equivalent	t CO ₂ /GWh
Producció d'electricitat	5.413	818
Consums i pèrdues pròpies del sector energètic	3.752	707
Consum final	29.005	2.167
TOTAL	38.170	3.692

Taula B1.6. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle derivats del consum d'energia a Catalunya (2000)

Font: elaboració pròpia.

Població	6,4 tCO ₂ /any per habitant
Consum d'energia primària	1,7 tCO ₂ per tep
Consum final d'energia	2,9 tCO ₂ per tep
Superfície	1.193,0 tCO ₂ /any per km ²

Taula B1.7. Indicadors de les emissions d'origen energètic de gasos amb efecte d'hivernacle a Catalunya (any 2000)

Font: elaboració pròpia

B1.2.1. Projeccions de les demandes d'energia

B1.2.1.1. Consum d'energia final

La taula B1.8 i la Figura B1.3 mostren el consum final d'energia l'any 2000 i les projeccions pels anys 2005 i 2010, en els dos escenaris del *Pla de l'Energia a Catalunya*, per font d'energia. Les fonts renovables passen de ser un 1,1% de l'energia tèrmica el 2000 a un 1,4% o un 4,2% l'any 2010, segons l'escenari considerat. En l'escenari base, les fonts renovables augmenten un 68% el seu consum de l'any 2000 i, en l'escenari intensiu en fonts renovables, el seu consum es multiplica per 4,2.

El pes del consum d'electricitat puja lleugerament, del 23% al 25% o el 26% l'any 2010, fet que representa un augment del 32% o del 43% respecte el consum de l'any 2000, en funció de l'escenari considerat.

B1.2.1.2. Consum d'energia primària

La taula B1.9 mostra les projeccions de les demandes energètiques d'energia primària. Les fonts renovables són un 2,8% del total d'energia primària consumida l'any 2000 i passen a ser un 2,9% o un 5,8% segons els escenaris considerats, fet que representa un augment del 36% a 2,5 vegades el consum del 2000.

L'any 2000, les fonts no renovables van proporcionar el 97% del consum d'energia primària, i mantenen la proporció o baixen al 95% segons els escenaris. Les fonts no renovables augmenten el consum un 32,5% o un 19,7%, segons els escenaris.

B1.2.2 Projeccions de la producció d'energia primària

Les projeccions de la producció d'energia primària a Catalunya estan recollides a la taula B1.10 Els valors corresponents a les fonts renovables d'energia varien poc respecte els mostrats a la taula B1.9, ja que només s'importa o exporta biocarburants com energia primària procedent de fonts renovables. La gran importació d'ener-

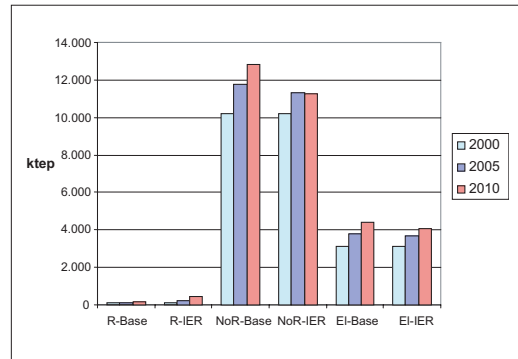


Figura B1.3. Projeccions de les demandes finals d'energia a Catalunya. Font: elaboració pròpia a partir de dades del Pla de l'Energia a Catalunya en l'Horitzó de l'any 2010.

gia primària no renovable és la causa de les grans diferències entre els valors de les taules B1.9 i B1.10. De cara a l'any 2010, les importacions previstes són més petites que les de l'any 2000.

B1.2.3. Projeccions del saldo importació-exportació d'energia

La taula B1.11 mostra les projeccions del saldo importacions-exportacions d'energia primària a Catalunya. Com es pot observar, gairebé totes les transferències d'importació i d'exportació es realitzen amb fonts no renovables.

El petroli varia poc en contraposició amb el carbó, que es redueix, aproximadament, en una tercera part, tot i que els valors absoluts són poc importants. Les importacions de gas natural poden superar el doble dels valors actuals. El saldo elèctric passa de ser importador a exportador, el contrari del que passa amb els biocarburants.

B1.2.4. Projeccions de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle associades al consum d'energia

Les projeccions de les emissions de GEH derivats del consum d'energia per al 2005 i per al 2010 d'acord amb els escenaris Base i Intensiu en Energia Renovable (IER) del *Pla d'Energia de Catalunya* es recullen a la taula B1.12.

Font	Consum 2000 ktep	Projeccions			
		2005		2010	
		Base	IER	Base	IER
Carbo	84,8	77,4	74,8	73,3	67
Coc de petroli	615,6	653,8	545,1	537,3	490,6
Fuel	396,2	149,9	145,7	133,3	123,6
Gasoil	3.872,5	4.678,9	4.502,80	4998,7	4.362,7
Querosè	645,9	788,6	788,6	891	891
Benzina	1.588,8	1.590,7	1.534,60	1.723,8	1.395,3
GLP	357,3	338,9	319,1	324,6	272,9
Gas natural	2.580,6	3.524,8	3.371,2	4.093,8	3.628,5
Electricitat	3.095,8	3.783,8	3.675,5	4.421,2	4.095,6
Residus industrials	40,6	44,4	44,4	48,5	48,5
Biomassa forestal i agrícola	107,0	95,8	98,7	80,8	87,8
Bioetanol	0	3	9,6	8,6	23,6
Biodiesel	0	27,9	109,8	81,1	296,6
Biogàs	0	4,8	13,4	6,7	29,6
Solar tèrmica	1,0	2,5	15,7	4,1	34,5
<i>Subtotal tèrmica</i>					
<i>Renovables</i>	108,0	134,0	247,2	181,3	472,1
<i>No renovables</i>	10.182,3	11.757,4	11.326,2	12.824,3	11.280,1
<i>Subtotal electricitat</i>	3.095,8	3.783,8	3.675,5	4.421,2	4.095,6
<i>Total</i>	13.186,1	15.675,2	15.249,0	17.426,8	15.847,8

Taula B1.8. Projeccions de les demandes finals d'energia a Catalunya
Font: elaboració pròpia a partir de dades del Pla de l'Energia a Catalunya en l'Horitzó de l'any 2010.

Prenent com a base 100 les emissions de GEH de l'any 1990, les emissions de l'any 2000 eren de 149. Les estimades per al 2010 són 206 en l'escenari Base, i 181 en l'escenari IER. Comparant aquests índexos amb els corresponents del total de l'Estat espanyol, el de l'any 2000 és de 130 i el de l'any 2010 de 148 o de 128, segons l'escenari (figura B1.4). Tots els índexos del conjunt de l'Estat espanyol són més petits que els de Catalunya.

L'any 1990, les emissions de GEH són de 4,2 tones per habitant, de 6,1 t/hab el 2000, de 8,15 t/hab en l'escenari Base del 2010 i de 7,16 t/hab en l'escenari IER. Per al conjunt de l'Estat espanyol, aquests mateixos índexs són de 5,3 t/hab l'any 1990 i de 9,83 l'any 2000. Per a l'any 2010, els valors són de 7,72 t/hab o de 6,67 t/hab, segons l'escenari (figura B1.5). En el cas de Catalunya, doncs, els valors previstos

	Consums d'energia primària (en ktep)				
	Any 2000	Any 2005		Any 2010	
		Base	IER	Base	IER
Carbó	268,3	214,3	211,7	73,3	67,0
Petroli	11.586,9	13.280,6	13.005,9	14.378,1	13.005,5
Gas natural	3.875,4	7.367,7	7.077,3	8.680,3	7.411,7
Nuclear	5.993,4	6.042,1	6.042,1	6.042,1	6.042,1
Saldo importació d'electricitat	345,4	-332,0	-458,9	1,4	-173,7
Residus industrials	64,8	146,4	146,4	150,5	150,5
Subtotal no renovables	22.134,2	26.719,1	26.024,5	29.325,7	26.503,1
Solar	1,2	2,6	16,9	4,4	37,1
Eòlica	8,9	34,8	82,1	61,1	203,0
Hidràulica	390,1	414,3	424,6	414,5	439,1
Fotovoltaica	0	0	0	0	0
Biomassa agrícola i forestal	107,2	96,0	144,1	81,0	226,8
RSU	108,3	108,3	108,3	108,3	108,3
Biogàs	6,8	65,4	101,7	87,6	192,4
Biocarburants	0	30,9	119,5	89,7	320,2
Subtotal renovables	622,5	752,3	997,2	846,6	1.526,9
TOTAL	22.756,7	27.471,4	27.021,7	30.172,3	28.030,0

Taula B1.9. Projeccions de les demandes d'energia primària a Catalunya (anys 2000, 2005 i 2010)
 Font: elaboració pròpia a partir de dades del Pla de l'Energia a Catalunya en l'Horitzó de l'any 2010.

per a l'any 2010 són superiors als de l'Estat espanyol.

Els valors de les emissions de GEH, en tones per milió de pessetes de valor afegit brut, són de 2,89 t/Mpts l'any 1990 i de 2,18 t/Mpts l'any 2000. Les estimacions per al 2010 són de 2,2 en l'escenari Base i d'1,94 en l'escenari IER. Els índexos corresponents al conjunt de l'Estat són de 6,51 t/Mpts l'any 1990, de 4,35 t/Mpts l'any 2000 i, segons les previsions per al 2010, de

3,83 t/Mpts o 3,31 t/Mpts, segons l'escenari (figura B1.6). Aquest índex –tones de CO₂ equivalent per unitat de Valor Afegit Brut– és més favorable per a Catalunya que en el conjunt de l'Estat espanyol.

B1.2.5 La influència del canvi climàtic sobre l'energia

Fins ara s'ha analitzat la demanda, la producció i les emissions de diferents escenaris del que, des de l'òptica del canvi climàtic, es podria con-

	Producció d'energia primària (en ktep)				
	Any 2000	Any 2005		Any 2010	
		Base	IER	Base	IER
Carbó	111,8	105,6	105,6	25,9	25,9
Petroli	218,1	500,0	500,0	0	0
Gas natural	2	2,0	2,0	0	0
Nuclear	5.993,4	6.042,1	6.042,1	6.042,1	6.042,1
Saldo importació d'electricitat	-	0	-	0	-
Residus industrials	64,8	146,4	146,4	150,5	150,5
Subtotal no renovables	6.390,1	6.796,1	6.796,1	6.218,5	6.218,5
Solar	1,2	2,6	16,9	4,4	37,1
Eòlica	8,9	34,8	82,1	61,1	203,0
Hidràulica	390,1	414,3	424,6	414,5	439,1
Fotovoltaica	-	0	-	-	-
Biomassa agrícola i forestal	107,2	96,0	144,1	81,0	226,8
RSU	108,3	108,3	108,3	108,3	108,3
Biogàs	6,8	65,4	101,7	87,6	192,4
Biocarburants	0	70,4	111,8	70,4	258,8
Subtotal renovables	622,5	791,8	989,5	827,3	1.465,5
TOTAL	7.012,6	7.587,9	7.785,6	7.045,8	7.684,0

Taula B1.10. Projeccions de la producció d'energia primària a Catalunya (anys 2000, 2005 i 2010)
 Font: elaboració pròpia a partir de dades del Pla de l'Energia a Catalunya en l'Horitzó de l'any 2010.

siderar com un escenari «*business as usual*», és a dir, sense introduir la variable del canvi climàtic.

En aquest apartat s'analitza la influència, directa i indirecta, del canvi climàtic sobre el sistema energètic. Els esdeveniments de l'estiu de l'any 2003, van evidenciar alguns d'aquests efectes, la importància de la qual supera la dels efectes immediats. Aquests, i la seva solució convencional, acostumen a provocar una realimentació positiva, que incrementa la magnitud del canvi

climàtic i absorbeix recursos per poder fer-hi front.

B1.2.5.1. Influència directa

L'augment de la freqüència dels episodis extrems o de la seva intensitat redueixen la disponibilitat de les instal·lacions de producció i de transport d'energia. Sovint augmenten la punta de la demanda d'energia, bàsicament l'elèctrica. Cada un d'aquests factors és prou important per si mateix, però la seva coincidència

	Saldo importador d'energia primària (en ktep)				
	Any 2000	Any 2005		Any 2010	
		Base	IER	Base	IER
Carbó	156,4	108,7	106,1	47,4	41,1
Petroli	11.368,8	12.780,6	12.505,9	14.378,1	13.305,5
Gas natural	3.873,4	7.365,7	7.075,3	8.680,3	7.411,7
Nuclear	0	0	0	0	0
Saldo importació d'electricitat	345,4	-332,0	-458,9	1,4	-173,7
Residus industrials	0	0	0	0	0
Subtotal no renovables	15.744,0	19.923,0	19.228,4	23.107,2	20.584,6
Solar	0	0	0	0	0
Eòlica	0	0	0	0	0
Hidràulica	0	0	0	0	0
Fotovoltaica	0	0	0	0	0
Biomassa agrícola i forestal	0	0	0	0	0
RSU	0	0	0	0	0
Biogàs	0	0	0	0	0
Biocarburants	0	0	0	0	0
Subtotal renovables	0	-39,5	7,7	19,3	61,4
TOTAL	15.744,0	19.883,5	19.236,1	23.126,5	20.646,0

Taula B1.11. Projeccions del saldo importació-exportació d'energia primària a Catalunya
 Font: elaboració pròpia a partir de dades del Pla de l'Energia a Catalunya en l'Horitzó de l'any 2010.

	kt CO ₂ equivalents				
	Any 2000	Any 2005		Any 2010	
		Base	IER	Base	IER
Producció d'electricitat	5.413	11.458	11.166	12.449	10.665
Consum i pèrdues pròpies del sector energètic	3.752	4.462	4.441	4.917	4.843
Consum final	29.005	32.698	31.446	35.278	30.771
TOTAL	38.170	48.618	47.053	52.644	46.279

Taula B1.12. Projeccions de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a Catalunya (anys 2000, 2005 i 2010)
 Font: elaboració pròpia a partir de dades del Pla de l'Energia a Catalunya en l'Horitzó de l'any 2010.

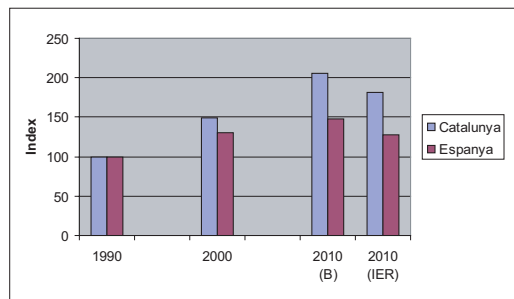


Figura B1.4. Índex de les emissions gasos amb efecte d'hivernacle a Catalunya i a Espanya (anys 1990, 2000 i 2010). Les emissions de l'any 1990 es prenen com a base 100.

Font: elaboració pròpia.

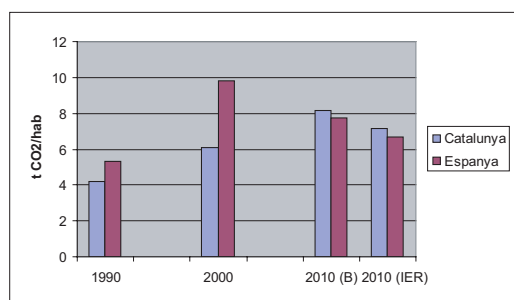


Figura B1.5. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle per habitant a Catalunya i a Espanya (anys 1990, 2000 i 2010).

Font: elaboració pròpia.

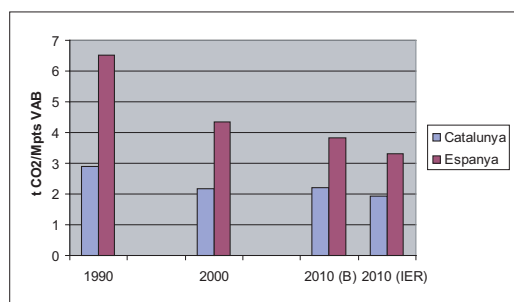


Figura B1.6. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle per milió de pessetes a Catalunya i a Espanya.

Font: elaboració pròpia.

pot produir talls importants en el subministrament d'energia.

L'augment dels màxims i dels mínims de temperatura incrementa la demanda d'energia i, el que és important, modifica els hàbits de consum en direcció a un augment del consum (per exemple, promou l'ús del condicionament de l'aire, fet que incrementa el valor de la punta de la demanda elèctrica).

El risc de reduir la disponibilitat de les instal·lacions energètiques o la cobertura de la demanda energètica pot conduir a relaxar les condicions de seguretat o els límits de les emissions en les infraestructures de producció i de transport d'energia. Adaptar el sistema energètic a un funcionament correcte en circumstàncies més desfavorables implica, doncs, fer inversions addicionals, que poden ser importants i implicar la construcció de noves infraestructures energètiques.

B1.2.5.2. Influència indirecta

Episodis que poden relacionar-se amb el canvi climàtic –com incendis forestals, inundacions, tempestes o temporals marins– afecten les infraestructures de producció, de transport i d'emmagatzematge de l'energia, destruint-les o deixant-les temporalment fora de servei. En uns casos caldrà reparar-les, però sempre caldrà preveure subministraments alternatius, la qual cosa comportarà un increment d'infraestructures i d'inversions.

El sector empresarial –especialment l'industrial– introduirà cada cop més aquests riscos en les decisions de localització de les seves unitats o en l'assignació de les primes d'assegurança.

B1.3. Mesures d'adaptació als canvis

D'ençà de la recuperació de la Generalitat i dels inicis de les crisis energètiques, a Catalunya s'han impulsat diverses accions d'adaptació a les noves circumstàncies, les quals han estat concretades en els documents següents: el Lli-

bre Blanc de l'Energia a Catalunya (Generalitat de Catalunya, 1981 i 1985), el Programa ESPREC –Estudio Especial y Prospectivo de la Energía en Cataluña– (CCE; Generalitat de Catalunya, 1989), el Llibre Verd de les Energies Renovables a l'Euroregió (Institut Català d'Energia, 1997) i, finalment, el Pla de l'Energia a Catalunya en l'Horitzó de l'any 2010 (Generalitat de Catalunya, 2002).

En aquest apartat es descriuran els quatre documents, tot i que es fa una incidència especial en el darrer. Segons el Pla de l'Energia a Catalunya en l'Horitzó de l'any 2010 (d'ara endavant el Pla de l'Energia a Catalunya), les condicions directes de la prospectiva en matèria energètica són el marc econòmic, el marc social (demogràfic, habitatge), els preus dels productes energètics, la política energètica i el desenvolupament de les tecnologies energètiques. També ha tingut en compte els aspectes ambientals i els que fan referència a l'ordenació del territori. L'anàlisi d'aquest apartat s'estructura segons els set aspectes considerats en el Pla de l'Energia a Catalunya.

Els canvis climàtics derivats de l'augment de la concentració de GEH a l'atmosfera com a conseqüència de les emissions d'aquests gasos per part del sistema energètic han de ser contrarestat amb la reposició de la proporció de GEH anterior a l'inici del canvi climàtic. Hi ha diversos tipus de mesures per reduir la concentració actual de GEH a l'atmosfera, entre les quals es poden destacar els següents:

- 1) Evitar emissions de GEH a Catalunya i a altres països de la Unió Europea (a través del mecanisme d'Aplicació Conjunta) i de fora de la Unió (a través del Mecanisme de Desenvolupament Net).
- 2) Fixar les emissions en el medi natural (a través de la vegetació o el mar) o per mitjans tecnològics, transformant-los en compostos estables (carbonats, etc.) en dipòsits geològics.

Les emissions de GEH poden ser evitades de maneres diverses, entre les quals es poden destacar les següents:

- 1) Reduir l'ús dels combustibles que produeixen més emissions per servei energètic, substituint aquests combustibles per altres menys contaminants i augmentant l'eficiència de les transformacions energètiques.
- 2) Reduir el consum final d'energia, disminuint els consums que no afecten els serveis energètics útils, augmentant el rendiment de les transformacions d'energia final a servei energètic i disminuint els serveis energètics.
- 3) Utilitzar el CO₂ en la indústria química i en l'alimentària, i el CH₄ per a la generació de calor i/o electricitat, com a carburant o introduint-lo a la xarxa de gas canalitzat.

Un dels conceptes importants per comprendre el conjunt del sistema energètic és el de la cadena que hi ha entre la font primària d'energia i l'energia útil, concepte que ha estat desenvolupat per Herman Scheer (Scheer, 2000). La cadena inclou tant els materials emprats per les transformacions com el transport de l'energia. En general, com més llarga és la cadena, més impacte i més pèrdues energètiques genera. Per aquest motiu, és essencial escollir adequadament les fonts, les tecnologies i els vectors energètics per tal de reduir al màxim la cadena entre la font i l'energia útil (figura B1.1).

Les mesures d'adaptació a Catalunya apuntades en els documents esmentats a l'inici d'aquest apartat es detallen en les pàgines següents.

B1.3.1. El Llibre Blanc de l'Energia a Catalunya

Aquest document, aprovat l'any 1981 i revisat l'any 1985, va fixar les propostes d'actuacions concretes en el camp energètic sol·licitades pel Parlament de Catalunya l'11 de novembre de 1980. És un document important, el primer en el sector energètic en la recuperada etapa demo-

cràtica i autonòmica de Catalunya. Per aquest motiu, el seu resum ocupa una extensió considerable en aquest apartat.

La rapidesa i l'amplitud d'aquest Llibre Blanc va ser possible gràcies a diverses actuacions de la societat civil, entre les quals es pot destacar les *Jornades de Política Industrial i Energètica*, celebrades entre els dies 15 i 18 de gener de 1981. Cal destacar que la preocupació d'aquells anys era reduir el consum energètic –principalment del petroli– i els efectes de la contaminació local o regional causada pel sistema energètic.

El text recull els objectius de la política energètica, que són els següents:

- Assegurar la satisfacció de la demanda, ser flexible i minimitzar els costos a llarg termini.
- Afavorir el desenvolupament simultani de l'economia i de l'ocupació a Catalunya.
- Promoure l'ús racional de l'energia.
- Afavorir el coneixement i la utilització dels recursos autòctons, bàsicament de les energies renovables, per disminuir la dependència exterior i facilitar la disminució dels desequilibris territorials.
- Incrementar la lluita contra la contaminació i permetre la conservació del medi ambient. Aquest darrer punt diu que *«en totes les decisions de política energètica s'avaluaran amb molta cura les seves implicacions ambientals i s'adoptaran les mesures necessàries per minimitzar els possibles efectes negatius»*.

L'estalvi i la racionalització de l'ús de l'energia es concreta per sectors:

1. Sector industrial

- Adaptació dels processos productius per reduir el consum, utilitzar formes d'energia convenientes, desenvolupar noves tecnologies menys consumidores.
- Recuperació dels recursos secundaris, en particular la calor.
- Creació, per part de l'Administració, d'una po-

lítica energètica adequada que serveixi per a la presa de decisions de les empreses.

- Subministrar informació sobre tècniques i disposicions de racionalització de l'energia i sobre possibilitats d'estalvi d'energia.
- Organitzar recerques sobre tecnologies d'estalvi d'energia.
- Fomentar la introducció en els plans d'estudi dels sistemes d'estalvi d'energia i de l'economia d'energia.
- Crear un banc de dades sobre informacions tècniques de l'energia.
- Realitzar operacions de demostració de gestió energètica.

2. Indústries extractives, productores i transformadores d'energia

- Millorar els rendiments d'extracció o els de conversió d'energia.
- Recuperar els valuosos recursos secundaris d'energia creats al llarg del procés.
- En el sector elèctric: emprendre accions per «aplanar» la corba de càrrega.

3. Ordenació territorial i urbanisme

- Introduir el criteri energètic en les decisions d'ordenació territorial i urbanístiques, per tal que es creïn infraestructures eficients energèticament, i que permetin emprar en el futur les fonts renovables d'energia.
- Vetllar que la localització de les noves zones i les reorganitzacions en les existents no generin un augment excessiu de les necessitats de transport i facilitin la utilització del transport públic.
- Vetllar que els tipus d'edificis, l'orientació dels carrers, la forma de les parcel·les, entre altres mesures, siguin adequats des d'un punt de vista energètic i, en particular, permetin aprofitar la radiació solar i/o un recurs energètic local.
- Buscar la màxima coordinació entre tots els ens locals per detectar les necessitats i aconseguir una efectivitat elevada.
- Endegar un programa de demostració per part dels organismes públics.
- Divulgar informació i organitzar seminaris i

cursos dirigits als responsables del planejament.

- Decidir la conveniència d'establir una legislació específica i en particular de «dret al sol».

4. Sector domèstic, de serveis i primari

- Orientar el sector domèstic vers els objectius de racionalització.
- Vetllar que la política de preus sigui coherent amb els objectius de la política energètica.
- Subministrar informació i ajuts perquè les decisions es prenguin racionalment i s'utilitzin les formes d'energia més convenients.
- Establir un conjunt de normes referents als edificis, als aparells domèstics i a les instal·lacions de calefacció.
- Vetllar que es compleixin les normes d'aïllament tèrmic dels edificis, establint les mesures de control necessàries.
- Subministrar informació als particulars, a les empreses del sector, als arquitectes, aparelladors i constructors.
- Endegar una campanya de conscienciació dels particulars per tal que es consideri el criteri energètic a l'hora de comprar o de llogar un pis, o d'adquirir aparells domèstics.
- Endegar una política exemplaritzadora en el sector públic, realitzant els treballs de millora que siguin necessaris i establint els mecanismes de control adequats.
- Dissenyar els nous edificis públics de manera que siguin un exemple d'utilització racional d'energia.
- Buscar la màxima coordinació entre tots els organismes públics per detectar necessitats i aconseguir una efectivitat elevada.
- Establir una norma comuna de comptabilitat energètica que permeti conèixer i comparar els consums energètics dels diversos ens públics i estimar les possibilitats de racionalització de l'ús d'energia.

5. Sector del transport

És el sector prioritari dins de la política de racionalització, atesa la importància del seu consum i la part que representen els productes petrolífers.

- Disminuir els consums específics dels diversos mitjans de transport.
- Vetllar que els models menys consumidors o les millores que permeten reduir el consum s'introdueixin ràpidament.
- Proporcionar ajuts financers als municipis per millorar les característiques del transport públic, sobretot pel que fa a la mobilitat i a la rapidesa, i per crear les xarxes addicionals necessàries.
- Reduir la utilització dels vehicles particulars, sobretot a les grans ciutats.
- Fomentar la utilització del tren en el transport interurbà de persones.
- Intentar que els transports a distàncies llargues es realitzin amb els mitjans més eficients energèticament.
- Subministrar informació sobre el consum energètic dels diversos mitjans de transport, realitzar campanyes informatives i cursos dirigits als conductors i als empresaris sobre sistemes de conducció més convenients.
- Endegar una campanya per fomentar l'augment de la taxa d'ocupació dels vehicles.
- Dur a terme una política exemplaritzadora dels organismes públics, introduint els perfeccionaments tècnics necessaris.

6. Subsector elèctric¹

- Promoure la conversió a cogeneració de dues centrals de fuel-oil.
- Actuar sobre la demanda elèctrica mitjançant la política de tarifes i de localització industrial per tal d'aplanar la corba i d'aconseguir un funcionament més uniforme.
- Potenciar la cogeneració.
- Vetllar que les tarifes elèctriques reflecteixin els costos reals per promoure l'estalvi energètic i la correcta assignació dels recursos energètics.
- Preveure, en el *Pla Territorial de Catalunya*, els emplaçaments per a la instal·lació dels nous mitjans de producció, transport, transformació i distribució d'energia elèctrica.

1. No inclou les diverses mesures sobre centrals nuclears i control radiològic apuntades al *Llibre Blanc de l'Energia a Catalunya*.

- Realitzar els estudis d'impacte ambiental que siguin necessaris per poder decidir sobre la idoneïtat dels nous emplaçaments de centrals de producció.

7. Subsector del petroli

- Substituir el fueloil en la generació d'energia elèctrica per l'energia nuclear i el carbó, i en la indústria pel carbó.
- En el sector domèstic, substituir els productes derivats del petroli per gas natural.
- Preveure l'aplicació de polítiques d'estalvi d'energia i la introducció de les fonts renovables per moderar el consum del petroli.
- Prendre les mesures necessàries per tal de disminuir el risc d'accidents associats a la producció i a la manipulació de cru i disposar, en el cas que es produeixi una eventualitat, de les instal·lacions i dels equips preparats per fer-hi front i poder evitar les repercussions que pugui tenir sobre el medi de les costes catalanes.

8. Subsector del gas

- Estendre les xarxes de transport i de distribució de gas natural i establir una política fiscal i de preus que faci possible la penetració del gas canalitzat a Catalunya, fent-lo competitiu amb els combustibles que ha de substituir.
- En el camp industrial, afavorir una introducció discriminada del gas a llarg termini.
- Reduir la utilització del gas natural a les centrals tèrmiques a les necessitats de regulació del sistema del gas i disminuir els efectes d'aquestes instal·lacions sobre el medi.
- Proposar al Govern Central un reglament sobre instal·lacions productores i d'emmagatzematge de gas natural i de gas manufacturat similar a l'existent a altres països.

9. Subsector del carbó

- Afavorir l'increment del consum de carbó a Catalunya. Aquest increment caldrà fer-lo mitjançant l'increment de la producció de carbons autòctons i amb carbó d'importació.
- Conèixer amb més detall quines són les reserves de carbó existents a Catalunya.

- Establir, a escala de l'Estat espanyol, una política de preus que cobreixi els costos reals d'explotació per conques. Aquesta política hauria d'afavorir l'explotació dels carbons nacionals cobrint, en els casos que sigui imprescindible, la diferència de costos entre aquests carbons i els importats, mitjançant ajudes estatals.
- Marcar unes directrius polítiques per a la defensa del medi, que no variïn constantment i que tinguin en compte les necessitats ecològiques, els interessos de la política energètica i la competitivitat. Aquestes directrius haurien de cobrir tot el cicle del carbó des de l'extracció fins al consum final.
- Fomentar les investigacions sobre l'ús del carbó en la indústria. Facilitar als possibles consumidors informació sobre el mercat del carbó i sobre les tecnologies existents per a la seva utilització.
- Fixar, en el *Pla Territorial de Catalunya*, la localització de les infraestructures necessàries per a la importació, l'emmagatzematge i el transport del carbó.
- Instar l'Administració central i presentar les oportunes propostes perquè promulgui la legislació en matèria de protecció ecològica per evitar els efectes desfavorables sobre l'entorn miner.

10. Fonts renovables d'energia

Resulta extremadament difícil analitzar el paper de les fonts renovables en l'aprovisionament energètic del futur, ja que moltes no estan desenvolupades tecnològicament, o econòmicament no és rendible utilitzar-les.

Les avaluacions que es presenten no es basen en objectius a assolir, sinó en especulacions raonables sobre el futur basades en la informació avui disponible.

- La necessitat de disminuir la dependència energètica de l'exterior i de protecció del medi fa palès l'interès d'afavorir el desenvolupament o la implantació d'algunes tecnologies

per tal d'aprofitar els recursos energètics renovables.

- El desenvolupament d'aquestes fonts és altament desitjable.
- La facilitació de la ràpida introducció d'aquestes tecnologies en el mercat es realitzarà per part del Departament d'Indústria i Energia.
- Es proposarà la creació d'un organisme per al foment de les fonts renovables d'energia i de les tecnologies d'estalvi i de l'ús racional de l'energia, en el termini màxim d'un any.

10.1. L'energia solar

- Intentar afavorir la penetració ràpida en el mercat del captador pla.
- Adaptar l'urbanisme i l'ordenació del territori, a un termini mitjà i llarg, per tal de poder avançar en l'aplicació de l'energia solar.
- Per tal d'augmentar la velocitat de penetració en el mercat, afavorir la utilització d'aquestes tecnologies en els sectors de més fàcil introducció i en el sector públic, mitjançant un pla d'introducció de l'energia solar.

10.2. La biomassa

- Estudiar les possibilitats de recuperació de la «biomassa residual» mitjançant un pla d'aprofitament de la biomassa, que haurà d'estar confeccionat en el termini de divuit mesos.
- Dins d'aquest pla d'aprofitament de la biomassa, definir directrius de gestió de l'explotació dels boscos i de repoblació forestal.
- En el termini d'un any, proposar normativa per a la classificació dels combustibles vegetals.
- Endegar recerques sobre processos de valorització de la biomassa i projectes de demostració.

10.3. Les microcentrals hidràuliques

- En la situació actual, aprofitar qualsevol mitjà que pugui significar una aportació energètica encara que no sigui substancial.
- En el moment d'elaborar el Llibre Blanc, el Departament d'Indústria i Energia va dur a terme un estudi per conèixer els nous aprofitaments possibles per tal de poder prendre les mesures necessàries per al seu aprofitament.

10.4. L'energia eòlica

Les accions concretes en aquest camp es dirigeixen a potenciar la utilització dels petits aerogeneradors, tot establint els necessaris mecanismes de control de qualitat, i a obtenir les dades suficients per avaluar el potencial català de l'energia eòlica:

- Subministrar informació per part del Departament d'Indústria i Energia sobre les possibilitats d'utilitzar l'energia eòlica i els ajuts existents.
- Fomentar, a través dels incentius a l'abast, la fabricació de generadors eòlics per a la indústria catalana.

10.5. L'energia geotèrmica

- Facilitar les investigacions que s'estan duent a terme i assegurar-ne la continuïtat fins a poder determinar el potencial d'aquesta font d'energia a Catalunya.
- Si es confirmava l'existència d'energia geotèrmica econòmicament explotable, instrumentar les mesures de tipus legal i financer necessàries per aprofitar-la.

B1.3.2. Programa ESPREC (Estudio Especial y Prospectivo de la Energía en Cataluña)

1. Política local

- Incorporar el criteri energia en la planificació urbanística i territorial.
- Potenciar una gestió racional de l'energia en les instal·lacions municipals.
- Potenciar operacions de demostració en l'àmbit de tecnologies eficients i ús d'energies renovables.
- Incorporar les infraestructures energètiques en l'ordenació territorial.
- Potenciar la coordinació entre serveis en les obres de desenvolupament d'infraestructures i el seu manteniment.

2. Política autonòmica

- Contribuir a millorar la competitivitat del sector energètic.

- Potenciar la qualitat dels subministraments energètics.
- Pressionar per augmentar la fiabilitat de l'alimentació del sistema gasista.
- Assegurar el compliment del Pla d'Extensió de la xarxa de gas natural de Catalunya
- Participar al màxim en l'elaboració de la planificació i la definició de polítiques energètiques a nivell de tot l'estat.
- Mantenir els esforços per millorar l'eficiència energètica.
- Foment de les tecnologies eficients com la cogeneració.
- Mantenir els esforços en el foment d'energies locals i renovables.
- Fomentar la consciència social de l'energia com un recurs escàs i d'implícacions ambientals mitjançant actuacions de base i efecte a un termini mitjà-llarg.
- Potenciar la disponibilitat de recursos humans suficients en els camps de la planificació i racionalització energètica i de noves tecnologies i energies renovables.

3. Política estatal

3.1. Sector del petroli

- Reduir la dependència del petroli i, per tant, de les importacions de cru.
- Reduir l'impacte ambiental de les instal·lacions de transformació.
- Millorar l'eficiència i la seguretat de les fases de transport i distribució de productes petrolers.
- Reduir l'impacte ambiental associat al consum de productes petrolers.
- Foment de l'estalvi de derivats petrolers.

3.2. Sector del carbó

- Sanejar el sector de la mineria del carbó.
- Maximitzar l'ús dels carbons nacionals.
- Implantar tècniques de minimització de l'impacte ambiental.

3.3. Sector del gas

- Promoure la integració en la xarxa europea de gasoductes.

- Diversificar el subministrament.
- Expandir la cobertura de la xarxa de gasoductes.
- Construir, a termini curt, les connexions europees.
- Tractar de forma similar la financiació dels gasoductes i les altres infraestructures de transport.

3.4. Sector de l'electricitat

- Reduir l'endeutament del sector elèctric.
- Reduir l'impacte ambiental de les centrals de generació.
- Millorar la qualitat dels subministraments.
- Millora de l'accessibilitat a la xarxa elèctrica. Electrificació rural.
- Racionalitzar empresarialment el sector.
- Solucionar les actuacions associades a la tercera fase del cicle nuclear.
- Allargar la vida útil del parc de generació actual.
- Fomentar l'estalvi d'electricitat.

3.5. Cogeneració

- Modificar el marc estable.
- Adaptar l'estructura tarifària.
- Incrementar el parc de generació.

B1.3.3. El Llibre Verd de les Energies Renovables a l'Euroregió

L'ús de les energies renovables comporta una sèrie de beneficis ambientals, socials i econòmics que cal no oblidar, malgrat que normalment no són avaluats en considerar la seva contribució a les estructures energètiques.

Els principals beneficis associats a l'ús de les energies renovables es poden resumir en: la reducció de les emissions de CO₂ per càpita, l'aprofitament de recursos autòctons, la protecció de l'entorn natural i l'afavoriment del reequilibri territorial.

Actualment, el mercat i el potencial de les energies renovables fan de l'Euroregió una zona europea privilegiada per al seu desenvolupament

futur. L'Euroregió té capacitat suficient per assolir el 15% de la demanda d'energia primària amb les energies renovables abans de l'any 2010.

Els principals obstacles per a la consolidació de les energies renovables en el marc de l'Euroregió estan relacionats, bàsicament, amb la manca d'elements específics que afavoreixin la seva penetració en el mercat energètic actual.

Cal tenir en compte que les dues properes dècades són clau per a la transició cap a un model de desenvolupament sostenible a llarg termini, i que les energies renovables es troben clarament entre les principals opcions per reduir la dependència dels combustibles fòssils i garantir un subministrament energètic que respecti l'entorn natural.

B1.3.4. Pla de l'Energia a Catalunya en l'Horitzó de l'any 2010

Els principals eixos d'actuació contemplats en aquest pla són:

- 1) La millora de l'eficiència i el foment de l'estalvi energètic.
- 2) La millora de l'aprofitament dels recursos energètics renovables.
- 3) La millora de l'abastament energètic exterior de Catalunya.
- 4) La millora de l'eficiència i de la seguretat de les infraestructures energètiques i de l'adequació d'aquestes a les necessitats del país.
- 5) L'increment de la competitivitat i de la transparència de l'oferta energètica.
- 6) La reducció dels gasos causants de l'efecte d'hivernacle i de les emissions contaminants associades a l'energia.
- 7) La millora de la col·laboració internacional.
- 8) L'impuls i aprofitament de l'avenç científic i tecnològic.
- 9) La reducció de l'impacte, per a l'economia i els ciutadans de Catalunya, de les eventualitats, crisis i contingències fora del seu control.

B1.3.5. Implicació en la producció d'energia primària a Catalunya

La reducció de gasos amb efecte d'hivernacle derivats de la producció d'energia primària a Catalunya implica reduir els consums propis d'energia i disminuir l'ús dels combustibles més intensius de GEH per unitat d'energia lliurada en aquesta fase, augmentar la proporció de la producció de tipus d'energia menys intensiva en GEH, i produir formes d'energia més properes a la demanda d'energia útil.

Aquestes implicacions, per una banda, redueixen el cost econòmic de l'energia primària produïda però, per l'altra, poden encarir-la o requerir inversions inicials més elevades. L'estructura de preus dels productes i de les tecnologies energètiques poden interferir en el procés d'adaptació de la producció d'energia primària. Les polítiques energètiques de la UE i les de molts dels seus governs estatals i regionals s'orienten a reduir la producció de GEH en la fase de producció d'energia primària. Una de les conseqüències que se'n deriva ha estat l'adaptació de les tecnologies per tal d'assolir aquests objectius.

La substitució d'unes formes d'energia primària per unes altres menys intensives en GEH sol tenir repercussions ambientals i territorials. La localització de les fonts i dels dipòsits energètics difícilment serà la mateixa. Els processos també seran diferents, tant en les tecnologies com en les emissions i residus produïts.

B1.3.6. Implicació en la importació-exportació d'energia

Aquest punt està molt subjecte als criteris comptables energètics i dels GEH associats. L'energia elèctrica és un flux d'electrons indiferenciables respecte al seu origen. D'aquí prové la pregunta de com associar un consum d'energia elèctrica a una font o a un contingut de GEH. La resposta a aquesta pregunta té moltes implicacions, especialment pel que fa a les importacions i exportacions d'energia elèctrica.

La producció d'energia primària i els transports comporten la producció de GEH. Per tant, la disminució de l'exportació té uns efectes positius per la disminució de GEH a Catalunya. La importació de formes d'energia poc intensives en GEH, en principi, també seria positiva per a Catalunya, i fins i tot podria compensar els efectes negatius de l'exportació de formes d'energia intensives en GEH. No obstant això, aquest aspecte seria atribuïble a la major taxa de GEH de qui importés aquesta energia.

Hi ha circumstàncies en que hom pot aprofitar els beneficis del mercat per aconseguir resultats positius per a tothom («win-win»), aprofitant la diferència de les corbes de producció i de demanda de cadascun dels tipus d'energia entre regions. Amb intercanvis que afavoreixin en tot moment l'ús de formes d'energia menys intensives en GEH, es pot evitar que cadascuna de les regions hagi de recórrer a l'ús de formes d'energia intensives en GEH quan hagi exhaurit la seva disponibilitat de formes poc intensives en GEH.

B1.3.7. Implicació en el consum a Catalunya

B1.3.7.1. Consum final d'energia

La manera més directa de reduir les emissions de GEH és disminuir el consum final d'energia, ja sigui a través de mesures d'estalvi –deixar de consumir-la– o d'eficiència –emprant equips i sistemes més eficients–. En aquests aspectes hi ha molt camp per recórrer i és un dels factors més importants per reduir el total de GEH.

Reduir les necessitats d'energia –per exemple de climatització com a conseqüència d'una millor arquitectura– disminueix les emissions de GEH, la despesa energètica i els impactes dels canvis dels preus dels productes energètics.

Finalment, desplaçar l'ús de tipus d'energies menys intensives en GEH és també una de les opcions. Aquesta solució pot comportar inversions en equipaments i uns majors costos energètics.

B1.3.7.2. Consum d'energia primària

L'eficiència del conjunt del sistema energètic és un factor clau per la reducció del consum d'energia primària i la seva despesa econòmica, si bé pot comportar inversions inicials addicionals. Com ja s'ha indicat abans pel que fa al consum final d'energia, la seva reducció afecta amb un factor d'aproximadament 2 la reducció en energia primària i, en conseqüència, en la reducció dels GEH.

B1.4. Mesures de mitigació

B1.4.1. Introducció

Les mesures de mitigació s'han de contemplar en el context del sistema energètic, representat a la figura B1.7.

Sembla ser que la intenció de la UE és conservar els serveis energètics considerats avui dia com estàndard. Aquesta condició, combinada amb les de mantenir un entorn sostenible i un sistema de subministrament energètic segur i assequible, planteja una qüestió que no és de fàcil solució però que requereix una actuació urgent.

Els criteris de base per adoptar mesures de mitigació són:

- 1) Mantenir els serveis energètics.
- 2) Millorar de forma permanent la cultura.
- 3) Afavorir l'economia.
- 4) Minimitzar les actuacions dràstiques obligades.

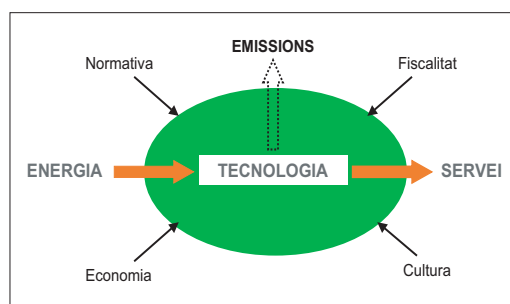


Figura B1.7. Context del sistema energètic.
Font: elaboració pròpia.

Els factors (o variables) sobre els que podem prendre mesures són:

1. Energètics (fonts energètiques i formes d'energia)
2. Tecnològics (transformació i ús)
3. Econòmics
4. Fiscals
5. Normatius
6. Culturals

B1.4.1.1. Els actors principals

B1.4.1.1.1. La Unió Europea

La Unió Europea ha pres una sèrie de mesures energètiques que redueixen les emissions de GEH. Les mesures comprenen:

- **Legislació:** directives de les energies renovables (2001/77/CE) i dels edificis (2002/91/CE), entre altres.
- **Programes:** SAVE (estalvi i eficiència), THERMIE (instal·lacions d'estalvi, eficients o amb ús de fonts renovables), ALTENER (promoció de les fonts renovables), VALOREN, projectes singulars FEDER, Cinquè i Sisè Programa Marc, Energia Intel·ligent.
- **Campanyes:** *Take-off* per aconseguir la introducció massiva de les fonts renovables i veïnatges amb el 100% d'energia renovable en illes, pobles, barris i ciutats.
- **Agències local d'energia:** complement a escala local o comarcal de les agències d'energia dels estats o de les regions.
- **Etiquetatge energètic:** electrodomèstics, equips d'oficina, electrònica de consum.
- **Publicacions:** Informes, fulletons, CD, bases de dades

B1.4.1.1.2. Organismes internacionals

Entre els diversos organismes internacionals que han tractat el tema de la reducció de les emissions de GEH del sistema energètic, es pot destacar Insula, depenent de la UNESCO, que ha publicat una iniciativa tendent a subministrar les illes amb el 100% de fonts renovables d'energia

(Insula, 2001), en la qual l'Institut Català d'Energia ha participat com a institució col·laboradora i l'autor d'aquest capítol com a expert.

B1.4.1.1.3. L'Estat espanyol

Els governs de l'Estat espanyol han aprovat plans d'energies renovables (1986, 1988 i 1991). La repercussió del sector energètic en les emissions dels GEH han quedat recollides en el document *Prospectiva Energética y CO₂* (IDAE, 2000). L'*Instituto de Diversificación y Ahorro Energético* (IDAE) és l'organisme de promoció de l'estalvi, de l'eficiència i de la promoció de les energies renovables de l'Estat. El CIEMAT té la funció d'institut de recerca en aquests temes com a complement del seu camp general d'energia, que inclou l'energia nuclear.

El *Plan de Ahorro y Eficiencia Energética 1991-2000* del MINER fa referència al fet que la majoria de països de la OCDE i, especialment, els més avançats de la UE (CEE llavors), havien posat en pràctica a finals dels anys 80 o estaven iniciant plans d'estalvi d'energia molt ambiciosos. Una de les raons eren les exigències ambientals: «*La producción y el consumo de energía son una de las causas principales de la contaminación atmosférica y, recientemente, han adquirido una especial relevancia las emisiones de CO₂, por su contribución al efecto invernadero. La CEE ya ha asumido un compromiso global de estabilización de estas emisiones en el año 2000 al nivel de las emisiones de 1990. No disponiéndose de tecnologías para su reducción, ahorrar energía dejará de ser una opción para convertirse en una necesidad, por lo que el objetivo de limitar las emisiones de CO₂ es, probablemente, uno de los elementos más importantes al justificar los nuevos planes de ahorro*» (MINER, 1990).

B1.4.1.1.4. Catalunya

A Catalunya, els documents més importants són els ja exposats a l'apartat B1.3. L'any 2002 s'aprova el *Decret Regulador de l'Energia Eòlica a Catalunya*. L'Institut Català d'Energia en les memòries anuals informa de les accions d'estalvi i

eficiència energètica i de promoció de les energies renovables.

B1.4.1.1.5. Universitats

Les universitats tenen un rol molt secundari en la disciplina energètica sostenible. No hi ha ensenyaments reglats sobre energia sostenible en les carreres, només hi ha assignatures sobre aspectes puntuals o algun màster en energia renovable o en alguna font específica.

B1.4.1.1.6. ONG

Les principals ONG internacionals han assumit el rol d'impulsar l'ús de les fonts renovables, amb multiplicitat d'accions, des de campanyes d'informació i de sensibilització, fins a la promoció de projectes concrets d'energia solar, eòlica, d'habitatges molt eficients o de compra d'electricitat verda. A Catalunya algunes organitzacions han seguit una evolució similar.

B1.4.1.1.7. Empreses

Les empreses energètiques i automobilístiques han anat comprènent la importància dels aspectes ambientals del sistema energètic en general i de les emissions dels GEH en particular. El procés de canvi no ha estat fàcil ni homogeni i no ha estat exempt de fortes tensions. Les empreses de béns d'equip també han iniciat accions importants en aquest sentit.

Les principals accions de mitigació del canvi climàtic iniciades pel sector empresarial es poden resumir en:

- Ampliar l'oferta d'energia fòssil amb la de fonts renovables: biocarburants, gas, electricitat verda, calor.
- Ampliar l'oferta d'equips convencionals de generació amb altres de més eficients (cogeneració, cicle combinat) o que utilitzin fonts renovables (biogàs, biomassa, radiació solar, vent).
- Desenvolupar equips de generació distribuïda que permetin reduir les pèrdues pel transport de l'electricitat, la punta de la demanda d'una

àrea o l'aprofitament de la calor de la cogeneració.

- Adaptar equips convencionals (motors de vehicles) a combustibles renovables (alcohols, biodiesel, biogàs) o menys intensius en emissions de GEH (gas natural).
- Desenvolupar nous productes o tecnologies per reduir el consum final d'energia: bombetes fluorescents compactes.
- Millorar l'eficiència energètica dels equips: electrodomèstics, equips d'oficina, electrònica de consum, vehicles.
- Introduir la publicitat de l'ús de fonts renovables o menys contaminants en el *marketing*.

Les referències anteriors, entre moltes altres, mostren diversos punts importants:

- La preocupació pel tema energètic: reducció del consum i dels combustibles fòssils, reducció dels impactes.
- L'interès per l'ús de les fonts renovables i per reduir les emissions de GEH.
- L'existència d'una sòlida base científica, tècnica, empresarial i organitzativa que permet endegar actuacions importants vers la sostenibilitat energètica i concretament vers la reducció de les emissions de GEH.

Les emissions de GEH que actualment produeix el sector energètic tenen un efecte perjudicial per a la societat. El seu origen està prou ben delimitat: la combustió de carbó, de productes derivats del petroli cru i del gas natural. La solució teòrica és clara: deixar de cremar aquests combustibles. Com que el sistema energètic té una inèrcia important, comporta inversions considerables de capital i de materials, i està molt relacionat amb pautes culturals, no és possible deixar d'utilitzar els combustibles fòssils sobtadament. És molt més assenyat preparar la transició a un futur no llunyà amb un consum de combustibles fòssils marginal.

Per preparar i aconseguir un escenari amb un nivell acceptable de GEH cal emprendre accions

bàsiques importants, com les que s'han adoptat per a les begudes alcohòliques, el tabac o el plom de les gasolines. Les mesures a emprendre poden incloure:

- Desenvolupar un pla sectorialitzat per aconseguir reduir les emissions de GEH als nivells que s'hagin d'assolir a Catalunya, minimitzar els costos de tot tipus d'aquesta adaptació, i augmentar la capacitat tecnològica i comercial de les empreses.
- Integrar sense demora les universitats i els instituts de recerca en el procés de transformació del sector energètic vers la sostenibilitat.
- Desenvolupar un pla per aprofitar com a font energètica els recursos i les deixalles dels sectors agropecuari, alimentari i forestal, integrant les polítiques de tots els departaments i organismes implicats.
- Introduir la legislació oportuna en tots els camps per tal de reduir les necessitats de consumir energia en edificis (il·luminació, climatització artificial), en la mobilitat i en el transport.
- Impedir la publicitat que inciti a consumir més energia o a consumir energia no renovable.
- Impedir la publicitat enganyosa que presenta fonts fòssils o nuclears com energia ecològica o natural.
- Promoure que la població de Catalunya tingui la cultura energètica i ambiental que requereix el segle XXI.

B1.4.2. Mesures sobre les tecnologies de subministrament

Les tecnologies de subministrament de l'energia final són aquelles que transformen les fonts primàries en energia final. En les dècades dels 60 i 70 del segle XX consistien primordialment en la mineria i l'extracció dels combustibles fòssils, de l'urani i la fabricació del combustible nuclear, en les plantes de purificació, liqüefacció i regasificació del gas natural, en les refineries i en les centrals termoelectriques, hidroelectriques i electronuclears. Amb la introducció moderna de

les fonts d'energia renovable, les tecnologies de subministrament s'han ampliat amb altres opcions (figura B1.1).

Ja s'ha exposat la necessitat de minimitzar la cadena entre les diverses formes d'energia per reduir els impactes globals de les transformacions energètiques. Cal tenir present que, en general, s'han anat utilitzant els jaciments de combustibles més fàcils d'explotar, la qual cosa implica que en el futur caldran més recursos energètics i tecnològics per extreure i acondicionar les fonts primàries d'energia.

Les principals mesures per reduir les emissions de GEH en els processos o en la cadena de transformació de les fonts primàries a energia final són:

- 1) Utilització de fonts adequades:
 - Fonts renovables d'energia
 - Combustibles menys productors de gasos amb efecte d'hivernacle per unitat energètica final dins del ventall d'opcions acceptades per la UE com a mecanismes de compliment dels compromisos de Kyoto
 - Residus productors de GEH
 - Altres residus amb contingut energètic.
- 2) Augment de l'eficiència de les transformacions:
 - Reduir pèrdues
 - Reduir transports evitables
 - Aprofitar subproductes
 - Utilitzar processos més eficients
 - Evitar les transformacions inútils.
- 3) Internalització dels costos:
 - Eliminar les subvencions encobertes i les transferències de costos entre fonts
 - Eradicar les subvencions i les tarifes que afavoreixen processos que no minimitzin les emissions de GEH
 - Assignar els costos de la reducció de les emissions de GEH a cadascuna de les fonts.

B1.4.3 Mesures sobre les tecnologies d'ús final

Les tecnologies d'ús final transformen l'energia final en energia útil (figura B1.1). No totes les administracions disposen de les estadístiques del consum d'energia útil. Aquestes tecnologies són molt importants per diversos factors:

- Una petita variació del rendiment en la transformació pot augmentar considerablement el consum d'energia primària.
- El manteniment dels equips i de les instal·lacions afecta el rendiment de la transformació.
- Els usuaris finals, en general, tenen més competències i estan més conscienciats sobre els impactes més locals que en les emissions de GEH.
- La multiplicitat de tecnologies, de sectors (indústria, serveis, habitatge, transport, construcció, etc.), d'organismes competents i del nombre d'usuaris, dificulta l'adopció d'accions adequades per a la reducció de les emissions de GEH

La principal mesura per reduir les emissions en els processos o en la cadena de transformació de les formes d'energia final a energia útil és utilitzar al màxim la conversió directa de l'energia primària en energia útil.

La calor, l'electricitat i l'energia mecànica es poden aconseguir amb una conversió directa de fonts renovables sense combustió. La calor s'obté de la radiació solar i de les fonts geotèrmiques. L'electricitat, a partir de la radiació solar, de l'energia hidràulica i de l'eòlica. L'energia mecànica per equips mòbils s'ha obtingut –a més de l'energia muscular– amb la vela i altres mecanismes, com el rotor *Flettner*. En instal·lacions fixes, la radiació solar i el motor *Stirling* proporcionen l'energia mecànica.

La dificultat més important de proporcionar l'energia final a partir de les fonts renovables apareix en els vehicles motoritzats. En aquest cas, de moment cal utilitzar una etapa intermèdia,

fent servir la combustió de biocarburants –millor si són obtinguts a partir de la biomassa residual– o l'hidrogen obtingut a partir de fonts renovables. També pot utilitzar-se l'electricitat generada amb fonts renovables.

Tota combustió que utilitzi l'oxigen de l'aire produeix CO_2 , CO , H_2O i NO_x , en proporcions diverses segons el combustible i la tecnologia. El carbó i l'hidrogen són casos extrems que no emetrien, respectivament, H_2O o CO_2 . Durant la combustió, l'aigua s'emet en forma de vapor, el qual contribueix a l'efecte d'hivernacle i a l'augment de la humitat ambiental.

En general, un increment de la humitat a l'ambient incrementa la necessitat d'energia en la climatització per proporcionar el mateix nivell de confort. Hi ha equips que condensen el vapor d'aigua produït en la combustió. Això els fa especialment interessants, tant per la no emissió de vapor d'aigua (sí que emeten, però, aigua en estat líquid) com per la seva eficiència energètica, que és més elevada.

L'hidrogen, com a combustible, no es troba lliure en la naturalesa i cal obtenir-lo a partir d'altres fonts, a través d'un procés que absorbeix energia. El rendiment del cicle energètic resultant –i els impactes ambientals que se'n deriven– és molt dependent de l'energia primària consumida i del procés utilitzat.

Les mesures genèriques que poden utilitzar-se per reduir el consum d'energia final són, a grans trets, les següents:

- 1) Utilitzar formes apropiades d'energia final, que generin menys emissions de GEH en el seu procés d'obtenció a partir de les fonts primàries i que proporcionin més eficiència en la transformació en energia útil.
- 2) Augmentar l'eficiència, utilitzant processos i equips més eficients i minimitzant les transformacions d'energia.

- 3) Estalviar energia, evitant els consums innecessaris i aprofitant les energies residuals.
- 4) Proporcionar informació als diversos actors, elaborant una estadística del consum d'energia útil i del consum d'energia final, i informant els usuaris sobre les tecnologies més eficients

Les accions energètiques relacionades amb altres sectors són diverses. Les més importants són:

- **Transport:** facilitar l'accessibilitat als vehicles nets, control estricte de la velocitat, canvi de totes les flotes públiques a combustibles nets.
- **Urbanisme:** seguir les recomanacions del *Llibre Blanc de l'Energia a Catalunya*, limitar el soroll nocturn a valors que permetin dormir amb les finestres obertes per evitar haver d'utilitzar aire condicionat.
- **Arquitectura:** minimitzar la necessitat de refrigeració dels edificis.
- **Agricultura, ramaderia, silvicultura:** eliminar obstacles per a la utilització energètica dels residus, no autoritzar l'ús d'energia fòssil per l'assecatge.

B1.5. Conclusions

B1.5.1. Conclusions generals

- 1) La política energètica del Govern de la Generalitat de Catalunya ha estat marcada per dos documents: *El Llibre Blanc de l'Energia a Catalunya*, que cobreix el període 1981-2000, i *el Pla de l'Energia a Catalunya en l'Horitzó de l'any 2010*.
- 2) *El Llibre Blanc de l'Energia a Catalunya* va mostrar les accions que podien emprendre's en l'estalvi, l'eficiència i l'ús de les fonts renovables a Catalunya i, en gran part, es va basar en accions anteriors impulsades per diferents actors. En l'època que es va redactar (l'any 1980) la preocupació més important era pels

recursos, la dependència del petroli i la contaminació local.

- 3) De les conclusions i propostes del *Llibre Blanc de l'Energia a Catalunya*, es pot destacar que moltes d'elles continuen sent vàlides actualment, tot i que algunes altres s'haurien de modificar per adaptar-se a la necessitat de reduir les emissions de CO₂. Finalment, també caldria impulsar l'execució de les accions que no s'han dut a terme i que encara són vàlides.

- 4) Cal preveure que la transposició de la *Directiva 2001/81/CE sobre els límits nacionals d'emissió de determinats contaminants atmosfèrics a l'estat espanyol* comporti problemes importants pel que fa al seu compliment a Catalunya. Els Estats membres són competents a l'hora d'assignar les emissions a les regions i als sectors. El *Pla de l'Energia a Catalunya* proposa utilitzar l'indicador d'emissions de GEH per unitat de VAB. Aquest paràmetre és clarament beneficiós per a Catalunya respecte al conjunt espanyol. En cas que l'increment d'emissions permès es distribueixi proporcionalment als valors de les emissions de 1990, Catalunya hauria de fer un esforç superior al conjunt de l'Estat espanyol.

- 5) Hi ha diverses accions possibles en els dos fronts energètics per tal de reduir les emissions de CO₂:

- a) Estalvi i eficiència energètica en processos, equips, edificis i vehicles i pel canvi d'hàbits dels consumidors.
- b) Desplaçament a formes d'energia menys intensives en CO₂. Aquesta línia d'actuació té poc marge, ja que la conversió a gas natural ha estat, ja, molt important, l'energia nuclear no és una opció vàlida per complir els compromisos de Kyoto adquirits per la Unió Europea. La millor opció, doncs, és utilitzar fonts renovables d'energia.

- 6) L'energia que proporcionen els combustibles es deu majoritàriament a l'oxidació del carboni i de l'hidrogen que contenen produint, respectivament, diòxid de carboni i aigua (generalment en forma de vapor). Com que el vapor d'aigua contribueix a l'efecte d'hivernacle, cal tenir-ho en consideració en el balanç dels canvis de combustibles i utilitzar les tecnologies que condensin el vapor.
- 7) A Catalunya hi ha prou recursos renovables, coneixements i tecnologia com per augmentar significativament l'aportació de les fonts renovables d'energia si s'estableixen les condicions oportunes de promoció activa, com es va fer en totes les altres fonts. Moltes de les condicions estan clarament exposades al *Llibre Blanc de l'Energia a Catalunya*.
- 9) Hi ha accions tècniques que poden dur-se a terme per reduir les emissions de GEH que no han estat proposades en els documents oficials esmentats en aquest capítol, com no autoritzar centrals termoelèctriques sense cogeneració, i afegir turbina i generador als embassaments que no en tenen.
- 10) És essencial aconseguir acords favorables per a la importació d'energia verda a Catalunya (en forma de combustibles, de carburants i d'electricitat).
- 11) Cal adequar els sistemes d'assignació de costos i la fiscalitat als costos reals. Cal tenir present que els costos de reducció de les emissions de CO₂ són de l'ordre de magnitud de les primes assignades a l'electricitat d'origen renovable.
- 12) És necessari impulsar l'assignació dels costos als tipus d'electricitat (*renovable* –incloent tota la hidràulica– i *no renovable* –fòssils i nuclear-), evitant que la gran hidràulica financi l'electricitat d'origen no renovable abaratint el seu preu de venda en lloc d'aconseguir un preu competitiu per al conjunt de fonts renovables.

B1.5.2. El sistema energètic de Catalunya i les seves emissions de GEH

Aquest punt aplica una anàlisi clàssica per comprendre la situació del sistema energètic a Catalunya respecte les emissions de GEH.

Punts forts	Punts febles
<ul style="list-style-type: none"> • Importància del gas natural en el consum • Pes de l'energia nuclear en la producció d'electricitat • Poca importància del carbó • Potencial eòlic important sense explotar • Potencial solar per explotar • Suport social a l'energia solar • Potencial d'aprofitament de la calor de la generació elèctrica en centrals tèrmiques • Teixit associatiu i social favorable a l'ús de les fonts renovables • Capacitat tecnològica per reduir les emissions 	<ul style="list-style-type: none"> • Dependència de competències energètiques d'organismes de fora de Catalunya • Proximitat a la saturació del potencial hidroelèctric • Oposició a la instal·lació de parcs eòlics en determinats espais • Importància del trànsit de pas en el consum de carburants que es fa a Catalunya • Manca d'empreses energètiques locals • Poca formació universitària en l'àmbit de l'energia • Poca consciència social sobre la necessitat de reduir les emissions de GEH

Oportunitats	Perills
<ul style="list-style-type: none"> • Existència d'empreses punteres en el sector de les energies renovables i de l'eficiència • Existència de projectes de la UE per disminuir les emissions de GEH • Reducció de la despesa energètica • Renovació d'equips antiquats • Exportació de coneixements • Exportació de tecnologia • Posada al dia dels professionals • Posada al dia dels programes formatius • Inclusió de l'equip de generació en els embassaments existents sense aprofitament elèctric • Aprofitament del biogàs dels abocadors de residus sòlids urbans sense aprofitament energètic • Potencial d'impulsar el turisme verd o sostenible 	<ul style="list-style-type: none"> • Introducció de noves centrals sense cogeneració • Increments importants del consum elèctric de noves infraestructures amb gran consum energètic • Decisió del govern central sobre el repartiment de les emissions entre CCAA • Encariment dels combustibles fòssils • Exigència ambiental creixent de la UE • Incoherència entre les iniciatives de les diverses administracions • Increment de la climatització elèctrica dels habitatges

B1.5.3 Elements clau en els propers cinc anys

1. Augment de costos dels combustibles fòssils.

L'augment dels costos estarà causat per diversos factors, els més importants dels quals són una major exigència de qualitat ambiental dels combustibles, l'exhauriment creixent de les reserves energètiques més econòmiques, un desequilibri més pronunciat entre una demanda creixent i unes reserves minvants.

2. Augment de costos de l'energia en general.

L'augment dels costos de l'energia en general es pot atribuir a l'increment dels costos dels combustibles, a la progressiva internalització de les externalitats i al previsible augment dels costos dels equips i de les instal·lacions energètiques per millorar l'eficiència.

3. Augment de costos dels equips.

L'augment del cost dels equips es pot explicar per l'increment en els seus requeriments d'eficiència i, possiblement, en la seva vida útil. L'increment dels costos hauria de repercutir en una disminució del consum (factor positiu per a la reducció d'emissions de GEH) i en un intent d'utilitzar combustibles de menys qualitat (factor que incrementaria les emissions de GEH).

La formació dels consumidors d'energia contribuiria a utilitzar-la amb més eficiència i a introduir més fàcilment formes menys intensives en emissions de GEH, especialment les fonts renovables.

4. Augment de la demanda.

La demanda de transport, d'oci, de confort i d'electrodomèstics és probable que continuï creixent. Això repercutirà, clarament, en un increment de les emissions de GEH.

La informació sobre les emissions derivades d'aquestes activitats s'hauria de proporcionar de forma clara, entenedora i concisa a la població,

juntament amb els missatges d'invertir en equips més eficients i de reduir les activitats que més contribueixin al consum d'energia.

5. Augment de les exigències ambientals.

La constatació de les conseqüències negatives del canvi climàtic augmentaria l'exigència de reduir les emissions de GEH, incrementant la pressió per disminuir el consum d'energia amb mesures d'estalvi i d'eficiència i la necessitat d'incrementar la participació de les fonts i de les tecnologies amb menys contribució al canvi climàtic. És d'esperar que una exigència més elevada repercuteixi en una reducció de les emissions de GEH.

Seria millor informar a la població sobre la necessitat d'emprendre accions correctives que imposar les mesures quan arribin a ser necessàries.

6. Competència creixent per l'accés al petroli.

L'increment en el ritme de consum de petroli per sobre del de descobriment de noves reserves, està generant un augment de la competència per la disponibilitat del petroli. Els esdeveniments recents de la política exterior d'alguns estats, com els EUA, en són una mostra.

Les conseqüències d'aquesta competència mundial per un recurs tan bàsic com el petroli són molt difícils de predir. La formació i la informació a la població permetria utilitzar altres fonts amb un cost de transició més petit.

7. Generalització dels criteris energètics en els processos de presa de decisions.

Així com les criteris de seguretat, ambientals i de qualitat s'han anat introduint en les decisions de tot tipus, els criteris energètics també seguiran aquest procés. Un dels resultats serà la disminució de les emissions de GEH per unitat d'energia útil. Per aconseguir aquest resultat cal millorar molt la cultura energètica de les persones responsables de prendre decisions que tinguin relació amb l'energia.

8. Generalització de les fonts renovables d'energia.

Les fonts renovables d'energia s'aniran generalitzant per les accions de les institucions, fruit de la seva necessitat. La substitució de combustibles fòssils per fonts renovables reduirà les emissions de GEH.

L'ús de fonts renovables d'energia sovint trasllada alguns dels seus impactes, com ara el visual, prop dels usuaris, cosa que pot crear una reacció en contra del seu ús. És important, doncs, educar la població respecte els impactes del sistema energètic, per tal que pugui avaluar correctament els impactes de les diferents fonts i tecnologies. La visibilitat dels impactes hauria de contribuir a una limitació de les infraestructures energètiques i del consum d'energia.

Referències bibliogràfiques

ASSOCIACIÓ I COL·LEGI D'ENGINYERS INDUSTRIALS DE CATALUNYA. *Jornades de Política Industrial i Energètica* (vol. II). Barcelona: Edicions Sirocco, 1982.

CE. *TERES II: The European Renewable Energy Study. The prospects for Renewable Energy in 30 European Countries from 1995-2010*. Brussel·les: EC.

CE. *Une Politique de l'Énergie pour l'Union Européenne. Livre Blanc de la Commission Européenne*. Brussel·les: CE, 1996.

CE. *Directiva Marco sobre la Calidad del Aire. Un aire limpio para las ciudades europeas*. 1998.

CCE; Generalitat de Catalunya. *Programa ESPREC –Estudio Espacial y Prospectivo de la Energía en Cataluña–*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, 1989.

CCE. *Energia para el Futuro: Fuentes de Energía Renovables. Libro Blanco para una Estrategia y un Plan de Acción Comunitarios (COM [97] 599 final)*. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, 1997.

FLAVIN, Christopher; LENSEN, Nicholas. *Beyond the Petroleum Age: Designing a Solar Economy*. Washington: Worldwatch Institute, 1990. (Worldwatch Paper, 100).

GENERALITAT DE CATALUNYA. *El Llibre Blanc de l'Energia a Catalunya. Volum I: Balanç de situació*. Barcelona: Edicions Sirocco, 1981.

GENERALITAT DE CATALUNYA. *El Llibre Blanc de l'Energia a Catalunya. Volum II: El futur de l'energia. Pla de*

mesures de política energètica. Barcelona: Edicions Sirocco, 1981.

GENERALITAT DE CATALUNYA. *El Llibre Blanc de l'Energia. Revisió 1985. El futur de l'energia. Pla de mesures de política energètica*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, 1985.

GENERALITAT DE CATALUNYA. *Pla de l'Energia a Catalunya en l'Horitzó de l'Any 2010*, Barcelona: Generalitat de Catalunya, 2002.

GOLDEMBERG, Jose et al. *Energy for a Sustainable World*. New Delhi: Wiley Eastern Limited, 1988.

INSTITUT CATALÀ D'ENERGIA. *Les Energies Renovables a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, 1997. (Tecnologies avançades en estalvi i eficiència energètica, 18).

INSTITUT CATALÀ D'ENERGIA et al. *El Llibre Verd de les Energies Renovables a l'Euroregió*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, 1997.

INSTITUT CATALÀ D'ENERGIA. *L'Energia a Catalunya en l'Horitzó del 2010*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, 2002. (Col. Eficiència Energètica, 158).

INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE ENERGÍA. *Prospectiva Energética y CO₂. Escenarios 2010*. Madrid: IDAE, 2000.

INSULA; ITER. *Towards 100% RES Supply. Renewable Energy Sources for Island Sustainable Development*. Canary Islands: INSULA.

LAZARUS, Michael. *Towards a fossil free energy future*. Boston: Stockholm Environment Institute-Boston Center, 1993.

MINISTERIO DE INDÚSTRIA Y ENERGÍA. *Plan de Energías Renovables*. Madrid: Ministerio de Industria y Energía, 1986.

MINISTERIO DE INDÚSTRIA Y ENERGÍA. *Plan de Ahorro y Eficiencia Energética 1991-2000, Anexo 1*. Madrid: MINER, 1990.

PHYLIPSEN, Dian. *Analysing energy and technology differences in the climate debate. International Comparisons & National Commitments*. Utrecht: Universiteit Utrecht, 2000.

PUIG, Josep; COROMINAS, Joaquim. *La ruta de la energia*. Barcelona: Anthropos, 1990.

SCHEER, Hermann. *Economía solar global. Estrategias para la modernidad ecológica*. Barcelona: Galaxia Gutenberg-Círculo de Lectores, 2000.

B2. Infraestructures i medi urbà

Ricard Pié

Departament d'Urbanisme i Ordenació del Territori, ETSA del Vallès.

Robert Vergés

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports, Universitat Politècnica de Catalunya. Director de Projectes, Aigües Ter-Llobregat.

Josep Maria Vilanova

Departament d'Urbanisme i Ordenació del Territori, Universitat Politècnica de Catalunya.

Joan Lluís Zamora

Departament de Construccions Arquitectòniques I, Universitat Politècnica de Catalunya

Ricard Pié i Ninot (Barcelona, 1946) és doctor arquitecte per l'Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona (Universitat Politècnica de Catalunya). Des de 1989 és professor titular del Departament d'Urbanisme i Ordenació del Territori de l'Escola Tècnica Superior d'Arquitectura del Vallès, on va ser cap de secció del mateix departament (1992-1997) i director (1999-2002). En aquest darrer període també va ser membre permanent del Consell de Directors d'Escoles d'Arquitectura d'Espanya.

Fou president de la Societat Catalana d'Ordenació del Territori (SCOT), societat filial de l'Institut d'Estudis Catalans (IEC), entre els anys 1993 i 2002, i actualment és representant de l'IEC a la Comissió de Delimitació Territorial. Des de 1997 és patró de la Fundació Territori i Paisatge de Caixa Catalunya i, des de 1999, membre del Consell Assessor del Consorci Alba-Ter. Fou director de Serveis de Planejament i Gestió Urbanística de l'Ajuntament de Barcelona entre els anys 1989 i 1992.

És redactor del Pla Metropolità de Barcelona i de diversos plans arreu de Catalunya i la resta de l'Estat espanyol. Ha estat autor de diversos articles, publicats a les revistes *Urbanismo*, *Lotus*, *Geometría*, *Papers* o *Quaderns*, on va ser redactor, a més d'escriure diversos llibres dedicats a temes urbanístics.

Robert Vergés i Fernández (Barcelona, 1959) és enginyer de camins, canals i ports, amb una àmplia experiència en planejament, projecte i construcció de carreteres, ferrocarrils i obres hidràuliques. Ha col·laborat en la redacció de diversos plans urbanístics com a expert en matèria d'infraestructures. És professor d'Ordenació del Territori i Urbanisme a l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports de Barcelona.

Ha estat cap del Servei de Documentació de la Direcció General d'Urbanisme de la Generalitat de Catalunya, cap de projectes del Comitè Organitzador dels Jocs Olímpics de Barcelona (COOB'92), secretari de la Societat Catalana d'Ordenació del Territori i director de la Junta d'Aigües de Catalunya. Actualment és director de projectes d'Aigües Ter Llobregat, empresa pública de la Generalitat de Catalunya.

Josep Maria Vilanova i Claret (Monistrol de Montserrat, 1955) és arquitecte (1980) i doctor arquitecte (1995) per l'Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona, amb premi extraordinari de doctorat. És professor del Departament d'Urbanisme i Ordenació del Territori de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) des de 1983, a l'Escola Tècnica Superior d'Arquitectura del Vallès i a l'Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona en els estudis de Paisatgisme. També es professor dels màsters en Projectió Urbanística i Arquitectura del Paisatgisme de l'UPC.

Exerceix professionalment en planejament urbanístic des de 1977. Ha estat guardonat amb el premi Nacional d'Urbanisme de 1983 pel Pla Especial de Reforma Interior de la Barceloneta, i amb el Premi Catalunya d'Urbanisme 2003 per la revisió del Pla General d'Ordenació Municipal de Torroella de Montgrí. Fou membre de la Junta de la Societat Catalana d'Ordenació del Territori entre 1983 i 1986. És secretari de l'Agrupació d'Arquitectes Urbanistes de Catalunya des de 1993 i president des de 2001.

Joan Lluís Zamora i Mestre (Barcelona, 1957) és arquitecte per l'Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona (1986) i doctor arquitecte per la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Des de l'any 1998 és professor titular de Tècniques de Construcció Interior al Departament de Construccions Arquitectòniques I de la Universitat Politècnica de Catalunya. Ha estat investigador de l'Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya (ITEC) des de la seva fundació, l'any 1981. Ha estat sots-director acadèmic i secretari de l'Escola Tècnica Superior d'Arquitectura del Vallès (UPC).

Ha publicat diversos articles a les revistes *CSTB magazine*, *CAU*, *Quaderns d'Arquitectura i Urbanisme*, *Tectónica*, *AB* i *Project Revue*. També ha publicat diversos llibres per a l'ITEC, el Col·legi d'Arquitectes de Catalunya i la Generalitat de Catalunya. Ha assessorat diverses empreses privades i administracions locals en aspectes relacionats amb l'ordenació urbanística i la innovació tecnològica. Forma part del Programa de Doctorat amb menció de qualitat «Arquitectura i Energia».

Síntesi	271
B2.1. Introducció	273
B2.2. La urbanització del territori català	274
B2.2.1. La formació del sistema urbà de Catalunya	
B2.2.2. El model de creixement de cada període	
B2.2.3. El paper del planejament territorial i urbanístic a Catalunya en la segona meitat del segle XX	
B2.2.4. Les transformacions de la regió metropolitana de Barcelona	
B2.3. La situació actual del procés d'urbanització del territori català	281
B2.3.1. L'ocupació de sòl urbà a Catalunya	
B2.3.2. El consum de sòl urbanitzat a la regió metropolitana de Barcelona	
B2.3.3. L'ocupació de la costa i el fenomen turístic	
B2.3.4. El consum de sòl per part de les grans infraestructures	
B2.4. Els usos del sòl i la mobilitat	289
B2.4.1. La irreversibilitat del procés urbanitzador i la dinàmica dels usos urbans	
B2.4.2. La dinàmica dels usos industrials i l'aparició de nous espais urbans pels usos terciaris i els serveis	
B2.4.3. Les dinàmiques residencials i el mercat immobiliari	
B2.4.4. Els canvis en la mobilitat i el transport	

B2.5. Les condicions tècniques d'execució de les grans infraestructures i els seus efectes ambientals	293
B2.5.1. El canvi tecnològic en les infraestructures de comunicació	
B2.5.2. Les xarxes de sanejament	
B2.5.3. La previsió d'inundacions	
B2.5.4. Les necessitats d'aigua i els recursos disponibles	
B2.6. El producte immobiliari com a producte financer i econòmic	296
B2.7. Les qüestions ambientals en el disseny dels edificis	297
B2.7.1. L'edificació modela el clima i el clima modela l'edificació	
B2.7.2. Les tipologies edificatòries	
B2.7.3. Relació de l'edifici amb el sòl	
B2.7.4. Edificis freds o edificis calents	
B2.7.5. L'edifici com a biotopus	
B2.8. Les qüestions tècniques que afecten la construcció	300
B2.8.1. Les matèries primeres i els productes de la construcció	
B2.8.2. Els nous residus: mermes i embalatges que creixen	
B2.8.3. La construcció actual no és fàcilment «deconstruïble»	
B2.8.4. L'edifici com a magatzem climàtic	
B2.8.5. La descomposició tècnica de l'edifici	
B2.8.6. La introducció de nous paradigmes d'eficiència tecnològica	
B2.8.7. Les qüestions del confort i el consum energètic	
Referències bibliogràfiques	304

Síntesi

Els efectes de la urbanització sobre el canvi climàtic estan relacionats amb la forma i la intensitat dels canvis que s'han produït en el medi, la construcció d'infraestructures i la transformació del sòl rural en sòl edificable. L'increment de població des dels inicis de la revolució industrial fins als nostres dies, la transició des d'una societat rural a una d'urbana, l'augment de la mobilitat de béns i persones, i els canvis en els usos i costums socials, així com els canvis tecnològics experimentats en el sector de la construcció i en l'àmbit energètic, han modificat profundament les condicions d'ús i l'ocupació del territori.

Encara que és difícil determinar de forma unívoca la contribució de cada acció urbanitzadora al fenomen del canvi climàtic, és possible formular un discurs a partir de dues qüestions que generen una preocupació social ben evident. D'una banda, l'interès per la sostenibilitat, que considera els elements de durabilitat, reciclatge i economia de les accions humanes que fan referència a la construcció i transformació del territori. De l'altra, l'aplicació del principi de precaució en l'actuació urbanitzadora, que busca la mitigació de les causes i l'adaptació de les actuacions a les noves condicions climàtiques.

La formació i evolució del sistema urbà és la primera qüestió que caldria tenir present a l'hora d'intentar comprendre la relació existent entre els processos d'urbanització i edificació del territori i el canvi climàtic. En el cas de Catalunya, el seu poblament es consolida als inicis de la industrialització, amb un sistema de ciutats que comanda els canvis i articula el territori. Posteriorment, el país passarà per un període de concentració i formació de l'àrea metropolitana de Barcelona –que acabarà reunint dos terços de la població total de Catalunya– i de desenvolupament turístic de la costa. Actualment, Catalunya experimenta un període d'expansió de la ciutat

difusa, amb interrogants molt importants sobre la sostenibilitat del model i les seves expectatives de futur.

La reflexió inicial que caldria fer sobre aquest procés i la seva dinàmica actual és l'avaluació dels possibles canvis climàtics que es puguin produir en el futur. La urbanització i l'edificació contemporànies es plantegen en uns termes diferents als emprats en períodes anteriors: la mecanització del treball i l'augment de la seva capacitat permeten modificar sense cap limitació les formes del lloc; la confiança en la tècnica fa que se sigui molt més agosarat en termes que afecten l'aigua i el seu control; la disminució dels costos de transport ha *deslocalitzat* la procedència dels materials i les tècniques, l'acceleració de la dinàmica urbanitzadora i la confiança absoluta en el progrés tècnic han canviat les formes de fer tradicionals, fet que ha comportat la pèrdua de l'equilibri assolit com a resultat de les limitacions tècniques i econòmiques de les accions anteriors.

Durant aquest període, la taca urbana de Catalunya ha crescut de forma relativament paral·lela a l'evolució demogràfica del país, amb models d'ocupació del territori amb una densitat mitjana – alta. Aquesta evolució ha experimentat un canvi important amb l'aparició del turisme a la costa, el fenomen de la segona residència i, sobretot, amb les transformacions produïdes en la regió metropolitana de Barcelona a partir dels anys setanta, quan s'inicia un procés de desconcentració residencial. Aquest fet s'ha traduït en una extensió molt important de la taca urbanitzada, amb un consum espacial molt elevat i un augment significatiu de les necessitats de mobilitat en vehicle privat.

Des del punt de vista ambiental, els fenòmens més negatius són l'augment de la mobilitat obli-

gada i la primacia del mitjans de transport privats. En aquest sentit, cal tenir present que el creixement urbanístic dispers i l'interès per l'habitatge de propietat enfront del de lloguer han comportat un increment de la mobilitat. Atès que aquests fenòmens no han anat acompanyats d'una extensió i millora dels serveis de transport públic (especialment el ferrocarril), s'ha acabat produint un augment molt significatiu en l'ús de vehicle particular, més contaminant i energèticament menys eficient.

Des de mitjan segle XIX el sector de la construcció es troba immers en un procés de canvi molt important pel que fa a les tècniques utilitzades durant els segles precedents, tal i com també passa en l'àmbit de les infraestructures. Tot i que no es tracta d'un sector d'innovació tecnològica, ha esdevingut un sector productiu bàsic en les

economies occidentals; un sector transformador d'unes matèries primeres que, gràcies a la millora dels sistemes de transport i a l'increment de la seva capacitat, poden extreure's de llocs cada vegada més allunyats.

El producte que genera el sector de la construcció –l'immoble– té un cicle de vida relativament llarg i pot acollir diversos usos (comercial, industrial, equipament, lúdic, residencial, etc.) durant tot el seu període útil. Aquesta reutilització continuada dels edificis és positiva per la seva durabilitat, tot i que caldria tenir molt present el seu possible impacte ambiental, el qual no s'hauria d'avaluar exclusivament en el moment de la construcció sinó al llarg de tota la seva vida útil. Es planteja, doncs, el repte de dissenyar i construir edificis que tinguin un cicle de vida més harmonitzat amb els cicles ambientals.

B2.1. Introducció

Els efectes de la urbanització del territori sobre el canvi climàtic estan relacionats molt directament amb la forma i la intensitat dels canvis que s'han produït en el medi, la construcció d'infraestructures i la transformació del sòl rural en sòl urbà i urbanitzable. L'increment de població experimentat des dels inicis de la revolució industrial fins als nostres dies, el pas d'una societat rural a una d'urbana, l'augment de la mobilitat de béns i persones i els canvis en els usos i costums socials han modificat profundament les condicions d'ús i l'ocupació del territori. Aquesta transformació s'ha produït, especialment, a partir del moment en què el medi urbà ha passat a ser l'espai de residència habitual de la majoria de la població mundial.

Ara bé, l'estudi de la contribució antròpica al canvi climàtic és massa recent com perquè totes i cadascuna de les disciplines que estudien algunes de les seves conseqüències hagin elaborat una reflexió pròpia sobre quina influència té cada acció en la generació d'aquest fenomen. És cert, però, que comença a dibuixar-se un mapa de les interaccions que incideixen en la formació del clima a escala planetària i, per tant, és possible començar a elaborar un primers discurs qualitatiu que apunti quins són els aspectes més rellevants del que està passant.

D'altra banda, encara que és difícil determinar unívocament quins són els efectes de cada acció

urbanitzadora sobre el canvi climàtic –tant per manca d'indicadors específics sobre aquesta qüestió com per la inexistència d'estudis específics sobre la matèria–, és possible formular un discurs a partir de dues qüestions sobre les quals s'evidencia una forta preocupació social: la sostenibilitat i l'aplicació del principi de precaució en la urbanització del territori.

La primera planteja la necessitat de considerar les qüestions de durabilitat, reciclatge i economia de les accions humanes que fan referència a la construcció i transformació del territori. La segona considera que cal actuar des del principi de precaució, mitigant les causes del canvi climàtic i perseguint l'adaptació de les actuacions a les noves condicions climàtiques, sobretot davant de processos que es contempen per a la zona mediterrània en els escenaris de l'IPCC per l'esdevenidor:

- L'augment de la temperatura mitjana anual.
- L'augment de les temperatures mínimes i màximes i la disminució de les diferències entre els seus respectius valors.
- L'augment de les precipitacions.
- La disminució de la zona coberta per la neu i el gel.
- L'ascens del nivell del mar.
- Especialment rellevant en el cas de Catalunya, l'augment de les precipitacions a l'hivern i dels períodes de sequera més intensos i freqüents a l'estiu.

No correspon que aquest capítol entri a discutir les causes finals del canvi climàtic i les seves implicacions, sinó que pretén centrar-se en certs processos de malbaratament i, per tant, de consum innecessari i excessiu del medi físic, que es puguin donar en l'acció urbanitzadora. Així, el principi de precaució defensat per Richard Lindzen –que afirma que *«construir societats més adaptables vol dir ajudar i invertir en les societats en desenvolupament. Des del meu punt de vista, aquest és l'autèntic principi de precaució»* (Lindzen, 2002)– resulta especialment important en els processos d'urbanització davant d'un període d'altres fluctuacions tèrmiques, siguin quines siguin les seves causes.

Aquest capítol s'estructura en dos apartats. El primer proposa una primera aproximació a la formació del sistema urbà de Catalunya, per entrar a analitzar posteriorment el model de creixement de cada període i els efectes territorials que ha suposat aquest procés, sobretot en termes de consum de sòl. Per tancar aquesta primera part es fa una aproximació als mecanismes –activitats i usos urbans– que han estat els motors bàsics d'aquests canvis, així com alguns dels efectes més significatius que provocà aquella dinàmica territorial, com ara un augment de la mobilitat obligada de la població.

El segon apartat està centrat en l'anàlisi de les tècniques emprades per a la transformació del sòl en sòl urbanitzat: les condicions tècniques de disseny i execució de les grans infraestructures i els seus efectes ambientals per una banda, i les condicions tècniques de disseny i execució de l'edificació per l'altra, afegint-hi una nota sobre el valor econòmic del producte immobiliari i les distorsions que ha introduït a tot el procés.

B2.2. La urbanització del territori català

B2.2.1. La formació del sistema urbà de Catalunya

La formació del sistema urbà català contemporani és el resultat d'un llarg procés històric que es pot dividir en quatre etapes:

1) Des de la crisi demogràfica del segle XIV fins a l'inici de la Revolució Industrial (principis del segle XVIII)

Aquesta etapa va des de les tres grans epidèmies de pesta del segle XIV –que redueixen la població d'aquell moment a la meitat– fins a principis del XVIII, quan es recupera la base demogràfica d'aquell segle. Es tracta d'un llarg període històric en el qual es dibuixa el sistema de ciutats i pobles que ha conformat la base urbana del nostre territori.

Durant quatre segles Catalunya és un país situat en una posició marginal en el mapa d'Europa –a partir del segle XV el món girarà cap a l'Atlàntic–, sense colònies i amb una base demogràfica molt dèbil, però amb un sistema jurídic que havia trencat amb les lleis medievals de tinença i explotació de la terra gràcies al resultat de les guerres dels Remences del segle XV (1462-72, 1482-85). Aquesta situació va obligar Catalunya a sobreviure amb els seus recursos naturals, tot i que gràcies a la Concòrdia de Guadalupe (1486) –que acaba amb aquelles guerres–, veurà recompensat el seu esforç per explotar la terra. Per això, durant aquest llarg període es posen les bases d'un poblament estretament lligat a la geografia del país, que explica l'estreta relació del sistema urbà català amb el seu territori.

2) Des de la Revolució Industrial fins a la segona dècada del segle XX

En aquesta etapa es produeix la incorporació de Catalunya al comerç amb Amèrica Llatina (segle XVIII), la progressiva industrialització del país (a partir del segle XIX) i la massiva emigració del camp cap a la ciutat, que transformen aquella societat rural en una societat urbana, en el qual el sistema de ciutats agrícoles consolidades en el període anterior esdevé la base per a una incipient societat industrial.

Des del punt de vista territorial, aquesta distribució poblacional relativament homogènia es decanta cap a la costa, on es produiran els canvis més importants a partir d'aquell moment. La po-

blació es concentra al litoral, on es construeixen les primeres grans infraestructures –els ferrocarrils– i es consoliden les principals ciutats, tot i l'existència d'algunes excepcions, com el rosari de colònies industrials que se situen al llarg del Ter i el Llobregat o les grans obres hidràuliques que es construeixen al Pla d'Urgell.

La transformació urbana del territori de finals del segle XIX no només és el resultat d'un procés d'acumulació residencial afavorit per la immigració, el creixement vegetatiu, l'aparició de llocs de treball industrial lligats a la ciutat i la millora de les infraestructures, sinó també d'un procés qualitatiu d'urbanització en el qual les ciutats es converteixen en els espais equipats que serveixen els territoris.

3) Des de la dècada dels anys 20 fins a la dels anys 70 del segle XX

La tercera etapa de formació de l'actual sistema urbà de Catalunya correspon al període de creixement i formació de l'àrea metropolitana de Barcelona, un període que comença als anys vint del segle passat i acaba als anys setanta, amb l'aturada del procés de concentració demogràfica i la inversió del cicle, que dona pas a un fenomen de desconcentració i expansió de la taca urbana que actualment encara està en curs.

Es tracta del període de creixement urbà més important de la història catalana, en el qual Barcelona i els pobles i ciutats del seu entorn arriben a agrupar els dos terços de la població de Catalunya. Paral·lelament, després del Pla d'Estabilització (a partir de 1950) el litoral esdevé l'espai del turisme de masses de sol i platja; un turisme que se suporta tant en la indústria de l'oci i l'allotjament com en el sector de la construcció (de la indústria turística i de segona residència).

4) Des dels anys 70 del segle XX fins ara

La quarta etapa és l'actual, caracteritzada per un creixement demogràfic molt lleuger (tot i que en els darrers anys torna a produir-se un increment

de la població, a causa de la immigració), però també per un augment extraordinari de la taca urbanitzada a causa del canvi de les formes de creixement urbà i l'aparició d'un tipus d'urbanització dispersa altament consumidora de sòl i dependent de les infraestructures de transport. En aquest nou estadi no només s'incrementa en gran mesura el sòl urbanitzat amb densitats baixes, sinó també els costos de la mobilitat, tant per l'increment del transport privat i l'abandonament del transport públic com per la dispersió dels usos i l'augment de la mobilitat obligada de la població.

B2.2.2. El model de creixement de cada període

Les quatre etapes descrites anteriorment no només corresponen a moments molt diversos des del punt de vista demogràfic, sinó també a models i formes de creixement molt diferents. Durant la primera etapa, el creixement urbà és molt lent i les poblacions es mantenen dins dels recintes emmurallats fins a finals del segle XVIII i principis del XIX. Al segle XIV, abans de les pestes que van reduir la població a la meitat, Pere III el Cerimoniós havia fet ampliar les muralles de diverses ciutats segons unes previsions que no es van acomplir fins quatre segles més tard.

Aquesta situació, sumada a una forma de creixement per agregació de petites peces –casa a casa– i a les tècniques emprades, donà peu a unes ciutats i pobles relativament semblants i immutables, que estaven molt ben integrats en el seu medi. Per qüestions econòmiques i tècniques, el poblament d'aquest període és enormement respectuós amb les condicions del lloc, tant per evitar riscos naturals com per treure els màxims avantatges de les condicions del medi. Per això, la posició i els medis emprats en la seva execució tenien una saviesa natural arrelada en els costums i la tradició.

La segona etapa és totalment diferent. El fort increment demogràfic –resultat de la immigració del camp a la ciutat i la millora de l'esperança de

vida— no es pot absorbir ni amb l'estoc d'habitatges que hi ha a les poblacions ni amb les formes de creixement parcial i pausat que s'havien desplegat fins a aquell moment. La societat passa de tenir un creixement demogràfic contingut a la necessitat de cobrir una demanda molt per sobre de la que podia oferir la ciutat tradicional. Un cop enderrocades les muralles (que han perdut el seu valor estratègic), el creixement urbà es resol amb la densificació del nucli —en aquest període se sobreedifica i substitueix gran part de l'edificació, perdent-se una part important de l'herència històrica de les ciutats— i la planificació d'àrees d'extensió de nova planta. Els dos models que s'utilitzen són el creixement sobre un eix viari i l'extensió en quadrícula amb un projecte d'eixample de la població.

Barcelona, que no havia pogut créixer per les restriccions militars del pla fora muralla que establí el Decret de Nova Planta, marca la pauta a través d'un projecte d'eixample d'enormes dimensions. Ildefons Cerdà proposa multiplicar per 10 la superfície de la ciutat històrica amb un pla que, pel tipus de regles que proposa —la quadrícula—, podria ser il·limitat. A les ciutats industrials de la primera corona de Barcelona (Mataró, Sabadell, Terrassa, Vilanova i la Geltrú, etc.) el creixement es formula a través d'exemples menors que normalment multipliquen per 3 o 4 la seva superfície.

A les ciutats interiors, on no se substitueix l'economia agrícola per la industrial i, per tant, no es produeix un creixement demogràfic tan important com en les altres (o inclús en les ciutats industrials en les primeres fases de la seva expansió), l'extensió s'ordena entorn a un nou eix viari: una rambla (Sabadell o Vilanova i la Geltrú), el carrer de l'estació (Vic o Valls), un sistema de rondes (Lleida o Reus) o un passeig marítim (Sant Feliu de Guíxols o Blanes).

Aquests models de creixement no només fan referència a la forma i la grandària de l'expansió dels nuclis urbans, sinó també a un canvi en el

tipus arquitectònic i en les formes de tinença i ús del teixit residencial. L'edificació urbana deixa de fer-se segons el tipus de casa artesanal heretada del període medieval —parcel·la estreta i profunda, construcció a partir de les dues parets mitgeres, taller en planta baixa i habitatge en les plantes pis— i passa a fer-se segons dos nous tipus: la casa de renda —edificació en alçada, façana ampla, dos habitatges per planta i utilització de la façana com a paret de càrrega— i l'habitatge suburbà —residencial unifamiliar, façana estreta i parets mitgeres de càrrega—. La primera, substituirà una part de l'edificació històrica dels nuclis i reomplirà els espais buits de l'interior de la muralla i, a més, servirà de pauta de l'Eixample Cerdà. La segona, serà la forma de creixement dels eixamples menors i les extensions suburbanes dels pobles industrials i les ciutats petites.

Aquest canvi tipològic també va lligat a certs canvis tecnològics. La construcció deixa de comptar exclusivament amb els materials que estan a l'abast de cada lloc gràcies als nous mitjans de transport —ferrocarril, navegació a vapor i, més tard, el transport amb vehicles amb motor de combustió interna—, la industrialització i l'abaratiment dels sistemes de producció. S'introdueixen materials com la ceràmica, el ferro fós (reblonat i laminat) i, a partir del 1900, el ciment i el formigó armat (en substitució de la pedra, la fusta o la calç). L'edificació deixa de fer-se amb materials fàcilment reciclables i procedents de l'entorn i es passa a utilitzar-ne d'altres més resistents i eficients, però de més difícil reutilització.

Des del punt de vista territorial, la construcció de grans obres públiques de comunicacions (xarxa de ferrocarrils i carreteres), hidràuliques (construcció de preses, xarxes de rec i canalitzacions per al subministre d'aigua de boca a les poblacions) o urbanes (xarxes d'abastament d'aigua potable i de recollida d'aigües residuals, gas, electricitat, telefonia o enllumenat públic) van millorar les condicions de mobilitat, confort i habitabilitat de la població però, al mateix temps, van augmentar les diferències entre el camp i la ciu-

tat. El primer s'entenia com l'espai en el qual s'exploten els recursos naturals amb criteris d'equilibri i durabilitat i el segon com l'espai artificialitzat on es produeix la principal activitat humana.

En el tercer període es consoliden les tendències marcades en el període anterior, produint-se un procés de concentració urbana al voltant de Barcelona i a la costa. Per un cantó, la ciutat creix seguint la pauta de l'Eixample Cerdà i les extensions suburbanas de la primera perifèria –configurada pels nuclis històrics dels pobles annexats durant els anys anteriors–, però amb intensitats i densitats molt superiors a les previstes. Paral·lelament, el refús a les condicions que imposa la ciutat industrial dóna peu a l'aparició d'un model de creixement de baixa densitat, la ciutat jardí, que s'ofereix com una alternativa a les zones turístiques i de segona residència i a les parts més perifèriques de la ciutat. L'agreujament del problema de l'habitatge i l'arribada d'un contingent migratori cada cop més gran s'afronten, principalment, amb dues altres formes d'ocupació residencial en un sistema metropolità barceloní cada cop més extens: la urbanització marginal i els polígons d'habitatge.

La primera, és una fórmula configurada per agrupacions d'habitatges autoconstruïts, que es diferencia del barraquisme perquè no se situa sobre terrenys de titularitat pública sinó en parcel·lacions il·legals de propietat privada. La segona és la promoció d'habitatges en edificació segons el model en bloc de l'arquitectura funcional, que va ser el tipus d'iniciativa preferida per l'administració en la construcció d'habitatges socials. Des d'una perspectiva urbanística, ambdues fórmules apareixen en posicions perifèriques i en sectors molt mal connectats amb la ciutat real. L'extensió de la taca metropolitana es va produir per salts i per addició de peces, sense una visió general que cohesionés i donés sentit al fenomen metropolità.

El darrer període de formació del sistema urbà català s'inicia l'endemà de la mort del dictador,

en plena crisi del petroli i en un país com Catalunya, sense grans indústries, un sector tèxtil en plena reestructuració, un sector de l'automòbil molt protegit per l'administració –a causa de la seva importància estratègica– i un conjunt de petites i mitjanes empreses amb una relativa capacitat d'adaptació als canvis. En aquest context, un dels motors per frenar els efectes socials de la crisi i consolidar la democràcia serà la «reconstrucció» de la ciutat.

L'acció de les administracions –especialment els ajuntaments– serà decisiva per tal que la població recuperi l'estima per la seva ciutat i la crisi econòmica no agreugi les contradiccions urbanes. Ara bé, aquest esforç alentirà el procés de concentració en un primer moment i el canviarà de sentit més tard. La desconcentració de Barcelona prendrà dues direccions: una part anirà cap a les poblacions de la seva regió metropolitana a la recerca de residència a un preu més assequible i l'altra –la que tindrà uns efectes decisius en l'extensió i creixement de la taca urbana– es desplegarà en urbanitzacions de baixa densitat, posant en marxa requalificacions urbanístiques aconseguides en el període franquista, que el planejament democràtic no va eliminar.

B2.2.3 El paper del planejament territorial i urbanístic a Catalunya en la segona meitat del segle xx

La qüestió de l'ordenació del sòl no apareix a Catalunya de forma generalitzada i amb voluntat d'abastar tot l'espai fins després de l'aprovació de la primera llei urbanística espanyola de 1956. Un segle abans, s'havien formulat els eixamples de les poblacions per resoldre les necessitats de creixement de les ciutats més importants. En aquest planejament, el territori de l'entorn de les poblacions és un espai de reserva per al creixement.

La primera reflexió general sobre tot el territori català no es produeix fins als anys trenta amb el *Regional Planning*, redactat pels germans Rubió i Tudurí, i el *Pla d'Infraestructures*, elaborat per l'enginyer Víctor Oms. El primer planteja l'orde-

nació de tot el territori català des de la recerca de la «vocació» de cada part, entesa com allò que és compatible amb les condicions naturals del lloc. El segon proposa un pla d'obres públiques per articular el país i equipar-lo amb els serveis mínims. Ambdós plans van ser una oportunitat desaproveitada d'avançar-se a les grans transformacions urbanes i territorials que es van produir a la segona meitat del segle xx i d'ordenar-ne els efectes.

En el mateix període es formulen dues reflexions –també desaprovechades– sobre Barcelona i l'incipient fenomen metropolità: el *Pla de la Gran Barcelona*, de l'arquitecte Rubió i Tudurí, que presenta les primeres idees sobre el que serà la ciutat metropolitana que embolcalli Collserola; i el *Pla Macià*, amb el projecte *Ciutat del Repòs*, que va ser redactat per un grup de joves arquitectes del moviment modern (el GATCPAC) i que presenta una reflexió sobre quina ha de ser l'escala de treball de la ciutat i la necessitat d'incorporar els serveis per a l'oci en el projecte territorial. En els dos casos es plantejaven algunes reflexions avançades sobre el fenomen metropolità. En el segon, a més, s'apuntava una de les grans qüestions que actualment afecten tot el món: el turisme.

El primer planejament urbanístic que es planteja el fenomen metropolità de Barcelona és el *Pla Comarcal de Barcelona i la seva zona d'influència* (any 1953), que ordena Barcelona i 28 municipis del seu entorn. L'esquema d'ordenació que es proposa preveu que el creixement s'articuli entorn dels centres històrics dels barris i pobles de l'àrea, seguint els corrents organicismes que prevalen en el pensament urbanístic del moment. El *boom* demogràfic i especulatiu dels anys posteriors, però, el supera immediatament, fent absolutament necessari revisar el model i ampliar territorialment l'àmbit de l'ordenació.

La revisió d'aquest pla –aprovada el 1976 i anomenada *Pla General Metropolità de Barcelona (PGM)*– afronta l'ordenació del conglomerat altament especulatiu que s'ha produït en aquells

anys sense modificar-ne l'àmbit, retalla el 30% de les expectatives urbanístiques generades, i fa les darreres reserves per cobrir els grans dèficits urbanístics d'equipaments, zones verdes i grans infraestructures que s'havien acumulat al llarg de vint-i-cinc anys.

Paralelament es produeixen dos fenòmens urbanístics d'enorme transcendència territorial, com són el desenvolupament de la costa com a espai turístic i l'aparició de grans promocions de segona residència en la segona línia del país. El procés de transformació del litoral es produeix en dues etapes. En una primera fase, el turisme es tradueix en la urbanització amb promocions de ciutat jardí als pobles de la costa i, en una segona, la taca urbanitzadora s'estén cap a zones de muntanya i terrenys de l'interior, on les primeres urbanitzacions de baixa densitat es transformen en àrees d'apartaments i edificis en alçada. En la segona línia, des de finals de la dècada dels seixanta s'inicia la transformació de grans finques boscoses en urbanitzacions de segona residència (sovint adquirides a través de subhasta). El planejament apareix, en aquests casos, com un simple tràmit administratiu per donar cobertura jurídica a un procés de transformacions territorials fetes sense cap criteri.

El resultat d'aquest procés va ser l'ocupació massiva del front de mar i l'aparició d'una gran taca d'urbanitzacions de segona residència de baixa densitat a l'interior, que en termes numèrics suposarà aproximadament un terç del parc total d'habitatges que actualment té el país.

La primera actuació pública iniciada immediatament després de la constitució dels primers ajuntaments democràtics fou la normalització del planejament urbanístic, amb la revisió dels plans generals de la majoria de municipis. Això va servir per treure del mercat una part dels terrenys no urbanitzats amb expectatives urbanístiques no justificades i per crear les reserves de sòl suficients per cobrir els dèficits urbanístics heretats. Paral·lelament, els ajuntaments van en-

degar una sèrie d'accions per rehabilitar i equipar els barris, dotar-los de nous espais públics i serveis i donar una nova empenta a les ciutats i pobles del país.

L'èxit de l'actuació urbanística de les institucions democràtiques, especialment de Barcelona amb la celebració dels Jocs Olímpics –amb els quals la ciutat se situa en el mapa internacional–, dona pas a un període on el planejament urbanístic perd el protagonisme que havia tingut en els primers anys de la democràcia a favor de grans operacions que intenten aprofitar les oportunitats que es presenten per empènyer econòmicament i social la ciutat. Barcelona i la seva àrea metropolitana són els territoris que tenen més capacitat per endegar alguna d'aquestes operacions: les transformacions proposades a la ciutat –el Poble Nou i l'àrea del Besòs–, inclosa la transformació de l'estació de la Sagrera; l'operació Delta entorn de l'aeroport del Prat; el port de Badalona, o la cobertura de la Gran Via a l'Hospitalet de Llobregat.

No obstant això, després de la crisi dels anys vuitanta en el món de la construcció, Catalunya entra en l'espiral d'especulació que ha aparegut al darrere de les polítiques de liberalització del mercat immobiliari i de debilitació del planejament urbanístic com a pacte social, que s'ha traduït en un reforçament de les tendències de desconcentració de la ciutat metropolitana i d'extensió de la taca urbanitzada.

B2.2.4. Les transformacions de la regió metropolitana de Barcelona

Per estudiar el procés de formació de la Catalunya urbana i, sobretot, els canvis que s'han produït en el període que va des de mitjan segle XIX als nostres dies, l'àrea que il·lustra millor el que ha passat és la regió metropolitana de Barcelona. Partint del primer cens de 1857, i seguint els comentaris i anotacions que fa el geògraf Joan Eugeni Sánchez al llibre *La construcció del territori metropolità* (Font et al., 1999), la regió metropolitana apareix com un territori relativament cen-

trat en el municipi de Barcelona –en el moment de confecció del cens s'estan enderrocant les muralles i encara no s'ha iniciat l'annexió dels diferents pobles del pla de Barcelona a aquesta ciutat–, que concentra el 35,7% de la població d'aquesta regió i només l'1% del total de la població de Catalunya.

La segona ciutat d'aquell moment és Mataró, amb 16.595 habitants, i les següents són Sabadell, Vilanova i la Geltrú i Badalona, que amb prou feines superen els 10.000 habitants cadascuna. En aquelles dates ja ha començat la construcció de la línia ferroviària Barcelona-Mataró (any 1848), que es clourà a finals de segle amb el tancament del vuit català, i ha aparegut el fenomen de l'estiueig a les poblacions termals i muntanyoses properes a Barcelona.

Des de 1857 fins a 1900, la població d'aquesta regió comença a créixer d'una manera diferencial a la resta del territori. Mentre que la població catalana creix un 19% en aquest període –una mitjana lleugerament inferior a l'espanyola, que és del 20,5%–, el creixement de la regió metropolitana és del 68% i el de Barcelona, considerada d'acord amb els seus límits territorials actuals, va créixer gairebé el doble, el 131,5%. Aquestes grans diferències de creixement s'expliquen com el resultat d'un procés de concentració de la població catalana cap al nou centre industrial del país, Barcelona, a partir d'aquell moment molt ben comunicada per ferrocarril. Això comporta l'abandonament d'àmplies zones agrícoles interiors i de municipis rurals.

El primer terç del segle XX coincideix amb un període de creixement exponencial de la població catalana i metropolitana sota l'impuls de la industrialització. L'any 1930, la població de Barcelona –que el 1921 incorpora el darrer municipi del pla, Sarrià– representa el 64,6% de la població total de la regió metropolitana i el 36% de la de Catalunya, mentre que la regió en el seu conjunt ja suposa més de la meitat de la població del Principat (el 55,8%). L'acabament de la xarxa fe-

rroviària, la millora de la xarxa de carreteres i la introducció de l'electricitat donen una empenta definitiva que es tradueix no només en termes demogràfics, sinó també econòmics. Així, per exemple, l'any 1936 el 64% de les empreses catalanes estaven localitzades a la regió metropolitana i el 37% al terme municipal de Barcelona.

Tal com diu Joan Eugeni Sánchez, *«la Guerra Civil va significar un canvi en les característiques del procés immigratori. El creixement poblacional dels anys posteriors a la guerra respondrà a una altra lògica, ja que l'arribada de persones procedents de la resta d'Espanya tindrà una component més pronunciada d'expulsió des dels territoris d'origen –ateses les condicions econòmiques i socials de la postguerra– que de necessitat de recursos humans a l'entorn barceloní. La continuïtat del flux immigratori aportarà una força de treball de baix cost que retardarà el procés de modernització del sistema productiu i alhora tindrà importants efectes territorials en la mesura que plantejarà greus problemes d'ocupació del sòl i d'habitatge, en un context de manca de rigor urbanístic i d'especulació»* (Font et al., 1999). L'any 1950 Barcelona concentra el 65,1% de la població de la regió metropolitana, la cota màxima a partir de la qual comença el procés de *metropolinització*, en el qual diferents municipis s'aniran sumant a aquesta dinàmica de creixement, superant en alguns moments els índexs de la ciutat central.

En el període 1950-1970, el procés de creixement i atracció de la immigració continua, tot estenent-se cap a les comarques del Maresme, el Llobregat, el Vallès Oriental i el Garraf. Al final d'aquest període, Barcelona ja forma un *continuum* urbà amb l'Hospitalet de Llobregat i Badalona, que s'han convertit en els dos municipis més grans després de Barcelona (amb 240.000 i 163.000 habitants, respectivament). El 1970, la regió metropolitana concentra el 70% de la població catalana.

A partir de l'any 1975, la ciutat de Barcelona comença a tenir una petita però constant davallada

demogràfica i la regió metropolitana perd pes percentual en el total català. Entre 1960 i 1975 la població resident passà de 2,5 milions a 4, mentre que en els vint anys següents el creixement tot just va ser de 200.000 persones. Aquest estancament, tanmateix, no es reflecteix en termes d'ocupació de sòl –ans el contrari– ja que durant aquest període la taca urbana pràcticament duplica la seva ocupació.

Una anàlisi més detallada d'aquest fenomen posa de manifest que no només s'ha produït un estancament demogràfic, sinó també un canvi en els pesos relatius de cada part. Així, mentre que la ciutat central perd població, la primera corona urbana es manté (en el període 1991-1996), si bé la part més propera a Barcelona –formada pels vuit municipis més grans– té pèrdues, les quals es compensen amb els guanys de la part més allunyada de la ciutat central. La segona corona metropolitana és la que experimenta el creixement més important.

Aquest fenomen de difusió del poblament cap als municipis menys densos –en detriment de l'àrea central– no només es produeix en aquesta àrea, sinó també entre els municipis més densos i les seves perifèries. En el quinquenni 1995-2000, el conjunt de municipis amb menys de 20.000 habitants –on l'any 1991 residia tot just el 14% de la població metropolitana– gairebé ha triplicat el seu poblament, mentre que els municipis de més de 100.000 habitants han perdut població (Nel-lo, 2003).

En resum, la formació del sistema urbà català es fonamenta en les formes que pren el poblament de la Catalunya agrària i es consolida als inicis de la industrialització, amb un sistema de ciutats que comandarà els canvis i articularà el territori. Posteriorment, el país passarà per un període de concentració i formació de l'àrea metropolitana de Barcelona –que reunirà els dos terços de la població catalana– i de desenvolupament turístic de la costa. Actualment, Catalunya viu un període d'estancament demogràfic –que està canviant en

aquests darrers anys— i d'expansió de la ciutat difusa, amb enormes interrogants sobre la sostenibilitat del model i les seves expectatives de futur.

B2.3. La situació actual del procés d'urbanització del territori català

B2.3.1. L'ocupació de sòl urbà a Catalunya

La primera reflexió que cal fer sobre el procés de formació urbana de Catalunya i la seva dinàmica actual és avaluar com i quan s'ha produït aquest procés i l'adequació o no d'aquesta transformació. Al capdavant, es tracta de la modificació de les condicions d'un lloc per adequar-les a uns altres usos. Aquesta operació, però, s'ha produït des que l'home està present al planeta i ha afectat tot el territori. L'*antropofornització* de la Terra és un procés que ha actuat negativament en alguns casos, reduint la biodiversitat del medi i fent-lo menys sostenible, però en d'altres casos l'ha enriquit. Per això, *el canvi de les condicions del lloc i la transformació del sòl rural en sòl urbà* s'han d'avaluar des de l'adequació o no de la forma com s'han produït i en termes de quantitat de sòl posat en joc.

Actualment, quan es parla d'aquests processos, es considera que la urbanització s'ha realitzat amb uns medis i una radicalitat totalment desconeguts en períodes anteriors. D'alguna manera, es creu que en el passat la capacitat de l'home per transformar el lloc estava limitada per la tècnica i els rendiments que s'esperaven del seu esforç. La lluita per la subsistència i l'hàbitat passava per trobar un equilibri entre l'home i la natura, per aprofitar les formes del lloc i reduir costos de l'assentament, per dialogar amb l'aigua i evitar els riscos que comporta, per usar els materials del lloc i reduir costos de transport, per aprofitar l'experiència històrica com a font per a la pràctica consuetudinària, etc.

La urbanització i l'edificació contemporànies es plantegen en uns termes totalment diferents. La mecanització del treball i l'augment de la seva capacitat permeten modificar sense cap limita-

ció les formes del lloc; la confiança en la tècnica fa que se sigui molt agosarat en temes que afecten l'aigua i el seu control; la disminució dels costos de transport ha deslocalitzat la procedència dels materials i les tècniques, l'acceleració de la dinàmica urbanitzadora i la confiança absoluta en el progrés tècnic menystenen els coneixements tradicionals de tal manera que s'ha perdut aquell equilibri que feia que la transformació urbana fos més reversible i menys consumidora de sòl.

Abans d'iniciar una exposició més detallada de les transformacions tècniques i dels usos del sòl que han suposat aquest procés d'urbanització, cal apuntar que el fet més significatiu que ha succeït en aquests darrers anys és la forta acceleració que s'ha donat en la transformació de sòl en espai urbà, al marge del que s'ha produït des dels inicis de la revolució industrial i, més concretament, de l'anomenada revolució demogràfica i d'immigració del camp a la ciutat.

Malauradament, no hi ha cap estudi seriós sobre el procés d'ocupació urbana del sòl a Catalunya des de mitjan segle XIX. Recentment, gràcies a l'aparició de les tècniques de teledetecció per satèl·lit i als avenços dels sistemes d'informació geogràfica s'han iniciat una sèrie de treballs sobre aquest fenomen en algunes àrees del país. La més estudiada fins ara és la regió metropolitana de Barcelona, sobre la qual s'ha obert una forta polèmica per les implicacions de caràcter polític que es volien treure. En qualsevol cas, al marge d'aquestes controvèrsies polítiques, s'han plantejat qüestions metodològiques —de fotointerpretació, escala, taxonomia, etc.— que han obligat a prendre certes cauteles respecte a les dades publicades fins ara. En qualsevol cas, atesa la magnitud del procés endegat en els darrers vint anys, les conclusions no seran gaire diferents.

B2.3.2. El consum de sòl urbanitzat a la regió metropolitana de Barcelona

Segons les dades subministrades pels estudis per a la redacció del *Pla Territorial Metropolità* de

Barcelona, i d'acord amb la taula B2.1, el sòl ocupat per la urbanització des de l'Edat Mitjana fins a l'any 1992 s'ha multiplicat pràcticament per cent (96,27), amb uns ritmes que fins al segle XVII només doblen la taca anterior; del XVII fins a principis del XIX, gairebé es torna a doblar; el 1880 es torna a repetir l'operació respecte a les xifres de principis de segle; el 1920, un altre cop; el 1972, un altre, i el 1986 un altre cop més. El 1992 es produeix una inflexió i s'alenteix aquest creixement.

Si es compara aquesta evolució –sense cap dubte molt aproximada, ja que les fonts disponibles de cada període són molt desiguals– amb l'evolució de la població en aquesta regió, especialment a la segona meitat del segle XX (taula B2.2), es constata que mentre en el període que va del 1950 al 1991 la població creix una mica més del doble a tota la regió metropolitana de Barcelona, la taca urbana estimada a la taula B2.1 es multiplica per quatre.

A l'estudi *La construcció del territori Metropolità* (Font et al., 1999) –en un apartat elaborat a partir del cens d'edificació de 1990–, Josep Maria Vilanova apunta alguns aspectes que clarifiquen

i complementen la possible interpretació d'aquell creixement, al mateix temps que posa alguns interrogants sobre la taula. Segons aquest autor, «A les dècades dels anys cinquanta i seixanta, el procés edificatori doblarà el parc construït (anterior). A aquest període corresponen 137.454 edificis, el 33,3% del total del cens de 1990. Anàlitzada per dècades, la intensitat edificatòria és creixent: als anys cinquanta es doblarà la de la dècada anterior (del 6 al 12,5%), i la dels anys seixanta se situarà en el 20,8%.»

Per a la dècada posterior, del 1970 al 1980: «La intensitat edificatòria d'aquesta dècada supera la de qualsevol altra anterior, inclosa la dels anys seixanta, ja que els 93.113 edificis construïts suposen el 22,5% del total del cens de 1990». Finalment: «La dècada dels anys vuitanta és el període de contracció generalitzada en relació amb les intensitats edificatòries de les dues dècades anteriors. Així, l'edificació d'aquesta dècada suma 62.316 edificis, el 15,1% del total del cens del 1990».

Si s'analitzen de forma comparativa les dades de creixement de la taca urbanitzada de la taula B2.2. amb els comentaris anteriors, s'observa una coincidència relativa entre el creixement de

COMARCA	Edat Mitjana	Segles XVI-XVII	Segles XVIII-XIX	Any 1880	Any 1920	Any 1956	Any 1972	Any 1986	Any 1992
Alt Penedès	60	96	161	267	457	600	1.057	2.077	2.539
Baix Llobregat	97	167	282	461	596	1.319	3.869	7.494	8.670
Barcelonès	137	225	307	1.025	2.304	5.126	6.968	8.496	8.956
Garraf	11	21	70	120	170	291	694	2.051	2.350
Maresme	87	158	296	461	600	946	2.071	5.281	6.017
Vallès Occidental	49	100	199	464	783	2.278	4.780	8.272	9.871
Vallès Oriental	40	72	134	262	410	931	2.393	6.628	7.905
Total	481	839	1.448	3.060	5.320	11.491	21.832	40.299	46.308

Taula B2.1. Evolució històrica de l'ocupació urbana del territori per períodes i comarques en valors absoluts (hectàrees acumulades)
 Font: Pla Territorial Metropolità de Barcelona. Document Provisional, Abril 1998. Memòria.

Àmbits	Any 1950	Any 1960	Any 1970	Any 1975	Any 1981	Any 1986	Any 1991
Barcelona	1.280.179	1.557.863	1.741.979	1.751.136	1.752.627	1.701.812	1.643.542
Resta àrea metropolitana	272.479	456.646	982.624	1.257.634	1.392.386	1.381.541	1.394.221
Total àrea metropolitana	1.552.658	2.014.509	2.724.603	3.008.770	3.145.013	3.083.353	3.037.763
Resta regió metropolitana	413.633	522.224	841.359	1.010.943	1.093.863	1.146.174	1.226.659
Total regió metropolitana	1.966.291	2.536.733	3.565.962	4.019.713	4.238.876	4.229.527	4.264.422
Resta Catalunya	1.274.022	1.359.138	1.541.644	1.640.680	1.717.538	1.749.111	1.795.072
Total Catalunya	3.240.313	3.895.871	5.107.606	5.660.393	5.956.414	5.978.638	6.059.494

Taula B2.2. Població, creixement absolut i creixement relatiu a Catalunya, per àmbits territorials (període 1950-1991)

Font: Dinàmiques Metropolitanes a l'Àrea i la Regió de Barcelona. Àrea metropolitana de Barcelona. Mancomunitat de municipis.

la taca edificada i el nombre d'edificis construïts, que canvia radicalment a partir de la dècada dels vuitanta. Des dels cinquanta fins a finals dels setanta s'edifica el 55% dels edificis del parc immobiliari de l'any 1990 i només el 15,1% d'edificis de la dècada dels vuitanta, essent la resta anteriors a aquestes dates. Pel que fa a la taca, però, la seva superfície ha passat d'11.491 hectàrees el 1956 a 21.832 el 1972, a 40.299 l'any 1986 i 46.308 l'any 1992. En altres paraules, mentre que a la darrera dècada només s'ha construït el 15,1% dels edificis censats el 1990, la taca urbana s'ha doblat en extensió.

Està clar que s'està jugant amb xifres procedents de fonts diverses, que no coincideixen temporalment, però també és cert que –tot i acceptar que es pot incórrer en errors molt greus– les dades són prou significatives com per poder afirmar que el procés català d'urbanització ha sofert un canvi qualitatiu en les darreres dècades, que ha influït de forma decisiva en el consum de sòl a la regió metropolitana de Barcelona.

Aquest canvi es pot avaluar d'una forma més detallada a partir de les dades que ha publicat la Mancomunitat de Municipis de l'Àrea Metropolitana de Barcelona en els documents *Dinàmiques metropolitanas a l'àrea i la regió de Barcelona* (any 1995) i

El territori Metropolità de Barcelona. Dades bàsiques, evolució recent i perspectives (any 2003). La primera publicació ofería un quadre sobre l'ocupació del sòl segons usos en dos moments històrics –anys 1987 i 1992– (taula B2.3) i, la segona, dues taules referides als usos del sòl de l'any 2000 (taula B2.4 i figura B2.1) en números absoluts, en percentatges segons cada ús i la distribució percentual del sòl residencial segons tipologia.

Segons aquestes taules, la taca residencial de la regió metropolitana ha passat d'ocupar el 12,8% del territori, el 1987, a ocupar-ne el 14,4% el 1992 i el 18,14% l'any 2000, resultant un guany percentual d'aproximadament més de dos punts cada cinc anys. El gran salt es va fer durant la dècada anterior, quan es dobla la taca de principis dels setanta. Ara bé, el que ha canviat és que mentre els creixements residencials densos són relativament raonables –ja que es passa del 4,8% de 1987, al 5% de 1992 i al 3,5% l'any 2000, on evidentment s'han aplicat criteris més restrictius en la interpretació del que són els teixits densos– la taca de residencial extensiu ha passat del 3,7% de 1987, al 6,9% del 1992 i al 6,8% del 2000. Tot i el ball de números que resulta de comparar aquestes xifres –que s'ha d'interpretar a partir de les crítiques fetes a les primeres dades que es van donar– el fet objectiu és que mentre

Classificacions del sòl ocupat, segons usos		Regió metropolitana			
LANDSAT-87	PTMB-92	1987 (LANDSAT)		1992 (PTMB)	
		Ha	%	Ha	%
	Casc antic	-	-	3.818,6	1,2
	Densificació urbana	-	-	7.357,5	2,2
	Eixample	-	-	1.785,8	0,6
	(Total illa tancada)	-	-	9.143,3	2,8
	Polígons	-	-	1.929,4	0,6
	Plurifamiliar aïllada	-	-	1.325,3	0,4
	(Total aïllada plurifamiliar)	-	-	3.454,7	1,0
Nuclis urbans	(Total nuclis urbans)	15.494	4,8	16.216,60	5,0
Baixa densitat	Baixa densitat	12.029	3,7	22.333,90	6,9
Total residencial	Total residencial	27.523	8,5	38.550,50	11,9
	Zones industrials	-	-	7.956,60	2,5
Zones industr. i comerc.	(Zones industr. i comerc.)	10.901	3,4	7.956,60	2,5
Infraestructures viàries	-	3.009	0,9	-	-
(Total infraestructures)	-	3.009	-	-	-
Total urbanitzat	Total urbanitzat consolidat	41.433	12,8	46.507,10	14,4
Agrícola		85.272	26,2	-	-
Forestal		197.721	60,8	-	-
Altres		673	0,2	-	-
Total no urbanitzat	(Total no urbanitzat)	238.666	87,2	277.045,90	85,6
TOTAL SÒL	(TOTAL SÒL)	325.099	100	323.553,00	100

Nota: S'indiquen entre parèntesis els conceptes que no apareixen explícitament a les classificacions originals, però que s'incorporen aquí per tal de facilitar les comparacions. En el cas de les xifres, els parèntesis indiquen que s'ha substituït la manca d'informació original per les dades oficials de superfície total dels àmbits corresponents.

Taula B2.3. Ocupació del sòl segons usos (anys 1987 i 1992)

Fonts: Regió 1987: Pla Territorial Metropolità de Barcelona. Dades numèriques. Maig 1993. (Superfícies calculades per l'ICC a partir d'imatges LANDSAT). Regió i Àrea 1992: Pla Territorial Metropolità de Barcelona. Base de dades subministrada directament. Àrea 1992: MMAMB. Mapa d'usos del sòl 1992.

Ús	Barcelona	Àrea sense BCN	Rondes	Resta Àrea	Total Àrea	Resta Regió	Total Regió
Residencial dens	3.238,60	3.250,40	1.898,30	1.352,10	6.489,00	5.027,70	11.516,70
Residencial extensiu	527,30	4.907,60	441,10	4.466,60	5.434,90	16.857,80	22.292,70
Parcs, equipaments, Comerç	1.575,00	2.155,70	1.055,50	1.100,20	3.730,70	2.945,20	6.675,90
Indústria, Infraestructures	2.552,00	5.592,90	2.366,00	3.226,90	8.144,90	10.179,30	18.324,20
Total urbanitzat	7.892,90	15.906,60	5.760,90	10.145,70	23.799,50	35.010,00	58.809,50
Agrícola	11,20	8.122,00	1.722,60	6.399,40	8.144,90	64.402,80	72.536,00
Forestal	2.019,20	27.228,00	4.327,70	22.900,30	29.247,20	156.713,00	185.960,20
Altres usos	115,20	2.181,50	564,50	1.617,70	2.296,70	4.564,40	6.843,10
Total no urbanitzat	2.145,60	37.531,50	6.614,80	30.916,70	39.677,10	225.622,20	265.339,30
Total	10.038,50	53.438,10	12.375,70	41.062,40	63.476,60	260.672,20	324.148,80

Taula B2.4. Usos del sòl al territori metropolità de Barcelona l'any 2000 (en hectàrees)

Font: El territori metropolità de Barcelona. Dades bàsiques, evolució i perspectives. Àrea Metropolitana de Barcelona.

la superfície de residencial en baixa densitat era inferior a la taca dels nuclis urbans el 1987, en els darrers estudis es posa de manifest que la baixa densitat s'ha convertit en el major consumidor de sòl l'any 2000, fins a l'extrem de doblar la superfície de les àrees residencials denses.

En aquest moment, d'acord amb el que mostra la figura B2.1, a la regió metropolitana el 65,9% del sòl urbanitzat està ocupat per residència de baixa densitat. Si s'exclou d'aquest càlcul l'àrea metropolitana de Barcelona, el percentatge s'incrementa fins al 77%, tot i que dins d'aquest àmbit territorial, inclosa Barcelona, la baixa densitat representa el 45,6% de la taca urbanitzada.

Així doncs, la taca urbana de Catalunya ha tingut un creixement relativament paral·lel a l'evolució demogràfica del país, amb models d'ocupació que es movien en la densitat mitjana i alta. Aquesta evolució experimenta un canvi important amb l'aparició del turisme a la costa i la segona residència; però sobretot a partir dels anys setanta, quan comença un procés de desconcentració re-

sidencial a la regió metropolitana de Barcelona que es tradueix en una extensió de la taca urbanitzada, amb el desenvolupament d'àrees de baixa densitat que no havien despertat massa atenció en el moment de revisar els planejaments urbanístics endegats pels ajuntaments democràtics. Aquests desenvolupaments urbanístics han esdevingut grans consumidors d'espai i generadors d'una alta mobilitat en vehicle privat.

B2.3.3. L'ocupació de la costa i el fenomen turístic

No es pot entendre la globalitat del procés urbanitzador català sense considerar els fenòmens derivats del lleure i el turisme. Una part important de la construcció d'aquests darrers anys a Catalunya ha estat destinada a aquest segment de la demanda. Inicialment, aquests processos s'han localitzat al litoral, però després s'han estès –de manera molt intensa en els darrers anys– als espais de muntanya, sobretot a les comarques pirinenques.

Aquest fenomen s'ha centrat en l'oferta residencial amb un model molt extensiu, excepte en

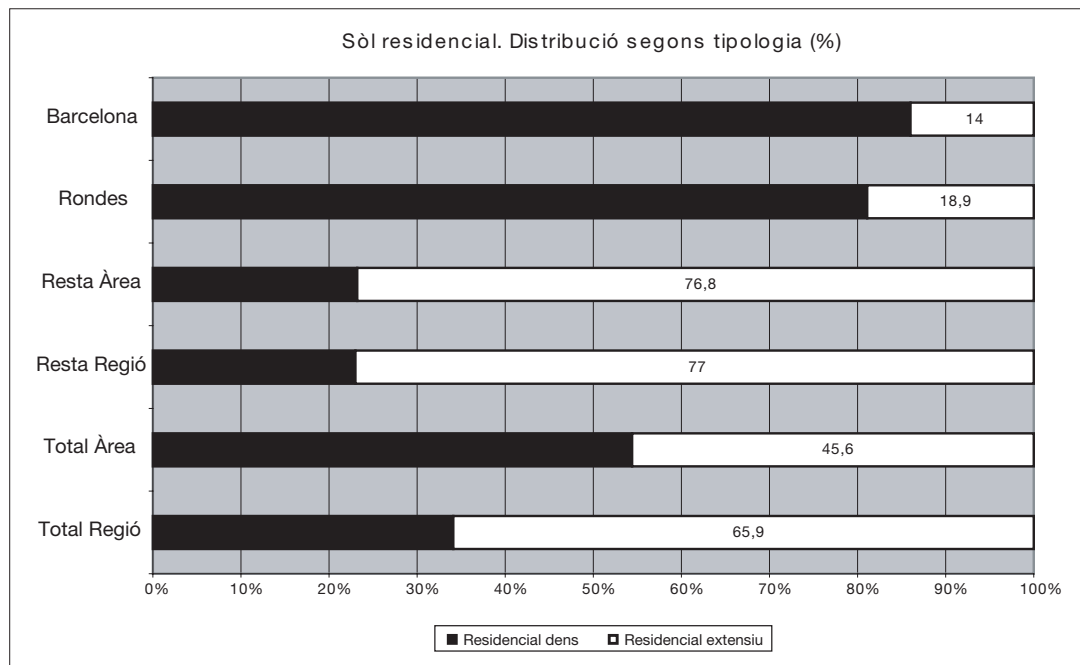


Figura B2.1. Distribució del sòl residencial (en %) al territori Metropolità de Barcelona l'any 2000
 Font: El territori Metropolità de Barcelona. Dades bàsiques, evolució i perspectives. Àrea Metropolitana de Barcelona.

certs llocs de la costa i algunes estacions d'esquí, on han estat acompanyats d'infraestructures per al lleure, sovint amb models molt depredadors del sòl com són els parcs temàtics, els camps de golf, les marines o les instal·lacions d'esquí. Aquests usos podrien haver-se implantat igualment seguint pautes que reconeguessin els trets específics de cada lloc, des dels constitutius del medi i el paisatge fins a la seva compatibilitat amb les activitats no urbanes de l'entorn, però quasi sempre s'han plantejat de forma apriorística, des d'una imatge estereotipada del lloc.

La pressió del sector del turisme sobre l'economia ha estat molt forta, tant en el sector de l'edificació residencial com en els serveis. Aquesta pressió edificatòria ja no es produeix a l'entorn dels nuclis tradicionals, sinó que està depredant espais de gran valor paisatgístic i cultural malmetent els llocs més significatius, que justifiquen el turisme i el gaudi de l'espai.

Des del punt de vista del consum de sòl i les grans xifres del turisme costaner (Pié, 1993):

«Quantitativament, el parc d'habitatges dels municipis costaners i d'aquells situats a menys de 20 minuts de l'aigua s'ha disparat en els darrers anys. En els anys 60, el nombre total d'habitatges es va gairebé duplicar, i es va triplicar en els municipis costaners fora de la comarca de Barcelona. Als anys setanta es van incorporar al boom els municipis de segona línia de mar.

Durant la primera dècada el creixement de la primera residència fou d'1,33 vegades, i el de la segona i d'estiuig va ser de 2,25 vegades més. En aquells anys, per cada cinc habitatges fixes n'hi havia un de segon. Al cap de deu anys, en la dècada dels setanta, aquesta proporció es va reduir a la meitat, i el parc de segona residència i de turisme es va doblar.

Si excloem de la costa les comarques del Barcelonès i la ciutat de Tarragona, dues àrees bàsicament de primera residència, el 1970, per cada dos habitatges de població fixa n'hi havia 1,2 de turístic. El 1981 el nombre d'habitatges d'un tipus i de l'altre era el mateix. Si solament ens referim als municipis costaners, el 1970 hi havia un 10% menys d'habitatges turístics que de primera residència, i el 1981 un 25% més.

En termes de població, sumades les capacitats del parc d'habitatges, els llits hotelers i les places de càmping, el 1981, si no comptem la comarca del Barcelonès, els municipis costaners passaven de tenir 1.100.000 persones a l'hivern a aixoplugar-ne 4.600.000 a l'estiu.»

Dades més recents confirmen aquest escenari, mentre que estudis específics sobre algunes de les àrees més representatives de la costa dibuixen una situació extrema. Segons un treball recent elaborat pel Departament de Geografia de la Universitat de Girona, l'any 1957 només l'1% de la superfície de la Costa Brava estava urbanitzada. Actualment, aquest percentatge és del 15%. En 45 anys, el perímetre del sòl urbà a Cadaqués s'ha multiplicat per 8, a Tossa de Mar i Platja d'Aro per 10 i a Lloret de Mar per 41 (Arbolí i Sandoval, 2003).

Catalunya –la regió més visitada de l'Estat espanyol– ha experimentat un creixement continuat del nombre de turistes que l'han visitada, que està hipotecant cada cop més el paisatge costaner; a més, a poc a poc està envaint la segona

línia de la costa, repetint els mateixos errors que s'han comès al litoral.

B2.3.4. El consum de sòl per part de les grans infraestructures

Les grans infraestructures no només han modificat substancialment les condicions del lloc i les seves relacions, sinó que poden ser avaluades en els mateixos termes d'ocupació del sòl que els processos d'urbanització i el fenomen turístic. De fet, l'opinió generalitzada és que les infraestructures de transport –especialment la xarxa viària i ferroviària– ocupen una gran quantitat de superfície, tenen una gran incidència en la impermeabilització del sòl i, en general, alteren les condicions naturals del lloc.

Tanmateix, d'acord amb l'estudi de *Parametrització de la utilització del sòl a Catalunya* (Reines, 1994), es veu que això no és així (taula B2.5). L'ocupació del sòl per part d'infraestructures en tres comarques representatives del conjunt de Catalunya és molt reduïda. Únicament té una certa significació en una comarca metropolitana, com és el Maresme, on supera lleugerament l'1%. En canvi, al Bages i la Garrotxa l'ocupació del sòl per part de les infraestructures se situa entre el 3 i el 4 per mil de la superfície total de la comarca.

De fet, tal com apunta aquest estudi, la incidència de la urbanització és molt més important. Així, al Maresme, el sòl urbà i urbanitzable representa el 23% de la superfície de la comarca, mentre que al Bages i la Garrotxa representa el 4% i el 5%, res-

Comarca	Superfície (Km²)	Carreteres i autopistes	Ferrocarrils	Total infraestructures	Sòl urbà i urbanitzable
Maresme	396,9	0,98%	0,12%	1,10%	23,23%
Bages	1.295,17	0,39%	0,04%	0,43%	4,24%
Garrotxa	734,18	0,29%	0,00%	0,29%	5,12%

Taula B2.5. Parametrització de la utilització del sòl al Maresme, el Bages i La Garrotxa (any 1994)
Font: «Parametrización de la utilización del suelo en Cataluña» (Reines, 1994).

	SÒL URBÀ		SÒL URBANITZABLE					
	ha	%	TOTAL		PROGRAMAT		NO PROGRAMAT	
			ha	%	ha	%	ha	%
ALT PENEDÈS	2.766	4,7	1.506	2,5	1.088	1,8	418	0,7
BAIX LLOBREGAT	9.786	20,1	6.666	13,7	3.870	8	2.796	5,7
BARCELONÈS	10.196	71,3	590	4,1	341	2,4	249	1,7
GARRAF	1.861	10,1	2.662	14,5	2.373	12,9	289	1,6
MARESME	5.461	13,8	3.618	9,1	3.109	7,8	509	1,3
VALLÈS OCCIDENTAL	10.741	18,5	9.394	16,2	5.769	9,9	3.625	6,2
VALLÈS ORIENTAL	8.955	10,5	4.848	5,7	3.360	3,9	1.488	1,7
TOTAL	49.766	15,4	29.284	9	19.910	6,1	9.374	2,9

	SÒL NO URBANITZABLE								SÒL OCUPAT PER XARXES BÀSIQUES (*)	
	TOTAL		PROTEGIT		COMÚ		PERIURBÀ		ha	%
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%		
ALT PENEDÈS	55.099	92,8	35.741	60,2	18.416	31,0	942	1,6	1.218	2,1
BAIX LLOBREGAT	32.281	66,2	21.091	43,3	10.065	20,7	1.125	2,3	1.181	2,4
BARCELONÈS	3.521	24,6	422	2,9	1.053	7,4	2.046	14,3	643	4,5
GARRAF	13.911	75,4	8.967	48,6	4.190	22,7	754	4,1	451	2,4
MARESME	30.656	77,1	18.286	46	10.892	27,4	1.478	3,7	1.041	2,6
VALLÈS OCCIDENTAL	38.036	65,3	21.129	36,3	15.439	26,5	1.468	2,5	1.478	2,5
VALLÈS ORIENTAL	71.514	83,8	48.225	56,5	21.373	25,1	1.916	2,2	1.532	1,8
TOTAL	245.018	75,6	153.861	47,5	81.428	25,1	9.729	3,0	7.544	2,3

(*) Inclou les xarxes viària, ferroviària, elèctrica, d'abastament, de sanejament, de gas i d'oleoductes. Les amplades considerades no inclouen la servitud d'afectació.

Nota: El sòl urbà, urbanitzable i no urbanitzable sumen el 100% de cada comarca. Per tant, inclouen les xarxes bàsiques.

Taula B2.6. Superfície (total i relativa) corresponent a cada tipus de sòl a la regió metropolitana de Barcelona (any 1992)

Font: Pla Territorial Metropolità de Barcelona. Document Provisional, Abril 1998. Memòria.

pectivament. En definitiva, la incidència de la urbanització és entre 10 i 20 vegades més gran que la de la construcció d'infraestructures.

Les dades subministrades pels estudis del *Pla Territorial Metropolità de Barcelona* confirmen les mateixes conclusions. Segons s'observa a la taula B2.6, l'any 1992 el sòl ocupat per xarxes bàsiques –entre les quals s'inclouen totes les xarxes de comunicacions viàries, ferroviàries, elèctriques, de sanejament, de gas i d'oleoductes, sense incloure les servituds d'afectació–, era el 2,3% del total a tota la regió metropolitana. Al Barcelonès aquest percentatge s'eleva fins al 4,5% i al Vallès Oriental la xifra es redueix a l'1,8%.

Els motius pels quals es tendeix a sobrevalorar la incidència de les infraestructures en l'ocupació del territori són diversos, però s'en poden destacar dos: per un cantó, pel fet que el coneixement que es té del territori s'obtingui desplaçant-nos per carreteres i ferrocarrils i, en conseqüència, una part del nostre camp de visió estigui sempre ocupat per infraestructures en un percentatge important; per l'altre, perquè les obres públiques acostumen a realitzar-se de cop, per la qual cosa tenen un impacte subjectiu molt més important que el procés d'urbanització, que es realitza mitjançant petites actuacions repartides al llarg del temps.

És cert, però, que si s'estengués l'estudi de les infraestructures a les infraestructures urbanes, el percentatge augmentaria considerablement. De fet, el percentatge de sòl residencial ocupat per totes les infraestructures urbanes es mou entre el 30% i el 45% del sòl urbanitzat, en funció de la densitat, el tipus i l'ordenació de cada àrea. En qualsevol cas, és impossible deslligar-les del teixit edificat, ja que han d'habilitar els terrenys adjacents per a la seva edificació i no es plantegen amb la radicalitat que, de vegades, es formulen les xarxes bàsiques, a causa d'aquesta necessitat de mantenir la relació amb tot el sòl circumdant. Per això té sentit diferenciar les dues infraestructures i avaluar-les diferenciadament.

B2.4. Els usos del sòl i la mobilitat

B2.4.1. La irreversibilitat del procés urbanitzador i la dinàmica dels usos urbans

La transformació del sòl rural en espai urbanitzat comporta un conjunt d'operacions d'una enorme transcendència: refer el relleu natural d'un lloc –que passa a ser dominat per la topografia dels carrers–, introduir xarxes de serveis, amb materials artificials que aportin energies i recursos necessaris per als nous usos urbans, adaptar els terrenys adjacents a les infraestructures urbanes per fer-los accessibles des dels vials i, finalment, construir diversos tipus d'edificació per ubicar-hi els usos propis de la ciutat. Els efectes d'aquesta seqüència suposen la recreació d'un nou paisatge, que esdevé totalment diferent d'aquell del qual es partia.

Aquest conjunt d'operacions fa que la transformació del sòl agrícola o forestal en urbanitzat sigui un procés de molt difícil reversió, especialment quan els usos urbans que hi són presents es consoliden. Aquests usos poden canviar, tal com ensenya la història de la ciutat, però en molts pocs casos retornen al punt de partida; excepte en situacions molt singulars o per culpa de grans catàstrofes que puguin portar a la total desaparició d'una societat. La inèrcia històrica del canvi urbanístic fa pràcticament irreversible el procés –un procés molt costós–, no només en termes de consum i desaparició d'espai rural, sinó també en termes socials, econòmics i tecnològics; el que fa notar la força i determinació dels usos i activitats que s'hi aixopluguen a favor d'aquest canvi. D'alguna manera, es pot afirmar que el procés d'urbanització del territori no és un fenomen natural, sinó el resultat del traspàs d'una societat rural a una societat urbana i de la capacitat i força de certs fenòmens socials, polítics i econòmics que es produeixen en el seu interior.

Així doncs, el procés urbanitzador d'extensió i reforma de la ciutat és el resultat de canvis molt importants en els usos i formes del comportament de la societat. De forma molt esquemàtica,

aquests usos es poden agrupar en tres grans paquets: els residencials, que es tradueixen en edificació residencial de tipus molt diversos, des de l'habitatge absolutament privatiu a les formes residencials més col·lectives; les activitats productives, sobretot les que fan referència a la indústria del sector econòmic secundari, en totes les seves branques excepte la indústria del sector primari, que generalment no té un caràcter urbà, i les activitats del sector terciari, especialment el comerç i els serveis.

A la ciutat tradicional, aquests usos es van situar a l'espai urbà de manera complexa fins al primer terç del segle XX, sovint en una intensa relació entre si (en alguns casos de forma inadequada). Les ciutats catalanes madures (Busquets, 1992) –les ciutats històriques que provenen d'aquella Catalunya agrícola dels segles XVII i XVIII– encara mantenen una bona part d'aquesta complexitat, que avui es reconeix com un valor altament positiu. A les ciutats recents –quasi totes elles situades a l'àrea metropolitana de Barcelona i formades a l'entorn de petits nuclis rurals que s'han desenvolupat en molt pocs anys–, els teixits urbans han tendit a una certa especialització funcional, seguint les tesis del *Moviment Modern* i donant peu a un conglomerat urbà fet de la suma de peces diverses, que funcionen de forma independent.

A la ciutat difusa –que actualment es produeix amb la intensitat i extensió que es marcaven en el primer apartat sobre les dimensions de la taca urbana– la baixa densitat de la ocupació residencial dilueix les relacions urbanes, segrega els usos i impossibilita la formació de xarxes d'infraestructures, sistemes de transport, equipaments o serveis col·lectius que donin suport al conjunt i justifiquin el caràcter urbà del fenomen.

La dinàmica econòmica actual, els processos de globalització i el canvi de localització de les activitats han modificat aquella relació biunívoca que hi havia entre la ciutat i els usos i les activitats urbanes. Actualment, l'espai ciutadà s'ha disgregat perquè els usos i les activitats urbanes han depas-

sat els límits de les ciutats tradicionals i s'han produït en un marc territorial molt més ampli. No es tracta d'un procés de desconcentració o descentralització de la ciutat, sinó d'una dinàmica de difusió molt més caòtica del que era propi de la ciutat, que afecta a un espai més ampli: la rodalia de la ciutat, els entorns metropolitans de mitjana o gran dimensió o les regions metropolitanes, com la que es produeix en el cas de Barcelona.

Aquest nou marc de relació genera un increment altíssim de la demanda de mobilitat de les activitats i de la població, que es converteix en el motor fonamental del canvi i la generació de demanda de creixement en territoris i poblacions que fins ara estaven al marge del fenomen urbanístic fins i tot en moments amb un creixement demogràfic lleuger, com succeeix actualment a Catalunya.

Així doncs, la interpretació de les dades d'ocupació urbana que s'han tractat a l'apartat anterior mereixen una reflexió sobre el paper que ha jugat el procés de canvi dels usos urbans i les noves formes de vida de la comunitat.

B2.4.2. La dinàmica dels usos industrials i l'aparició de nous espais urbans per als usos terciaris i els serveis

Els estudis més recents sobre l'evolució de la urbanització en algunes parts del territori català mostren, clarament, que certes transformacions del sector productiu que han tingut lloc des de finals dels anys setanta fins ara han tingut una enorme transcendència en la configuració actual de la ciutat i el territori. La reconversió industrial, producte de l'evolució de l'economia mundial i les dificultats de convivència de la indústria amb la residència, així com la possibilitat de finançar aquella reconversió amb les plusvàlues urbanes generades per les velles instal·lacions a l'interior de la ciutat, han portat a una important relocalització de les activitats industrials urbanes a les rodalies de la ciutat, buscant la proximitat amb les grans infraestructures de transport en entorns industrials exclusius, lluny de les àrees residencials i les activitats terciàries urbanes,

que està canviant el mapa productiu de Catalunya.

Certs polígons industrials preexistents i d'altres de nova planta –així com implantacions de grans peces productives– estan caracteritzant el nou paisatge territorial català, en un canvi que és molt important des del punt de vista quantitatiu, però encara més des del qualitatiu, per l'efecte que tenen aquestes implantacions sobre les xarxes de comunicació i transport i sobre la relocalització de la població relacionada amb aquest segment de l'economia catalana.

Encara que falten dades precises sobre la magnitud d'aquest èxode en termes de sòl, l'estudi *El territori Metropolità de Barcelona* apunta que «La Regió Metropolitana de Barcelona, l'any 2000, té una població ocupada d'1.906.000 persones. El 25% (470.000) són llocs de treball industrial. En els últims 10 anys, ha perdut 125.000 llocs de treball en el sector de la indústria manufacturera. El consum de sòl industrial, en canvi, ha tingut un fort creixement: de tot el que hi havia disponible, ara n'hi ha ocupat el doble que fa 10 anys» (Busquets, 1992). En altres paraules, la taca industrial s'ha estès significativament en aquests darrers anys sobre els territoris de la ciutat difusa –prenent formes molt extensives, amb una forta demanda de sostre construït per treballador (70-80 m²)–, que ha arrossegat una part de la població resident de la ciutat cap aquest territori difús i ha incidit considerablement en la mobilitat obligada residència-treball de la població que resta en els llocs de residència anteriors.

Com a contrapartida a aquest procés, les velles instal·lacions industrials de la ciutat –molt sovint situades en àrees urbanes centrals– s'han convertit en espais per a la seva requalificació interna, oferint un ventall d'oportunitats per reequilibrar el conjunt urbà i territorial, des d'opcions relacionades amb noves activitats econòmiques –essencialment les terciàries– fins a l'habitatge.

Així doncs, la *desindustrialització* de les ciutats tradicionals ha tingut com a contrapunt la trans-

formació del sector terciari de la ciutat (Busquets, 1992), que s'ha resituat en els districtes centrals i en grans superfícies terciàries, sobre els eixos de comunicació territorial, modificant substancialment els hàbits socials de la població pel que fa a la seva relació amb els serveis i els seus hàbits comercials. Per un cantó, els centres urbans –especialment la ciutat de Barcelona– s'han especialitzat en serveis als sectors productius i en R+D. Barcelona, l'any 2000, concentrava un segment de la població activa amb un alt nivell de coneixements: el 60% de la regió metropolitana i el 48% de Catalunya.

D'altra banda, la irrupció de les grans superfícies comercials situades als afores de la ciutat afectà el comerç al detall –una bona part del qual ha tancat– i va canviar els hàbits de compra de la població, en part, també arrossegats per la incorporació de la dona al treball i les transformacions en la composició del nucli familiar.

El trasllat de la indústria manufacturera als afores de la ciutat, l'especialització terciària dels centres urbans i el nou mapa comercial –lligat a la pràctica inexistència d'un mercat residencial de lloguer i a les rigideses que imposa un parc d'habitatges en propietat– expliquen l'elevat increment de la mobilitat individual, només parcialment canalitzada a través de les xarxes de transport públic, progressivament més febles a mesura que ens allunyem del centre barceloní, fins a arribar a indrets on la seva incidència és gairebé imperceptible.

Segons l'*Enquesta de Mobilitat Quotidiana 2001* –realitzada per l'Autoritat del Transport Metropolità– publicada el gener de 2003, la mobilitat a la regió metropolitana de Barcelona va augmentar el 3,4% entre els anys 1996 i 2001. La mobilitat obligada representava el 28% del total, superant el 24% de la no obligada (compres, gestions, lleure, etc.). D'altra banda, també s'apunta que dels 50 milions de desplaçaments setmanals que es produeixen, només el 25,4% es realitzen en transport públic. En termes de distribució territorial, si bé l'any 2000 l'espai inte-

rior de les rondes de Barcelona acollia el 42% del total dels desplaçaments de la regió –xifra similar al seu pes demogràfic–, un 25% corresponia als fluxos d'entrades i sortides per les entrades d'accés a les rondes i la resta es distribuïa de forma semblant entre els fluxos per les vies d'accés a l'aglomeració central, que agrupa tota la taca urbana contínua més enllà de les rondes i els moviments interns (Busquets, 1992).

B2.4.3. Les dinàmiques residencials i el mercat immobiliari

Per completar el panorama, recentment s'ha produït un doble procés de caràcter general arreu del territori. Per una part, la dinàmica del sector immobiliari està forçant el desplaçament d'una part de la població fora de les ciutats tradicionals, bé per factors econòmics –que impedeixen l'accés a l'habitatge en les àrees centrals–, bé per l'expectativa d'una millor qualitat residencial en les ofertes de fora de la ciutat. Per l'altra, les ciutats tradicionals tornen a ser espais receptors de la nova immigració, la de caràcter econòmic i també la cultural, que troba dins de les ciutats –per diferents motius de preu o posició– un habitatge més adequat.

Els creixements s'han distribuït generalment en dos entorns urbans diferents: l'habitatge més assequible per a la mobilitat de caràcter econòmic en tipologies plurifamiliars s'ha situat en les extensions de les ciutats més tradicionals, mentre que la mobilitat a la recerca d'un entorn residencial de major qualitat s'ha situat en entorns de baixa densitat, majoritàriament omplint les urbanitzacions heretades de l'etapa franquista –inicialment de segona residència i progressivament convertides en espais de residència habitual–, processos que també estan incidint en àrees amb vocació d'origen turístic. També s'ha d'apuntar la formació de nous sectors o extensions urbanes de mitjana densitat a molts municipis, destinats principalment a cases unifamiliars adossades.

Per tant, el creixement del sòl urbanitzat d'ús principal residencial no ha estat equivalent al

creixement del parc d'habitatges, amb una punta històrica els darrers anys amb xifres properes als 70.000 d'habitatges nous anuals, atès que una part important s'ha situat sobre sòls ja compromesos en etapes anteriors. L'enorme increment de la mobilitat quotidiana de la població, al qual s'ha de sumar l'increment del transport de mercaderies, és el resultat no tant d'una ciutat dispersa o difusa que el planejament i la gestió urbanística municipal han frenat –en absència d'un planejament territorial només anunciat–, sinó d'una redistribució territorial i urbana de les activitats productives, dels serveis i d'un mercat de l'habitatge abandonat a la lògica implacable de la lliure oferta; sense contrapès de polítiques públiques de defensa de l'estabilitat i la cohesió de la població en el territori.

B2.4.4. Els canvis en la mobilitat i el transport

Tal com s'ha exposat a l'apartat anterior, la dinàmica urbana recent està incrementant les necessitats de mobilitat de la població per efecte del canvi de localització de les activitats industrials, la recentralització de les activitats terciàries, els canvis del mapa comercial i la rigidesa de la localització residencial, sense que al mateix temps s'hagi incrementat l'oferta de transport públic.

De fet, els canvis en la mobilitat i la pèrdua de protagonisme del transport públic ja vénen produint-se des de fa uns anys. El ferrocarril –que va ser el sistema de transport hegemònic durant la segona meitat del segle XIX i la primera meitat del XX– va decaure de forma radical a partir de la segona meitat del segle XX, amb la irrupció de l'automòbil. Així, més del 90% dels viatges terrestres que es fan actualment es realitzen per carretera, tant de transport de viatgers com de mercaderies (taules B2.7 i B2.8).

Per una altra banda, el transport aeri ha sofert un increment espectacular. En el cas de l'aeroport de Barcelona, el volum de viatgers ha tingut un increment del 113,52% en els últims deu anys (taula B2.9).

Pel que fa a la regió metropolitana de Barcelona, el desplaçament a peu ha estat el mode de transport predominant (38%) segons l'*Enquesta de Mobilitat 2001*, seguit del transport privat (36,5%) i el públic (25,4%). Malgrat les diverses mesures de promoció i les noves fórmules tarifàries, el transport públic no només no ha estat capaç de recuperar pes respecte del privat, sinó que n'ha seguit perdent.

Busquets (1992) apunta que segons les dades disponibles, referides a àmbits i segments de població no totalment idèntics, entre els anys 1996 i 2001 el transport privat hauria augmentat poc més d'1 punt, mentre que el públic n'hauria disminuït com a mínim 2,5. De la mateixa manera, afirma que pel que fa al transport privat, l'ús del cotxe com a conductor és molt més freqüent (21,9%) que no pas com a acompanyant (9,1%), fet del qual resulta un índex d'ocupació mitjana per vehicle molt reduït (1,4 persones). Finalment, també apunta que «*La concentració (...) pel que fa al transport col·lectiu: el 85% dels viatges que es realitzen al conjunt de la regió metropolitana en mitjans públics es produeixen a l'aglomeració central*».

Des del punt de vista ambiental, és evident que es produeixen dos fenòmens negatius en termes de mobilitat i transport: per un costat, des de mitjan segle passat hi ha un retrocés del ferrocarril com a medi de transport preferent a favor del transport privat amb vehicles de motor d'explosió interna i de l'aviació, que es caracteritzen per la important emissió de gasos amb efecte d'hivernacle, davant dels modes guiats per rails, energèticament molt més eficients i menys contaminants. A les àrees urbanes, per l'altra banda, el creixement dispers dificulta la implantació del transport públic i fomenta la utilització majoritària del vehicle privat.

B2.5. Les condicions tècniques d'execució de les grans infraestructures i els seus efectes ambientals

La contribució de la urbanització al canvi climàtic no només poden relacionar-se amb els proble-

	Carretera	Ferrocarril
Any 1953	40%	60%
Any 1961	70%	30%
Any 1990	91%	9%

Taula B2.7. Distribució percentual de l'ús dels diversos mitjans de transport de viatgers a l'Estat espanyol (anys 1953, 1961 i 1990)
Font: Union Internationale des Chemins de Fer (UIC) i RENFE.

	Carretera	Ferrocarril
Estat espanyol	93%	7%
França	70%	30%
Alemanya	79%	21%
Gran Bretanya	90%	10%

Taula B2.8. Distribució modal (en %) del transport de mercaderies a l'Estat espanyol, França, Alemanya i Gran Bretanya (any 1994)
Font: Union Internationale des Chemins de Fer (UIC) i RENFE.

Any	Passatgers	Increment respecte l'any anterior	Increment respecte l'any 1993
1993	9.998.398	-	-
1994	10.647.285	6,49%	6,49%
1995	11.727.814	10,15%	17,30%
1996	13.434.679	14,55%	34,37%
1997	15.065.953	12,14%	50,68%
1998	16.194.805	7,49%	61,97%
1999	17.421.938	7,58%	74,25%
2000	19.809.567	13,70%	98,13%
2001	20.745.536	4,72%	107,49%
2002	21.348.211	2,91%	113,52%

Taula B2.9. Nombre de passatgers a l'aeroport de Barcelona (període 1993-2002)
Font: Aena.

mes que comporta el consum de sòl, la dinàmica dels usos urbans i els efectes que produeix aquesta situació en termes de demanda de mobilitat i transport, sinó també amb les tècniques i els materials utilitzats en el seu disseny i execució.

B2.5.1. El canvi tecnològic en les infraestructures de comunicació

El disseny de les infraestructures de comunicació va experimentar un canvi molt important a partir de la introducció dels mitjans de transports impulsats per diferents motors de tipus mecànic. Aquest fet va revolucionar les comunicacions i va introduir nous criteris en el disseny i la construcció per poder aprofitar els avantatges que suposaven les noves tecnologies de transport.

El ferrocarril i la resta de tipus de transport guiats per rails segueixen criteris de disseny molt estrictes, per les fortes limitacions que tenen respecte als pendents de la traça i als radis de gir, a fi i efecte de permetre el pas dels vehicles a la velocitat més elevada que sigui possible. Per aquesta raó, el ferrocarril és la primera infraestructura moderna que va haver de realitzar un gran esforç tecnològic per obrir-se camí en territoris amb dificultats topogràfiques. Aquelles restriccions tècniques –que van obligar a construir trinxeres, grans terraplens, túnels, ponts i aqüeductes– van desenganxar el ferrocarril del territori natural, convertint aquells artefactes en una barrera física, que tallava comunicacions, els recorreguts de l'aigua o la continuïtat de sistemes naturals.

Així mateix, les vies terrestres es van desentendre del camí històric que resseguia el terreny en la mesura que es van anar especialitzant, prenent geometries de disseny cada cop més autònomes. La carretera, l'autovia o l'autopista es plantegen des de criteris d'eficiència circulatoria que no sempre són respectuosos amb les condicions del lloc. De fet, molt sovint es construeixen amb una certa prepotència, producte de l'augment de la capacitat tècnica per moure terres i traslladar les terres sobrants a abocadors molt llunyans. Aquesta capacitat ha deixat de

banda alguns criteris de disseny, com el d'economitzar aquestes actuacions i compensar les terres excavades amb les terres sobreposades, que en les grans obres del segle XIX expliquen la cura i el respecte que es tenia pel territori.

D'aquesta manera, les grans infraestructures de comunicació –al marge de les seves funcions com a canals de trànsit– actualment plantegen problemes de tall de sistemes naturals per on transcorren i, sobretot, en relació amb el control de l'aigua (qüestió fonamental perquè no només afecta a la relació de la infraestructura amb el seu territori sinó també amb la seva mateixa durabilitat).

Si un dels possibles efectes del canvi climàtic a Catalunya pot ser l'augment de les pluges torrencials, es pot preveure l'aparició de greus problemes en les infraestructures de comunicació si no es prenen les mesures per adaptar-les a aquests canvis. D'alguna manera, caldrà revisar alguns criteris tècnics –excessivament refiats en les seves pràctiques–, no només per assegurar la supervivència d'aquestes infraestructures, sinó també per evitar els efectes perniciosos en el seu entorn, com les inundacions per culpa d'una mala resolució tècnica dels problemes que pot comportar el canvi climàtic.

B2.5.2. Les xarxes de sanejament

Alguns dels efectes més importants que produeix la urbanització són la impermeabilització de grans superfícies de sòl, l'actuació sobre torrents, rieres i altres cursos d'aigua, i en alguns casos, l'ocupació d'àrees inundables. Per una altra banda, l'aglomeració urbana és un dels grans consumidors d'aigua i el gran generador d'aigües negres, que per raons sanitàries i ecològiques s'han de canalitzar i evacuar fora de la ciutat. Les xarxes de sanejament necessàries per afrontar aquestes necessitats, tant si són unitàries com separatives, són les infraestructures urbanes més vulnerables a les pluges. Els riscos, al marge de tenir o no un disseny adequat, provenen de taps per la càrrega sòlida de l'aigua (especialment vegetació) i també dels rebentaments

que es produeixen als col·lectors en entrar en càrrega, amb efectes catastròfics per a les àrees urbanes.

Les xarxes d'aigües pluvials actualment es dimensionen per períodes de retorn petit –de l'ordre de deu anys–, que corresponen a pluges freqüents. En aquest sentit, el canvi climàtic té poca incidència si s'accepta, com fins ara, que les xarxes de pluvials no han d'absorbir pluges de períodes de retorn alt. Quan es produeixi aquesta contingència, l'aigua circularà per les calçades dels carrers, per considerar-se que és una situació extraordinària.

Convé esmentar que darrerament es comencen a construir dipòsits de laminació, l'objectiu dels quals és fer disminuir el cabal màxim que circula per un determinat col·lector en moments punta. Quan comença a ploure –si es disposa d'un dipòsit buit–, el cabal de sortida que va a parar al col·lector és inferior a l'entrada mentre el dipòsit pugui recollir una part de l'aigua, que no evacuarà fins després de passat el temporal. A Barcelona, on s'han construït diversos dipòsits d'aquestes característiques, s'ha aconseguit que no es produeixin desbordaments per pluges inferiors a un període de retorn de 10 anys.

En qualsevol cas, a més d'aquestes consideracions sobre les condicions genèriques de les xarxes de sanejament, cal esmentar que certes condicions de càlcul i disseny d'aquestes fora dels grans nuclis urbans plantegen dubtes seriosos sobre la seva capacitat i manteniment. Si això se suma a les consideracions exposades anteriorment, es posa de manifest la necessitat de reconsiderar els criteris de disseny i construcció que s'han aplicat fins ara.

B2.5.3. La previsió d'inundacions

El possible increment de les inundacions, si augmenten la freqüència i la magnitud de les pluges torrencials com a conseqüència del canvi climàtic, mereix un comentari a part. Fins ara, davant d'aquestes situacions s'ha tendit a aplicar solu-

cions d'obra dura. Cal recordar, però, que les inundacions són un fenomen natural que actua de forma positiva –quant a cabal– aigües avall de la zona inundada, ja que la inundació actua com un embassament que lamina l'avinguda i facilita la recàrrega de l'aqüífer. Per tant, segons aquest model teòric, l'aplicació generalitzada de mesures de defensa contra la inundació, tal com s'ha vingut produint –amb la construcció d'embassaments a les capçaleres de les conques, canalització dels rius, construcció de motes, etc.–, implica renunciar als beneficis que comporta la inundació i, al mateix temps, significa confiar exclusivament en grans obres d'infraestructura per controlar el comportament de l'aigua.

Malauradament, moltes d'aquestes mesures de defensa s'han pres amb posterioritat a alguns episodis dramàtics, com ara les grans inundacions de la dècada dels seixanta, que van destruir alguns barris d'autoconstrucció de diverses poblacions del Vallès, o episodis menys dramàtics, com els que han afectat poblacions turístiques edificades en zones inundables o que s'han vist afectades indirectament per culpa de grans obres d'infraestructures que han tallat els deguassos naturals del terreny (com ha passat recentment en algunes zones del delta del Llobregat), sense una estratègia a termini mitjà que afronti el problema en tota la seva globalitat.

Tanmateix, es fa difícil pensar que es puguin restituir i reservar els espais inundables per laminar l'aigua que porten les grans pluges torrencials, perquè els marges dels rius i rieres de Catalunya estan densament poblats o tenen una utilització molt intensa. Per la seva banda, les zones planes –potencialment inundables– tenen un alt valor agrícola. Ara bé, davant de les qüestions que planteja el canvi climàtic, caldrà anar més enllà de les mesures d'ordre legal que s'han pres fins ara per evitar la urbanització dels terrenys inundables i afrontar solucions alternatives per resoldre els problemes que tindran les àrees urbanitzades, on augmentarà el risc d'inundació.

B2.5.4. Les necessitats d'aigua i els recursos disponibles

Les previsions sobre les conseqüències del canvi climàtic a Catalunya no només parlen d'episodis de grans pluges, sinó també de períodes de sequera més intensos i freqüents. Si això es produeix, la garantia de subministrament d'aigua disminuirà i, com a conseqüència, cal esperar altres efectes molt importants. En aquest sentit, el Centre d'Estudis Hidrològics del cos d'enginyers de l'exèrcit dels Estats Units d'Amèrica diu: *«Generalment es consideren intolerables els dèficits en l'abastament d'aigua potable. Tanmateix, es pot admetre alguna disminució en el volum destinat a usos municipals o industrials sense produir efectes econòmics greus, reduint alguns dels usos menys importants, com el rec de jardins, rentat de cotxes, etc. Dèficits superiors al 10% solen produir danys notables»*

En la situació actual, les simulacions realitzades a la regió metropolitana de Barcelona posen de manifest que en un de cada deu anys ja es produeixen dèficits superiors al 10%. Evidentment, si hi ha períodes de sequera més intensos i freqüents i continua l'augment de població dels darrers anys, la situació tendirà a empitjorar de forma notable.

Cal disposar d'infraestructures adaptables per fer front a aquesta situació i poder-ne encarar altres més extremes. Això es pot aconseguir diversificant les fonts de subministrament i connectant les xarxes. Els experts preveuen que els efectes del canvi climàtic –pel que fa a l'augment de períodes de sequera, que es tracten en detall en altres capítols d'aquesta publicació– seran especialment importants a les nostres latituds. Aquest fet posa de relleu que és recomanable anar a buscar fonts de subministrament alternatiu a zones climàtiques diferents i sense els mateixos problemes.

Cal recordar que els regadius poden patir les conseqüències del canvi climàtic de manera doble. Per un costat, per la disminució de la garantia del regadiu i, per l'altre, per l'augment de la tempera-

tura mitjana, que incrementa l'evaporació de l'aigua i, en conseqüència, la necessitat de més aigua per a la vegetació. En el cas del regadiu, no es justifiquen actuacions per a l'abastament d'aigua potable com les esmentades. L'agricultura no pot fer front al cost de portar aigua de llocs allunyats ni tampoc la construcció d'infraestructures redundants; per això, l'opció més raonable passa per reduir les necessitats d'aigua, modernitzant els regadius de forma que amb menys aigua puguin aconseguir la mateixa producció.

Finalment, davant d'un escenari més complicat que el present, els aqüífers actuals esdevenen unes peces claus per fer front a la variabilitat climàtica, ja que actuen com a grans magatzems estratègics. La seva protecció és essencial per poder mantenir, almenys, la mateixa capacitat de resposta que actualment es té. Cal, al mateix temps, afavorir la infiltració d'aigua als aqüífers, tant la que prové de la pluja com la que discorre pels rius i rieres, raó per la qual s'ha d'evitar la impermeabilització superficial dels aqüífers i protegir-los de la contaminació.

B2.6. El producte immobiliari com a producte financer i econòmic

L'edificació, com les infraestructures, està en un procés de canvi molt important des de mitjan segle XIX pel que fa a les tècniques que es van emprar al llarg dels segles precedents. Tot i que no constitueix un sector d'innovació tecnològica –com el de l'automòbil abans de la crisi del petroli o el de les tecnologies de la comunicació i els nous materials en l'actualitat– resulta un sector productiu bàsic de l'economia occidental.

La construcció és un sector transformador de matèries primeres, que s'extreuen tant del medi geogràfic proper com d'arreu del món gràcies a la capacitat i millora dels sistemes de transport, els quals han posat a l'abast materials i productes que eren impensables fa molt pocs anys, quan el nombre de productes a disposició del sector es podien comptar amb els dits de la mà a Catalunya.

El producte que genera el sector de l'edificació –l'immoble– presenta un cicle de vida relativament llarg si se'l compara amb la resta de béns de consum i tendeix a comportar-se com un contenidor, que acull funcions diverses al llarg de la seva vida (comercial, industrial, equipament, lúdic, residencial). Aquesta reutilització continuada dels edificis, que es transmeten per herència d'una generació a la següent, és positiva per la seva durabilitat, però cal mantenir-se alerta sobre el seu impacte ambiental, que s'ha d'avaluar al llarg de tota la seva vida i no exclusivament en el moment de la seva construcció.

Fins fa pocs anys, l'edificació era un sector que generava pocs residus, ja que l'enderroc era una procés de reciclatge i els residus rebutjats eren inerts. Avui en dia, això ja no és així: pràcticament no es reutilitza res perquè els residus gairebé no es classifiquen i resulta més econòmic i normatiu construir amb materials de primera mà. D'altra banda, però, cal destacar el notable increment del nombre d'actuacions de rehabilitació, reforma i ampliació del parc existent, fet que suposa un canvi en la manera de fer dels darrers anys.

Com a sector productiu, la construcció es caracteritza per la seva dispersió geogràfica en el territori català i per les múltiples diferències que hi ha entre cada intervenció, quant a grandària i intensitat: des de la petita casa rehabilitada per al turisme rural al Pirineu fins al gran centre comercial metropolità d'obertura continuada.

Com a sector mercantil, la construcció presenta uns trets diferencials propis: pràcticament no hi ha estocs, el mercat de segona mà és molt important i la innovació tècnica no és encara un aspecte rellevant per a l'usuari. D'altra banda, és un bé molt marcat pel seu vessant patrimonial, estètic-cultural i d'adaptació al lloc, aspectes que incideixen decisivament en la configuració actual dels nostres edificis.

Finalment, cal apuntar que els agents promotors d'aquest sector, a diferència dels promotors de

les grans infraestructures, pertanyen al sector privat. Així doncs, mentre que les grans inversions en infraestructures provenen de l'Administració –aproximadament el 50% prové de l'Estat i l'altre 50% es reparteix a parts iguals entre les administracions autonòmiques i els ajuntaments¹–, l'edificació està en mans de la iniciativa privada, si es deixen de banda els equipaments públics i petites promocions d'habitatge protegit.

Per acabar aquesta introducció genèrica sobre el sector, cal remarcar que el fet edificatori ha passat de tenir un valor d'ús a esdevenir un bé de consum en poques dècades. Abans es construïa per a l'ús propi, mentre que ara es construeix per a un consumidor desconegut: un emigrant, un turista o una parella jove. Aquest canvi s'ha produït simultàniament a la transformació de l'habitatge en el principal valor de canvi de les famílies catalanes. Tots els estalviadors, des de les famílies fins a les empreses, han patrimonialitzat els seus capitals excedents invertint en noves edificacions, esperant d'elles la generació de plusvàlues segures. Si això era cert en èpoques de postguerra i emigració, ara té un component molt més especulatiu i fictici; fins i tot es parla d'un dany col·lateral del propi progrés. Aquesta sobrevaloració explica, en part, l'expansió urbanística desorbitada que viu tot l'Estat espanyol: segons dades recents s'han edificat més habitatges a l'Estat espanyol durant l'any 2003 que a França i Alemanya plegats durant el mateix període.

B2.7. Les qüestions ambientals en el disseny dels edificis

B2.7.1. L'edificació modela el clima i el clima modela l'edificació

Tradicionalment, es reconeixia als edificis el seu paper de configuradors del clima interior de què gaudeixen els seus usuaris, modificant en part els paràmetres no desitjats del clima exterior. La implantació i generalització dels sistemes mecànics

1. Aquests percentatges corresponen a totes les inversions destinades a obres públiques i equipaments públics. Font: elaboració pròpia.

i energètics de condicionament artificial del clima en els darrers 100 anys ha fet baixar la guàrdia als arquitectes en aquest aspecte i ha dispensat els nous edificis d'aquesta tasca ancestral de reguladors passius de les condicions climàtiques ambientals. Als anys vuitanta del segle passat es va iniciar, amb els edificis anomenats bioclimàtics, una recuperació d'aquella funció ancestral dels edificis com a reguladors del clima més immediat als seus propis habitants, mitjançant sistemes passius o l'aprofitament de les energies naturals disponibles en un determinat emplaçament.

També és cert que els edificis són uns dels principals responsables de la creació de les condicions últimes del microclima urbà: temperatura, humitat, radiació i ventilació. Aquestes condicions poden ser hàbilment modelades per l'edificació, creant carrers i places amb millors condicions ambientals que les mesurables en el clima natural de la zona. Això és així, no tan sols per l'efecte de la pròpia ordenació urbanística (sol-ombra, sobrevent-sotavent, a cobert-descobert), sinó també pels materials de tancament i revestiment emprats en les cobertes i façanes; materials que poden ser, entre altres, absorbents de la humitat (com les teules de ceràmica o els arrebossats de morter de calç), reflectants de la radiació solar (com els metalls polits i el vidre) o captadors d'energia (com les claraboies i les plaques solars).

B2.7.2. Les tipologies edificatòries

L'edificació entre mitgeres ha estat tradicionalment la més dominant a Catalunya, probablement per les limitacions del propi país (necessitats de defensa, pobresa de recursos, poca capacitat de mobilitat, aprofitament del bon sol, simplicitat de la tècnica constructiva, etc.). En el decurs del segle xx, aquests factors han deixat de ser limitatius –menys amenaces externes, més riquesa de recursos, més capacitat de mobilitat, capacitat per a l'ocupació de nous sòls, innovació en les tècniques constructives, etc.– i han començat a aparèixer més edificis aïllats, més alts, més extensos i de formes més complexes. En resum, una pèrdua de la compacitat tradicional que es combinava amb l'existència de patis, eixi-

des, galeries, interiors de mansana, etc.; és a dir, espais intermedis entre la casa i el carrer que actuaven com a intercanviadors i reguladors climàtics. Aquests espais intermedis semiprotegits servien per crear zones a recer del sol, el vent i la pluja dominants. Igualment, si s'obrien amb intel·ligència i sincronia les obertures, es creaven corrents d'aire que transportaven les condicions d'humitat i temperatura més favorables en cada cas.

Els nous tipus d'edificis que a poc a poc s'han generalitzat a Catalunya, afavorits per la propietat horitzontal (la casa de pisos de propietat amb diversos habitatges per replà), la generalització de l'automòbil privat (grans aparcaments a l'aire lliure per tot arreu i torres escampades pel bosc) o l'edificació turística amb «vistes» (edificis aïllats dels nuclis històrics i sense formar carrer) s'han trobat també amb un clima urbà cada cop més hostil a causa de l'augment del soroll i la contaminació atmosfèrica. Això ha donat lloc a construccions tancades sobre si mateixes, amb obertures cada cop més hermètiques. En el moment en què l'edifici esdevé una capsula hermètica i de pell prima es fa imprescindible un sistema de clima artificial no comunicat amb l'exterior.

Un altre aspecte constructiu a ressaltar, propi del segle xx, ha estat el desenvolupament extraordinari dels cossos volats –terrasses i balconades– en les façanes dels nous edificis. Els edificis pretèrits no presenten cossos volats gaire destacats perquè fins fa 100 anys existien serioses dificultats tècniques per a la seva execució. El cos volat en façana constitueix un regulador climàtic de primer ordre en el clima mediterrani, ja que redueix la insolació dins dels edificis i protegeix la façana de l'efecte de la pluja intensa; a més, pot constituir el suport d'una massa vegetal que també atenua els extrems climàtics. La tendència al tancament i apropiació d'aquests espais domèstics aterassats a les grans ciutats empitjora el clima al carrer, amb la qual cosa es genera una retroalimentació que augmenta altre cop el nombre de terrasses que es tanquen amb galeries de vidre.

B2.7.3. Relació de l'edifici amb el sòl

L'ocupació creixent de més sòl a Catalunya per ubicar-hi noves construccions, especialment les extensives –com ara els centres comercials, els equipaments, els establiments d'oci, les plataformes logístiques i les àrees industrials– ha fet que els sòls de bona qualitat geotècnica comencin a ser escassos. Les noves ubicacions triades per al desenvolupament edificatori es troben situades a prop dels rius i rieres –deltes i planes al·luvials inundables–, en forts pendents a peu de cim –turisme de l'esquí–, a prop del mar –sorrals i maresmes–, etc.; són indrets atractius des d'un punt de vista comercial i paisatgístic, però no es pot banalitzar el lloc on es fonamenta un edifici. Els fonaments d'aquests nous edificis són de caire profund, interactuen amb cursos d'aigua, són més complexos, introdueixen més formigó al subsòl i en modifiquen la compacitat.

En canvi, en els sòls urbans històrics hi ha una forta competència per l'aprofitament intensiu del subsòl urbà. Això és així perquè la superfície dels solars està molt valorada des del punt de vista econòmic, però el seu aprofitament està limitat en alçada, la qual cosa incentiva un creixent aprofitament urbanístic del subsòl, tant com a lloc d'emmagatzematge, d'aparcament o d'ubicació d'instal·lacions segures. En aquests mateixos indrets urbans, la iniciativa pública troba en el subsòl el darrer recurs disponible per a les creixents necessitats d'espai públic (els refugis antiaeris de la Guerra Civil, els sistemes de sanejament i control d'avingudes, el sistema de comunicacions ferroviàries, els aparcaments soterranis, les vies de ronda ràpides, etc.).

Si hom sap que la humitat natural retinguda als primers metres del sòl interacciona fortament amb la humitat atmosfèrica, col·laborant en l'establiment d'un clima més temperat, resulta evident que modificar intensament els primers metres d'aquest sòl amb construccions ha d'afectar finalment el clima. Una altra cosa seria que els edificis reemplaressin el sòl natural en aquesta tasca d'emmagatzematge de la humitat natural.

B2.7.4. Edificis freds o edificis calents

L'arquitectura tradicional mediterrània emprava prioritàriament materials molt conductors d'energia calorífica, formant elements constructius molt gruixuts. Això donava lloc a edificis més frescos que ara a l'estiu i que emmagatzemaven una certa calor, solució molt útil en casos de variacions de temperatura ràpides i curtes, com encara succeeix a la primavera i a la tardor. De cara a l'hivern no presentava cap altre recurs que un favorable assolellament a través de les petites obertures disponibles.

Els edificis que s'estan construint actualment són, aparentment, més lleugers, presenten moltes més superfícies vidriades i cada cop més incorporen materials de més baixa conductivitat tèrmica. Si s'hi afegeix un sistema artificial de calefacció es pot gaudir d'un bon hivern. D'aquesta manera, però, es redueix també la inèrcia tèrmica i a l'estiu augmenta notablement la temperatura a l'interior dels edificis. Si els sistemes artificials de calefacció han estat indiscutibles a la nostra àrea, ara també ho comencen a ser els de refrigeració.

Per evitar caure en aquesta nova dependència energètica, s'hauria de potenciar l'ombra, el corrent d'aire a dins dels edificis, els patis amb aigua, etc. Tanmateix, la cultura de les «vistes» i la pell bronzejada, del soroll urbà, de la gespa i de la pols ambiental juguen en contra del sentit comú, i s'acaben tancant les finestres per engagar l'aire condicionat.

Aquesta publicació parla de canvi climàtic planetari, però el primer clima que està canviant més ràpidament és el de dins dels edificis, i no sempre en la millor direcció. S'han ocupat els «magatzems isotèrmics» dels edificis –que eren les golfes i els soterranis– com a estudis o cambres de mals endreços. Els seus usuaris exigeixen que aquests espais siguin homogenis amb la resta dels locals de la casa des d'un punt de vista climàtic, el que va en detriment del conjunt de l'edifici –que ara no disposa d'aquests espais de

transició i d'estalvi energètic–, ja que s'incrementa el consum d'energia destinada a condicionar climàticament l'interior dels edificis.

En els primers centres comercials i d'oci –nous edificis sorgits de la difusió de la cultura de l'automòbil, on els ciutadans gasten els excedents econòmics procedents de les rentes que genera la industrialització– sorprenia la baixa utilització de la llum natural i la recreació intensiva de clima artificial. Darrerament, cal remarcar ja algunes tendències cap al retorn a l'espai d'oci i comerç obert, en forma de carrer o plaça, més propi de la cultura local i menys malbaratador d'energia no renovable.

Sembla difícil pensar que les tecnologies artificials de clima puguin desaparèixer i tornar enre, però sí que es fa imprescindible repensar el disseny climàtic dels edificis per ubicar-los en el lloc complementari que els correspon i no fer de suplement de les carències d'un bon disseny climàtic dels edificis.

B2.7.5. L'edifici com a biòtop

Els edificis que presenten cambres d'aire en la seva pell –cambra dissenyada i construïda com a sistema passiu de control higrotèrmic de l'edifici– sempre han servit d'allotjament a alguns éssers vius –petits ocells, insectes, rossegadors, etc.– que cerquen un recer privilegiat. En unes condicions climàtiques que puguin ser encara més adverses que les actuals, algunes espècies animals amenaçades poden insistir en cercar el refugi que proporcionen els volums «morts» o inútils dels edificis. Són pocs els animals que es troben dins dels edificis, però, en canvi, hi ha una tradició d'incorporació de la vegetació (en forma d'enfiladisses per la façana, cobertes vegetals o grans jardineres sota les finestres); una presència que fa d'interstici climàtic entre la pell de l'edifici i el clima exterior. La vegetació modifica la convecció de l'aire i la humitat de contacte i augmenta l'ombra sobre el propi edifici, fenòmens comparables al tipus de contacte entre bosc i edifici que resulta favorable per a tots dos.

Cal concloure, doncs, que per limitar les conseqüències del canvi climàtic serà clau que durant els propers anys el sector immobiliari sigui capaç de renovar les seves propostes de disseny i plantejar nous models d'habitat rigorosament actuals, però molt més relacionats amb el medi ambient i els seus potencials.

B2.8. Les qüestions tècniques que afecten la construcció

B2.8.1. Les matèries primeres i els productes de la construcció

La construcció tradicional era un sector amb una tecnologia molt lligada a la disponibilitat local de matèries primeres. El consum de materials en un edifici és molt alt. Si hom té l'oportunitat de llegir la memòria de construcció d'un edifici de fa cent anys, sorprèn com era de limitat el mercat local català: fusta del Pirineu, maons ceràmics de les bòviles del Vallès o del pla de Lleida, calç o guix dels forns del Garraf o el Solsonès, carreus de les pedreres properes i alguna peça metàl·lica, si existia una foneria o farga propera que ja treballés per a la indústria tèxtil o del transport. El transport d'aquests materials fins a l'obra es realitzava a sang, ja que l'alternativa de la navegació o el ferrocarril només era disponible en pocs indrets del país.

Actualment, qualsevol edifici d'habitatges convencional pot incorporar ciment de Tuníssia, acer de l'est d'Europa, maons de La Manxa, guix d'Aragó, granit de Brasil, rajoles d'Itàlia, alumini de Bèlgica, vidre d'Astúries o portes de Sòria. Actualment, els productes de la construcció arriben a les obres des d'arreu del món i en tots els mitjans de transport possibles. Això significa, per exemple, que l'autèntic impacte climàtic de la construcció d'un edifici a Lleida es podria mesurar gairebé arreu del planeta Terra. Els propis arquitectes i constructors han perdut el costum de conèixer i comptar amb els materials locals. Construir és ara un problema logístic i de capacitat de decisió, ja que l'oferta és inabastable.

B2.8.2. Els nous residus: mermes i embalatges que creixen

Si s'observen els productes de la construcció que ara arriben a peu d'obra, tothom es sorprendrà del simple embalatge que presenten si se'ls compara en termes absoluts, per exemple, amb el ram de l'alimentació. Tanmateix, en termes relatius, l'embalatge dels productes de la construcció no ha parat de créixer en els darrers anys. Hom se n'adonaria si comparés l'actualitat amb els anys seixanta, quan totes les matèries primeres de la construcció eren en orri. Això es fa així per protegir els productes durant el transport, perquè els materials ja no es transformen ni manipulen a l'obra, sinó que arriben cada cop més elaborats i acabats. També es fa, en part, per ubicar tota la informació gràfica que actualment identifica i acredita els productes de construcció al mercat europeu (referència, marca comercial, adreça, data de fabricació, segells de qualitat, etc.). Tots aquests embalatges pràcticament no es recuperen ni es retornen, sinó que constitueixen un residu industrial més, que sovint es crema a l'obra o es llença al contenidor.

Cada cop hi ha més mermes de producte, retalls i sobrants que omplen els contenidors i abocadors de les obres. Això es deu a la manca de coordinació dimensional entre els formats dels diversos productes, en part perquè el cost del material ha perdut magnitud relativa respecte al cost de la mà d'obra, en part per les presses amb que es treballa i perquè són cada cop més els materials que s'han de tallar, ja que són massa grans per a l'obra. Tots aquests materials que van a parar als abocadors són, ara per ara, energia fòssil malversada.

Encara avui és difícil reciclar en el sector de l'edificació perquè no hi ha cultura de recollir i separar els materials per la seva naturalesa a peu d'obra. Una cultura de tractament dels residus significa la disponibilitat d'empreses, mitjans, incentius, exigències i actituds que ho facin possible. Catalunya ja ha iniciat aquest camí, però serà llarg de recórrer, ja que necessita de la concurrència de moltes voluntats i un canvi general de valors. Hi ha també una recerca insuficient en les tecnologies adequa-

des per dur a terme el millor aprofitament d'aquests residus, bé reaprofitant-los directament o bé incorporant-los com a matèries primeres.

B2.8.3. La construcció actual no és fàcilment «deconstruïble»

Des del punt de vista funcional, el cicle de vida de les noves construccions és cada cop més curt perquè els edificis caduquen anticipadament, en una societat que evoluciona cada cop més ràpidament. Per això es realitzen constantment obres als edificis (petites obres cada 5 anys, mitjanes obres cada 10 anys i grans obres cada 20 anys) per adaptar-los a les noves necessitats i superar aquesta obsolescència que els persegueix. Darrerament, a més, la societat es mostra reàctia a l'enderroc indiscriminat, perquè sovint constitueixen l'escenari de la nostra memòria emotiva.

La tecnologia de la qual es disposa actualment per realitzar aquestes obres de reforma, ampliació, millora i reparació és encara molt poc precisa. Els edificis encara no es construeixen pensant en com seran «deconstruïts» en el futur, cosa que sí passa amb altres objectes de consum. L'excés «monolitisme» de la construcció actual –tots els materials es troben perfectament solidaris els uns amb els altres i resulta difícil separar-ne un sense fer malbé els que l'envolten– constitueix un problema tècnic a un termini mitjà. De la mateixa manera, aquestes obres d'actualització dels edificis generen molta pols, molt soroll i una gran despesa en temps i energia, per la qual cosa a la llarga el clima se n'acabarà ressentint.

Es comença a emprar el mot «deconstrucció» per indicar aquella tècnica encaminada a desmuntar total o parcialment els edificis de la manera més eficient possible, per tal de reduir, reciclar i aprofitar tots els elements constructius que es retiren, evitant la generació de pols i soroll, així com la despesa de temps i energia associada al procés. Catalunya també presenta una important superfície edificada en mal estat que no es rehabilita ni s'enderroca, sigui per motius d'eficiència tècnica o de gestió. Aquest parc edificat immobilitzat im-

plica la necessitat de construir en d'altres indrets de la nova ciutat. El moviment *okupa*, amb la seva actuació provocadora, adverteix tothom d'aquesta disfunció preocupant. Treure el màxim partit de l'edificació actual és la millor manera de reduir les necessitats de nou sòl.

Des d'un punt de vista tecnològic, els edificis també haurien de ser dissenyats com a contenidors, molt més fàcils de reconvertir en qualsevol moment per a una nova activitat. Potser el moviment funcionalista en arquitectura va impulsar l'aixecament d'edificis massa acabats i adaptats a una realitat que ràpidament s'ha superat.

B2.8.4. L'edifici com a magatzem climàtic

Els edificis també actuen com a magatzems climàtics perquè són capaços d'acumular per un temps alguns dels elements del clima, com ara l'aigua o l'energia tèrmica. Aquesta acumulació es realitza a través dels materials que componen els elements constructius que fan de tancament (la coberta i la façana). Quan les condicions meteorològiques externes canvien ràpidament, es produeix un gradient d'humitat i de temperatura suficients perquè la façana i la coberta retornin la humitat i l'energia tèrmica emmagatzemades al medi. La implantació a les noves façanes i cobertes de materials amb superfícies molt impermeables a l'aigua o bé molt reflectants de l'energia solar, com ara les planxes metàl·liques, redueix notablement aquest paper «emmagatzemador» de l'edificació, perquè actuen com a reflectaris dels meteors climàtics esmentats.

La generalització dels materials de construcció estancs i prims, amb el clar objectiu d'evitar les goteres, fa que l'aigua de la pluja ja no mulli els edificis sinó que s'escorri amb més rapidesa cap a la xarxa pública d'evacuació. De la mateixa manera, l'execució de façanes o cobertes ventilades amb materials prims i lleugers, més propis de l'aeronàutica o de l'automòbil, redueix també la inèrcia del conjunt de l'edifici respecte al clima exterior. D'aquesta manera, l'edifici emmagatzema només la calor que penetra per radiació

a través de les obertures o bé per convecció a través de la ventilació amb l'aire exterior.

Si en un futur no massa llunyà es generalitzen solucions com ara els tancaments de coberta captadors d'aigua –cobertes «cisterna»– o les façanes captadores de radiació solar –plafons fotovoltaics i murs cortina dobles– la situació pot tornar a canviar en una direcció encara difícil de preveure.

B2.8.5. La descomposició tècnica de l'edifici

La internacionalització del mercat de sistemes i productes per a l'edificació fa que en els projectes d'arquitectura no es detallin ni concretin excessivament les tècniques constructives, sinó que s'apunten els trets més significatius de la solució proposada a l'espera de la futura concreció en obra. Els responsables de l'execució material finalment fan valer el seu marge de maniobra i procuren adquirir prioritàriament aquells productes que presenten la millor oferta econòmica en cada moment, sense considerar si això afecta la coherència global. Això dona lloc a una sistemàtica dissolució de la coordinació dimensional en els projectes dels edificis, la qual cosa obliga a generalitzar les tasques de tall i adaptació dimensional, ocasionant pèrdues de temps, diners i qualitat a les obres no avaluades. Aquest fet, en definitiva, també augmenta la ineficiència global del procés i el clima global en surt perjudicat.

Des del punt de vista dels formats, els productes de construcció es poden dividir en amorfs, petits elements, semiproductes i components. Els productes amorfs encara tenen un gran pes a l'obra que es fa a Catalunya, sobretot el ciment i les pintures. L'ús dels petits elements –maons, teules, rajoles, etc.– també es manté molt viu, però els nous formats cada cop són més grans per fer front a les exigències d'augment de la productivitat. El format amb més empenya actualment és el dels semiproductes –plaques de vidre, guix, fusta, acer, etc.–. La seva producció massiva en grans fàbriques que no poden aturar-se n'abara-teix notablement el cost. Tanmateix, s'han de ta-

llar sempre per tal d'adaptar-se a cada obra, generant nombrosos talls i junts. Finalment, els anomenats components –interruptors, sanitaris, cargols, etc.– presenten un cost elevat i només s'apliquen on són imprescindibles.

Tota aquesta gran diversitat de formats i tècniques d'execució afecta la complexitat de la posada en obra. Pel que fa als sistemes d'unió, encara dominen la soldadura i l'encastament, tot i que a poc a poc es van imposant noves tècniques d'unió ràpida –en sec i en fred–, més cares però més fàcilment «deconstruïbles», qualitat que beneficia el reciclatge.

B2.8.6. La introducció de nous paradigmes d'eficiència tecnològica

En general, es pot afirmar que tot el procés d'evolució de les tècniques d'edificació a Catalunya segueix uns vectors d'innovació molt marcats:

- 1) La desaparició dels materials homogenis: qualsevol producte de la construcció actual ja no es troba en estat pur i simple, sinó que és l'amalgama de diversos materials (es parla d'un compost). De la mateixa manera, els elements constructius que es forgen actualment incorporen una gran diversitat de materials en el seu si. Això, d'entrada, millora les seves prestacions i ajusta el cost econòmic de la seva adquisició, però minva la durabilitat del conjunt –que és sempre la del component més feble de tots–.
- 2) Pèrdua del gruix: la racionalització científica de la construcció ha donat lloc a la reducció controlada dels gruixos reals dels productes i elements, fins a assolir el mínim indispensable. Els que encara mantenen el seu gruix aparent és perquè ja incorporen una cambra d'aire en el seu interior.
- 3) Especialització de les funcions: s'ha acabat l'època de les solucions constructives universals. A cada problema concret li correspon una solució específica. Tanmateix, això pro-

voca que a l'hora de fer reparacions es depengui excessivament dels recanvis, en un mercat amb una oferta tan inestable com el de la construcció. Això genera un volum d'obra superior a l'imaginable en el camp de la reforma d'edificis, ja que aquests no han estat pensats per ser reformats. L'edifici que es construeix actualment tampoc no està pensat per ser fàcilment perfectible¹ i millorable.

- 4) La caducitat anticipada per obsolescència: un món que evoluciona culturalment i tecnològica tan ràpid com l'actual accelera també la caducitat dels revestiments dels edificis, que sovint es canvien abans de la seva caducitat funcional. Molts d'aquests revestiments –fusta, pedra, ceràmica, etc.– són propis d'altres èpoques i, per tant, presenten una durabilitat superior al seu període actual d'obsolescència. Això significa que s'acaben retirant abans d'hora, i es genera una nova demanda innecessària.
- 5) Els edificis actuals ja no poden respondre a les expectatives de durabilitat i seguretat il·limitades que se'ls demana, ja que es dissenyen cada cop més atenent a aspectes funcionals i d'eficiència a curt termini que no pas de durabilitat, valor que ha perdut sentit en una societat consumista. En tractar-se d'edificis cada cop més lleugers i amb més densitat energètica interior també són físicament i química menys durables. Sota paràmetres de cost i eficiència a curt termini, en el disseny tècnic dels edificis s'apliquen unes estratègies que constitueixen un malbaratament de mitjans i d'energia a llarg termini. El sector s'aboca a una falta de perspectiva temporal que constitueix una pesada càrrega, la qual també recau en el clima.

1. Perfectible es diu d'aquell bé de consum que permet que el seu usuari pugui modificar-ne i millorar-ne les qualitats al llarg del temps, per tal d'adaptar-lo millor a les necessitats i capacitats econòmiques dels seus usuaris en cada moment.

B2.8.7. Les qüestions del confort i el consum energètic

La mecanització i automatització de les funcions de l'habitatge no s'atura i, per tant, augmenta constantment el consum energètic que porta associat, tant el directe com l'indirecte (com ara els «stand-by» de molts sistemes que consumeixen fins i tot quan no hi ha ningú a casa). A més, l'energia que es consumeix o, simplement, que es dissipa en els edificis, ja no prové majoritàriament del propi lloc, sinó que és transportada des de molt lluny (electricitat, carbó, gas, aigua, etc.).

Actualment, l'habitatge massiu no aprofita les energies del propi lloc –biomassa, aigua subterrània, vent, sol, etc.– sinó que les importa. Curiosament, els territoris que en disposen més fàcilment no són ni els de millor clima ni més fàcilment accessibles, per la qual cosa són sovint els més despoblats.

Tanmateix, els residus no viatgen. Per tant, la calor, els gasos, les cendres i d'altres subproductes dels processos de consum associats al fet d'habitar actualment s'aboquen al mateix indret on es troba l'edifici. En comparació amb la gestió i tractament tecnificats dels recursos i l'energia, la nostra cultura tècnica es troba a les beceroles pel que fa al tractament dels residus (soroll, llum, calor, deixalles, aigües, etc.).

A tot això s'afegeix la pèrdua dels acords temporals i espacials entre els processos de captació i emmagatzematge i els del consum energètic. La societat exigeix disposar a tot arreu i en qualsevol moment de tota l'energia necessària, sense considerar els cicles ambientals que funcionen a cada indret. Atès que la tecnologia i el seu ús actual encara són molt ineficaços, la calor dissipada sovint supera l'energia realment utilitzada, aportant energia extra al sistema climàtic local o general. Es planteja, doncs, un repte de fons: dissenyar i produir edificis per ser usats amb nous cicles de vida més lligats amb els cicles ambientals i, per tant, repensar el calendari de la societat postindustrial, tal com ja es de-

nuncia en altres aspectes de la vida familiar i laboral.

Cal concloure, doncs, que per tal de limitar les conseqüències del canvi climàtic, durant els propers anys serà clau que el sector de la construcció sigui capaç d'impulsar una tecnologia constructiva mediterrània que recuperi el potencial dels materials locals i aixequi edificis clarament diferenciats entre els materials de suport –gran durada i poques modificacions– i els materials fungibles –poca durada i grans modificacions–. Per tal que el consumidor rebi positivament aquesta oferta caldrà centrar-se en la rehabilitació o en promocions que exhibeixin aquests valors, per destacar en el si d'una oferta actual molt homogènia.

Referències bibliogràfiques

- ARBOLÍ, C.; SANDOVAL, A.F. «Urbanismo a la brava». *La Vanguardia* (31 d'agost de 2003).
- BUSQUETS, J. *Barcelona. Evolució urbanística de una capital compacta*. Madrid: Fundació MAPFRE, 1992.
- COCH, H.; SERRA, R. *El disseny energètic a l'arquitectura*. Barcelona: Edicions UPC, 1994 (Quaderns d'arquitectes).
- COL·LEGI D'APARELLADORS I ARQUITECTES TÈCNICS DE CATALUNYA. *Jornades: Construcció i desenvolupament sostenible. Barcelona, 16, 17 i 18 de maig de 1996*. Barcelona: Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Catalunya, 1996.
- Dinàmiques metropolitanes a l'àrea i la regió de Barcelona*. Barcelona: Àrea Metropolitana de Barcelona. Mancomunitat de Municipis, 1995.
- El territori Metropolità de Barcelona. Dades bàsiques, evolució recent i perspectives*. Barcelona: Àrea Metropolitana de Barcelona. Mancomunitat de Municipis, 2003.
- FONT, A.; LLOP, C.; VILANOVA, J.M. *La construcció del territori metropolità. Morfogènesi de la regió urbana de Barcelona*. Barcelona: Àrea Metropolitana de Barcelona. Mancomunitat de Municipis, 1999.
- LINDZEN, R. «El canvi climàtic d'origen antropogènic no és cap amenaça seriosa» (entrevista de Lluís Reales). A: *Medi Ambient. Tecnologia i Cultura*. núm. 32 (setembre de 2002).
- Medi ambient i tecnologia: Guia Ambiental de la UPC*. Barcelona: Edicions UPC, 1998. (Col·lecció Politext, 73).

NEL·LO, O. *Ciutat de ciutats*. Barcelona: Editorial Empúries, 2001.

NEL·LO, O. «La ciutat i el territori. Contra dispersió, intensitat; contra segregació, ciutat». *FRC*, núm. 6 (juny 2003).

PIÉ, R. «Pautes per a l'ordenació del litoral. Perspectives

del medi ambient als municipis del litoral». A: *Estudis i Monografies*. Barcelona: Diputació de Barcelona, 1993.

REINES, Pedro. «Parametrización de la utilización del suelo en Cataluña». Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. Enginyeria Superior de Camins, Canals i Ports. 1994. (Tesina d'especialització).

B3. Transport

Francesc Robusté

Director de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona
Departament d'Infraestructura del Transport i del Territori
Universitat Politècnica de Catalunya

Carles Casas Esplugas

Enginyer de Camins, Canals i Ports de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

Francesc Robusté (Barcelona, 1959) és doctor Enginyer de Camins, Canals i Ports per la Universitat Politècnica de Catalunya (any 1989), *Ph.D.* en Enginyeria (1988), *Master of Science* en Investigació Operativa (1987) i *Master of Engineering* en Transport (1986) per la Universitat de Califòrnia a Berkeley. Actualment és catedràtic de Transport de la UPC, director de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona, director del Laboratori d'Anàlisi i Modelització del Transport (LAMOT) de la UPC, sots-director i secretari del Consell de Govern del Centre d'Innovació del Transport (CENIT), director de la Càtedra Abertis de gestió d'infraestructures del transport i membre del Consell Editorial de la revista internacional *Transportation Research* (1992-2000).

És autor de 40 llibres i capítols de llibre, de 30 articles en revistes, de 60 ponències en congressos internacionals i de 60 ponències en congressos estatals, així com de 13 manuals tècnics, que sumen en total més de 200 elements de producció científica. Té aprovats els sexennis de productivitat investigadora 1987-92 i 1993-98. Ha dirigit 8 tesis doctorals i 50 tesines de graduació. Ha rebut diversos premis per articles (1988), en concursos internacionals d'idees (1993), a la innovació tecnològica (1994) i per la direcció de tesis doctorals (1995) i tesines de graduació (1999). És membre avaluador de l'agència de qualitat ANECA i representant espanyol a l'OCDE-CEMT. És director i autor de més de 150 projectes professionals de transferència de tecnologia, recerca i consultoria en les àrees de logística, transport públic, aeroports i gestió del trànsit.

Carles Casas Esplugas és Enginyer de Camins Canals i Ports per la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Realitzà part dels seus estudis d'enginyeria a l'*École Nationale des Ponts et Chaussées* (ENPC). S'incorporà al CENIT, Centre d'Innovació del Transport, com a investigador l'any 2001 després d'haver treballat a l'SNCF i al Departament de Política Territorial i Obres Públiques de la Generalitat de Catalunya.

Ha obtingut el Diploma d'Estudis Avançats en Enginyeria i Infraestructura del Transport, i actualment es troba en la darrera fase de realització de la seva tesi doctoral en el programa de doctorat en Enginyeria Civil de la UPC. Ha publicat diversos articles en congressos nacionals i internacionals, i ha completat la seva formació amb diversos cursos de postgrau en els àmbits del transport ferroviari, l'impacte sonor de les infraestructures, la modelització del transport i el transport aeri.

Síntesi	311
B3.1. Introducció	313
B3.2. Aspectes ambientals i energètics del transport	313
B3.3. Tipus i usos de l'energia	314
B3.3.1. Emissions contaminants	
B3.3.2. Iniciatives internacionals	
B3.3.3. Innovació tecnològica i fonts d'energia alternatives	
B3.3.3.1. L'energia elèctrica	
B3.3.3.2. Gas natural comprimit (GNC)	
B3.3.3.3. Biocarburants	
B3.3.3.4. L'ús de biocarburants en motors dièsel	
B3.3.3.5. Piles de combustible (H ₂)	
B3.3.3.6. Gas natural líquat (GNL)	
B3.3.3.7. Aire comprimit	
B3.3.3.8. Energia electrosolar	
B3.3.4. Aspectes legals	
B3.4. El transport a Catalunya	328
B3.4.1. Consum	
B3.4.2. El transport metropolità	
B3.4.3. El transport local: la ciutat de Barcelona	
B3.4.3.1. La mobilitat a Barcelona	
B3.4.3.2. Desplaçaments a peu i en bici	

B3.4.3.3. El transport públic	
B3.4.3.4. El vehicle privat	
B3.5. La mobilitat sostenible	334
Referències bibliogràfiques	337

Síntesi

Els efectes totals en el canvi climàtic generats pel transport venen donats pels vehicles-km necessaris per satisfer una demanda de mobilitat dins una regió espacial i les seves emissions. A banda de la distància i del nombre de vehicles, els efectes també depenen de l'ocupació del vehicle, de l'espectre tecnològic i de l'eficiència energètica del vehicle, així com dels efectes unitaris sobre el canvi climàtic que provoquen.

Malgrat l'evolució positiva de l'eficiència energètica dels vehicles i de la reducció dels efectes unitaris negatius en termes de canvi climàtic, malauradament les distàncies han augmentat (*commuting*), les ocupacions mitjanes han disminuït i la mobilitat global augmenta un 50% per sobre de l'increment del PIB. La contribució mitjana dels modes de transport a les emissions de CO₂ a la UE és del 55,4% pel que fa al vehicle privat, del 22,7% per als camions, del 10,9% per l'aviació, del 2,8% per als trens de viatgers, de l'1,6% per als autobusos i autocars i de l'1,1% per als trens de mercaderies.

En el context català, el 74% de les mercaderies es transporten per carretera, un 4% per ferrocarril i un 22% per via marítima (participació en augment en forma de *short sea shipping*). A Catalunya, el consum energètic del transport ha augmentat al llarg de la darrera dècada, fins a convertir-se en el principal sector consumidor (38,5%), amb un increment del 86,4% en el període 1980-1997 (en el mateix període la indústria va augmentar el 5,8% el seu consum, mentre que el sector domèstic i de serveis ho va fer en un 50,5%).

La mateixa Unió Europea preveu que tant els trànsits de mercaderies (en tones/km) com el de viatgers (en viatgers/km) creixin sostingudament durant aquesta dècada. De fet, tant el sector domèstic com el de subministrament d'elec-

tricitat, la indústria, l'agricultura, els serveis i els residus s'estabilitzen o bé redueixen les seves emissions de gasos amb efecte d'hivernacle en el període 1990-2010, a excepció del transport, que puja un 35%.

Només la introducció massiva de les piles d'hidrogen es presenta com una alternativa energètica avantatjosa en un termini mitjà (un decenni). El canvi tecnològic en els vehicles està lligat a la seva amortització: una nova tecnologia s'introduiria amb una corba de penetració de mercat que assoliria la seva quota natural d'equilibri (definida pels pros i contres quant a confort i cost de la nova tecnologia) al llarg dels quinze anys de la vida útil d'un turisme.

En un termini curt i mitjà (horitzó 2020) només és factible contemplar l'escenari d'estancament de les emissions que provoquen el canvi climàtic: si es produeix un canvi d'energia cap a les piles d'hidrogen, es podrà acomodar més mobilitat amb les mateixes emissions. Si aquest canvi tecnològic és més lent, segurament s'implantaran mesures d'augment d'ocupació, tarifació, etc. que desvincularan els efectes del canvi climàtic a la proporcionalitat d'augment dels vehicles/km de la mobilitat.

En el cas de les mercaderies, les noves pràctiques logístiques del *just-in-time*, *zero stock*, lliuraments en finestres temporals, etc., valoren la qualitat del servei per sobre dels costos del transport. De fet, moltes vegades s'ofereix un transport gratuït com a eina comercial. Les centrals de mercaderies (CIM), en un àmbit regional o metropolitana, i les plataformes logístiques, en un àmbit urbà, tenen efectes favorables per a la societat i àdhuc per als usuaris.

En l'àmbit de les mercaderies, els escenaris de millora de la situació en l'horitzó 2020 tampoc

són gaire optimistes malgrat els recents passos vers la regulació del transport interurbà de mercaderies per carretera (cànon per ús de la carretera) i de l'urbà (control de la càrrega i descàrrega amb temps màxim d'estacionament). A més, també cal tenir cautela respecte als resultats pràctics que l'actual acció afirmativa envers els modes ferroviaris pugui tenir per al transport de mercaderies: malgrat que la mesura és políticament correcta, no és obvi que el transvasament modal que es pugui aconseguir de forma natural sigui rendible socialment àdhuc emprant una comptabilitat ecològica.

En síntesi, el transport públic col·lectiu de qualitat es planteja com a salvaguarda estratègica de la sostenibilitat i de l'eco-mobilitat, malgrat que els modes de transport «sostenibles» amb prou feines mantindran la seva participació actual. Els plans d'infraestructures (carreteres, ferrocarrils, ports, aeroports, CIM, Pla d'Infraestructures de Transport del Ministerio de Fomento, Pla Director d'Infraestructures de Transport Col·lectiu de l'ATM, etc.), les millores tecnològiques (menys emissions i emissions amb efectes més reduïts en relació amb el canvi climàtic) i els canvis d'energia (piles d'hidrogen) proporcionaran oxigen, però no significaran canvis radicals en els efectes creixents del transport en el canvi climàtic d'origen antròpic.

De no imposar-se mesures radicals (tarifàries, de limitació d'ús de les infraestructures, sobre la generació i atracció de la mobilitat, sobre la distribució espacial dels viatges o sobre les preferències naturals de modes o de rutes, el que implicaria canviar radicalment els costos generalitzats del transport i la seva percepció), les inversions planificades i en execució no faran més que absorbir l'escreix de l'increment de la mobilitat, amb un efecte net encara creixent.

La majoria de les grans inversions en sistemes ferroviaris o tindran poca demanda (TAV, sistemes guiats lleugers al camp de Tarragona) o alleugeraran problemes de congestió (solapament d'operacions de viatgers amb mercaderies) o bé presenten efectes redistributius espacials i efectes xarxa que consolida demanda del propi sistema de transport col·lectiu, amb limitats efectes de canvi modal (L9 de metro).

En l'escenari actual, i a curt termini, es pot afirmar que, malauradament, els compromisos de Kyoto sobre emissions del sector transport (darrerament s'estan prenent decisions polítiques per ajustar les emissions de la indústria), més voluntaristes que realistes, no són viables en aquesta dècada.

B3.1. Introducció

Un sistema de transport eficient i flexible és essencial per al funcionament correcte de l'economia i per al manteniment d'una bona qualitat de vida. Tanmateix, el sistema de transport actual presenta amenaces significatives i creixents envers el medi ambient i la salut humana i, fins i tot, afecta negativament els seus propis objectius. Com diu l'expressió, «massa tràfic mata el trànsit».

A l'Europa occidental, tant el transport de mercaderies com el de viatgers s'han més que doblat des de l'any 1970. Els increments més importants s'han produït en el transport per carretera i en l'aviació. Aquesta tendència creixent, que continua, juntament amb la constatació que el sector del transport és un dels principals emissors de gasos amb efecte d'hivernacle (bàsicament CO₂) com a conseqüència, principalment, de l'ús de combustibles fòssils, ha provocat una reacció tant per part de la societat com de les institucions. Així, els darrers anys s'han impulsat mesures i promogut iniciatives amb l'objectiu de disminuir l'impacte ambiental i social del transport, tant de viatgers com de mercaderies.

En aquesta línia s'han definit els principis de la *mobilitat sostenible*, que en essència tracten de promoure una mobilitat que proporcioni accés a béns i serveis de forma eficient per a tots els habitants, que protegeixi el medi ambient, el patrimoni cultural i l'ecosistema de les generacions

actuals, i que no comprometi les possibilitats de les generacions futures de gaudir, com a mínim, de la mateixa qualitat de vida que ha tingut la generació present (incloent-hi el medi ambient i el patrimoni cultural).

Així, les polítiques de transport reconeixen cada vegada més la necessitat d'acotar el creixement d'aquest sector i d'incrementar les quotes de mercat d'alguns dels mitjans de transport més respectuosos amb el seu entorn. Una tarificació justa i eficient, una selecció acurada de les inversions, així com la planificació del territori, són algunes de les eines que poden ajudar a assolir aquests objectius.

B3.2. Aspectes ambientals i energètics del transport

El transport és un dels sectors amb més creixement a escala mundial. En el conjunt de la Unió Europea, el transport de mercaderies es va incrementar en un 33% durant el període 1991-99 (cal destacar que el transport de mercaderies per carretera va experimentar un augment del 44%). En el mateix període, el total del transport de viatgers a la Unió Europea (en cotxe, autobusos i autocars, ferrocarril i avió, tant en vols nacionals com internacionals) es va incrementar en un 19%, bàsicament a causa d'un increment del 15% en el transport en cotxe i d'un 97% de creixement en l'ús de l'avió. Les figures B3.1 i B3.2 mostren, gràficament, aquesta evolució.

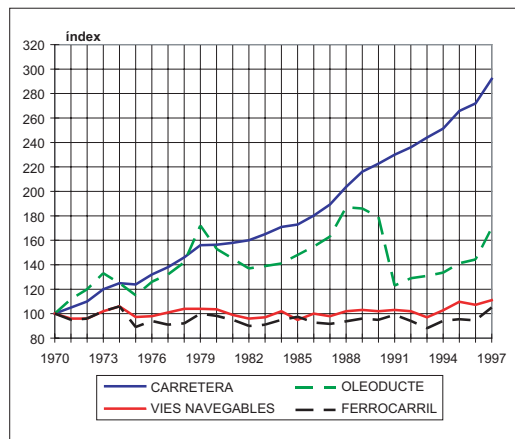


Figura B3.1. Evolució del transport de mercaderies a la Unió Europea en el període 1970-1998 (en t/km).
Font: Unió Europea.

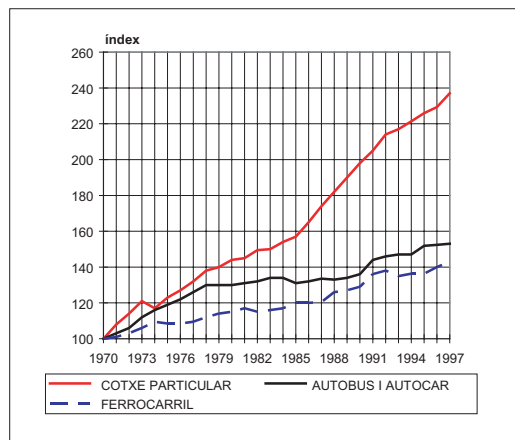


Figura B3.2. Evolució del transport de passatgers a la Unió Europea (en passatgers/km).
Font: Unió Europea.

Les previsions de la Unió Europea per al període 1998-2010 indiquen un increment d'un 38% en el transport de mercaderies i d'un 24% en el de viatgers a l'Europa occidental. Aquests increments expliquen que el sector del transport sigui el que més està creixent com a consumidor d'energia i productor de gasos amb efecte d'hivernacle a la Unió Europea. Les millores tecnològiques i en els carburants han comportat descensos significatius en l'emissió de certs contaminants. Tot i això, la qualitat de l'aire a la majoria de ciutats europees és, encara, ben pobre.

A l'hora de parlar de transport i de mobilitat cal distingir diversos àmbits, modes i tipus de transport. *Àmbits* fa referència a urbà, metropolitana, interurbà, etc. *Modes de transport* significa: carretera, ferrocarril, transport marítim, transport aeri i transport no motoritzat (vianants i bicicletes). Finalment, quan es parla de *tipus de transport* es fa referència al transport privat i al transport públic. En àmbit urbà i metropolitana, aquest darrer es separa entre transport públic col·lectiu (autobús, metro, tramvia, ferrocarril de rodalies) i transport públic individual (taxi).

La importància de la diferenciació entre modes queda palesa a la taula B3.1, que mostra l'estimació de les emissions específiques de CO₂ a la Unió Europea.

B3.3. Tipus i usos de l'energia

A Europa occidental, el transport és el segon sector en consum d'energia, essent responsable d'un 35% del total de l'energia consumida l'any 1999¹ i, a causa de la seva quasi total dependència dels combustibles fòssils, també és un dels principals sectors en emissions de CO₂.

L'energia consumida pel transport experimenta un creixement aproximat d'un 2,2% anual i l'any 1999 va assolir els 350 milions de tones de petroli equivalent. En conseqüència, les emissions de CO₂ atribuïbles al transport també han crescut, i han allunyat la Unió Europea del compliment dels compromisos del Protocol de Kyoto.

Tot i que l'increment del tràfic per carretera és una de les causes principals de l'augment en el consum d'energia (figura B3.4), també són destacables els augments en els altres modes de transport i, especialment, en l'aviació (figura B3.5). A la Unió Europea, l'energia consumida pel transport aeri va créixer més d'un 50% entre 1990 i 1999. Així, l'avió és el mitjà de transport

1. Aquest càlcul inclou l'energia consumida per transport per canonada i marítim (si no s'hi incloguessin el percentatge seria del 32%).

que presenta un creixement més important en el consum d'energia, amb un 8% anual.

La despesa energètica també ha crescut de forma significativa en el transport marítim, però el seu ritme de creixement s'ha desaccelerat des de 1997. L'ús de l'energia en el ferrocarril també ha anat augmentant gradualment (un 14% en el període 1990-99).

B3.3.1. Emissions contaminants

Els principals impactes ambientals directes del transport són la contaminació atmosfèrica i la contaminació acústica (es calcula que el transport pot arribar a ser el causant del 80% del soroll ambiental en zones urbanes.) La influència del transport en el canvi climàtic ve donada per la quantitat i els tipus de gasos que emet a l'atmosfera. A continuació es detallen els diferents aspectes de la contaminació atmosfèrica provocada pel transport.

La combustió d'hidrocarburs dels combustibles utilitzats, bàsicament gasolina i gasoil, amb l'oxigen i nitrogen de l'aire, provoquen l'emissió de gasos contaminants i partícules en suspensió (figura B3.6). Els òxids de nitrogen (NO_x), el monòxid de carboni (CO), els compostos orgànics volàtils (COV), el diòxid de sofre (SO₂) i les partícules sòlides en suspensió (PST) són els principals contaminants d'efecte local i, per tant, els principals responsables de la contaminació atmosfèrica a les ciutats. El diòxid de carboni (CO₂), el metà (CH₄) i l'òxid nitrós (N₂O) són els principals responsables de l'efecte d'hivernacle i tenen, per tant, una repercussió a escala global (figures B3.7 i B3.8).

El **diòxid de carboni (CO₂)** és el gas que, per la seva concentració atmosfèrica, té una contribució més important a l'efecte d'hivernacle, que fa que percentualment contribueixi en un 55% al canvi climàtic. En el transport, es genera si la combustió dels hidrocarburs és completa, així com per oxidació del CO o dels COV si la combustió és incompleta.

Transport de viatgers	Grams de CO ₂ /viatger-km
Cotxes particulars	125
Autocars	45
Transport ferroviari	65
Transport aeri	200
Transport de mercaderies	Grams de CO ₂ /tn-km
Transport per carretera	190
Transport ferroviari	30
Navegació interior	30
Transport marítim	2

Taula B3.1. Estimació de les emissions específiques de CO₂ a la Unió Europea (any 1998)

Font: Comissió Europea.

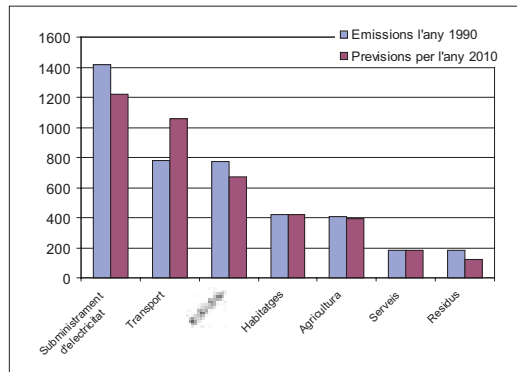


Figura B3.3. Distribució de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a la Unió Europea, per sectors.

Font: Unió Europea.

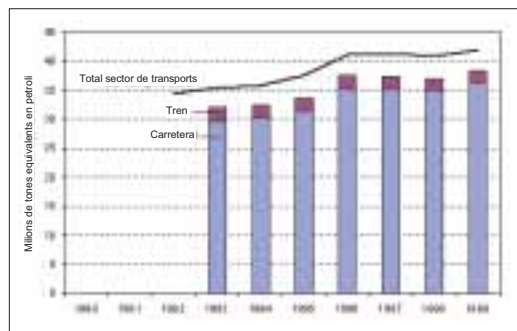


Figura B3.4. Evolució del consum d'energia en el sector del transport a la Unió Europea (període 1993-1999).

Font: elaboració pròpia.

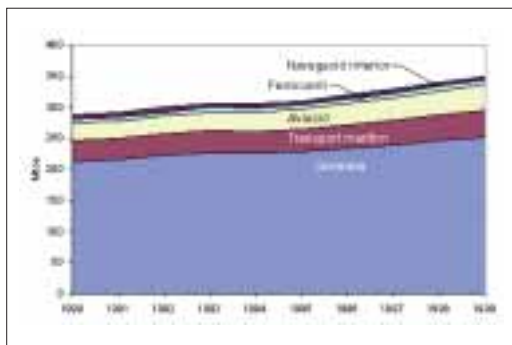


Figura B3.5. Evolució del consum d'energia en els diversos mitjans de transport a la Unió Europea (període 1990-1999).
Font: elaboració pròpia.

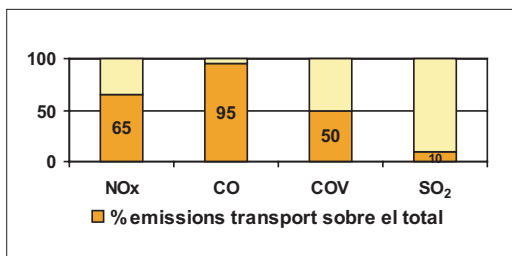


Figura B3.6. Aportació del transport a les emissions en medi urbà.
Font: MOPT (1993) i Departament Medi Ambient. Generalitat de Catalunya (2000).

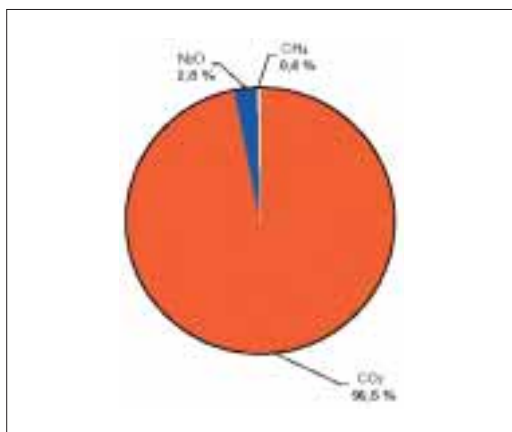


Figura B3.7. Contribució de les emissions del transport a l'efecte d'hivernacle, per gasos (any 2000).
Font: EEA, 2002a.

A la Unió Europea les emissions de CO₂ atribuïbles al transport van créixer un 36% en el període 1985-1995 i aquest darrer any, el 1995, representaven un 25% del total. Tal i com mostra la figura B3.9, la contribució del sector del transport a l'efecte d'hivernacle és, precisament, a través d'aquest gas, com ho indica el fet que l'any 1990 el transport ja era responsable d'entre un 85 i un 90% de les emissions d'aquest gas (un 50-55% procedent dels cotxes i el 35-40% restant del transport de mercaderies).

El metà (CH₄) també contribueix a l'efecte d'hivernacle, però la reducció de les seves emissions és més fàcil ja que el seu temps de residència a l'atmosfera és més curt (12 anys) i, a més, pot ser utilitzat com a font d'energia alternativa. El seu potencial d'escalfament global del planeta és de l'ordre de 20-25 (el CO₂ és el gas de referència amb un potencial d'escalfament 1). La contribució del sector transports a les emissions de metà és, però, poc significativa.

L'òxid nítrós (N₂O) és el tercer dels principals gasos causants de l'efecte d'hivernacle. La seva concentració a l'atmosfera és baixa, però té un poder d'escalfament global 230 vegades més gran que el CO₂. Contràriament al que passa amb la majoria de gasos (NOx, CO, COV), els nivells d'emissió de N₂O del gasoil són més alts que els de la gasolina.

Els hidrofluocarbons (HCFC), perfluorocarbons (PFC) i l'hexafluorur de sofre (SF₆) també tenen una contribució al canvi climàtic, però la seva aportació és molt menys significativa i, a més, el seu origen és bàsicament industrial.

B3.3.2. Iniciatives internacionals

A la Conferència de les Nacions Unides sobre el Medi Humà, celebrada a la ciutat d'Estocolm l'any 1972, es plantejà per primer cop la necessitat d'un desenvolupament que fos respectuós amb el medi ambient, i s'adoptà, entre d'altres, el compromís de prendre mesures per reduir les emissions de gasos contaminants a l'atmosfera

en tots els sectors econòmics, inclòs el transport. Des d'aleshores la qüestió ambiental ha anat adquirint una importància creixent i ha estat objecte de moltes cimeres d'àmbit internacional. Entre totes elles, i pel seu especial interès pel que fa a la lluita contra el canvi climàtic d'origen antròpic, a continuació es destaquen les següents: la *Conferència Mundial sobre Medi Ambient i Desenvolupament* (celebrada a Rio de Janeiro l'any 1992), la *3a Conferència de les Parts del Conveni Marc de les Nacions Unides pel Canvi Climàtic* (celebrada a Kyoto l'any 1997) i la *4a Conferència de les Parts* (celebrada a Buenos Aires l'any 1998).

A la Conferència de les Nacions Unides per al Medi Ambient i el Desenvolupament de Rio de Janeiro, més coneguda com a *Cimera de Rio* o *Cimera de la Terra*, es van aprovar, entre altres, dos documents molt importants: l'*Agenda 21* i el *Conveni Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic*.

L'*Agenda 21* comprèn un pla d'acció per avançar vers un model de desenvolupament sostenible a nivell social, econòmic i ambiental, i conté les eines perquè es pugui aplicar a nivell estatal i local. Per la seva banda, el *Conveni Marc de les Na-*



Figura B3.8. Emissions totals de gasos amb efecte d'hivernacle per part del transport a la Unió Europea (període 1990-2000). Font: EEA, 2002a.

cions Unides sobre el Canvi Climàtic, que entrà en vigor el 21 de març de 1994, reconeix per primer cop l'existència d'un canvi climàtic a tot el planeta, atribuïble en bona part a les emissions dels gasos amb efecte d'hivernacle a l'atmosfera, i admet unes responsabilitats comunes –però diferenciades– de tots els estats del món. Segons aquest darrer principi, els països industrialitzats són els principals causants del canvi climàtic i, per tant, han d'assumir el pes de la reducció d'emissions i col·laborar amb els països en vies de desenvolupament perquè creixin en un marc de desenvolupament sostenible.

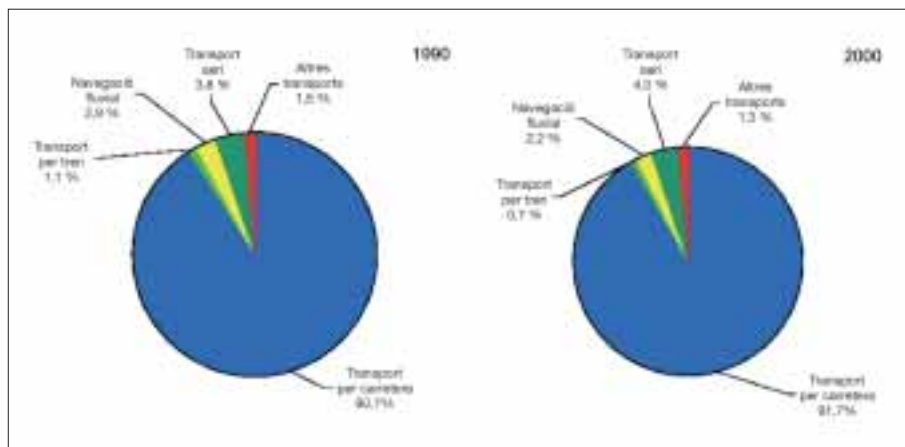


Figura B3.9. Emissions de CO₂ procedents del transport a la Unió Europea, per modes de transport (any 1990 i 2000). Font: EEA, 2002a.

Estat	% sobre les emissions mundials de CO ₂
Estats Units	23,7
Unió Europea	14,2
Xina	13,6
Rússia	7,0
Japó	5,2
Canadà	3,6
TOTAL	67,3%

Taula B3.2. Principals estats emissors de CO₂ (any 1995)
Font: Baldasano (1998)

A la 3a Conferència de les Parts del Conveni Marc de les Nacions Unides pel Canvi Climàtic, celebrada a Kyoto l'any 1997, els països industrialitzats van aprovar, per primera vegada a la història, uns objectius de reducció d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle jurídicament vinculants.

El protocol de Kyoto, aprovat l'11 de desembre de 1997, contempla, pel que fa als països industrialitzats, una reducció del 5,2% de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle en el període 2008-2012 (respecte les emissions de l'any 1990, que és considerat l'any de referència). No obstant això, s'estableixen quotes per estats o blocs d'estats. Així, per exemple, a la Unió Europea (segon emissor de gasos amb efecte d'hivernacle a escala mundial) li correspon una reducció global del 8%. En el marc d'aquest objectiu de reducció a escala europea, alguns dels estats membres de la Unió Europea tenen permís per incrementar les seves emissions. És el cas de l'Estat espanyol, a qui es permet un augment del 15% respecte a les emissions del 1990 tot i experimentar un increment d'un 9,3% de les seves emissions de CO₂ en el període 1990-1996.

La taula B3.3 mostra l'evolució dels principals emissors mundials i de l'Estat espanyol en el període 1990-1996.

Segons apunta l'informe *Gasos amb efecte d'hivernacle i canvi climàtic. Medi Ambient a la Unió Europea en el canvi de segle* (Agència Europea del Medi Ambient, 1999), però, es preveu que les emissions totals de gasos amb efecte d'hivernacle de la Unió Europea s'incrementin en un 6% respecte els nivells de 1990 de cara a l'any 2010. D'acord amb aquest mateix informe, el transport és el principal responsable d'aquest increment, amb un augment del 22% de les seves emissions de CO₂ entre el 1990 i el 2000. La Comissió Europea s'ha fixat com a objectiu la reducció a la meitat del creixement de les emissions de CO₂ del transport per a l'any 2010, del 3,7% anual de creixement actual, a l'1,8%.

A Catalunya, cal fer un èmfasi especial en el cas de la ciutat de Barcelona, que ha participat en diferents iniciatives internacionals d'àmbit local en el marc del desenvolupament sostenible, les més significatives de les quals són la *Carta d'Aalborg* (1994), el *Pla d'Acció de Lisboa* (1996) i la *Declaració de Hannover* (2000). En els paràgrafs següents es tractaran les implicacions que han suposat cada una d'aquestes iniciatives en matèria de canvi climàtic d'origen antròpic.

L'any 1994, Barcelona va signar la *Carta de ciutats i viles europees cap a la sostenibilitat*, també coneguda com a *Carta d'Aalborg*, que recull el compromís del món local amb el desenvolupament sostenible i l'aplicació de l'Agenda 21 Local a través de plans d'acció locals de sostenibilitat.

Pel que fa a la mobilitat urbana, la Carta d'Aalborg planteja com a objectius reduir la mobilitat obligada i aturar la promoció i el suport de l'ús innecessari de vehicles motoritzats, donar prioritat als modes ecològicament raonables (caminar, bicicleta, transport públic) i promoure la intermodalitat en la planificació del transport. També fa referència a la responsabilitat sobre el clima global i destaca la necessitat de prendre mesures per reduir les emissions dels gasos causants de l'efecte d'hivernacle.

L'any 1996 Barcelona va coorganitzar la 2a Conferència Europea de Ciutats Sostenibles, a Lisboa, on els participants van aprovar un document titulat *Del paper a la pràctica*, un pla d'acció basat en les experiències locals comunicades i discutides a la conferència, que prenia en consideració els principis i recomanacions establerts a la Carta d'Aalborg i que abordava sis punts: la preparació dels governs locals per al procés de l'Agenda 21 Local, l'establiment d'estratègies per involucrar la comunitat, l'enfocament i la planificació de l'Agenda 21 Local, les eines de gestió de sostenibilitat, la conscienciació i educació i, finalment, la col·laboració i cooperació entre autoritats.

La *Declaració de Hannover dels principals representants municipals d'Europa per al segle XXI*, aprovada l'any 2000, considera que la gestió de l'energia i dels transports a escala local ha de ser una de les àrees clau de la gestió urbana cap a la sostenibilitat i fa una crida als governs estatals perquè concedeixin ajudes a les autoritats locals en els àmbits de desenvolupament urbà i de transport que compleixin criteris de sostenibilitat. Admet però, que malgrat els esforços, la majoria de tendències ambientals globals tenen el seu origen en la contaminació atmosfèrica, el soroll i les congestions de trànsit de les ciutats.

El pla energètic de la ciutat de Barcelona representa, de fet, un pas més en l'elaboració de l'Agenda 21 de la ciutat i cal emmarcar-lo, per tant, dins dels compromisos internacionals de la ciutat per millorar l'eficiència energètica i aconseguir així, un impacte ambiental menor.

B3.3.3. Innovació tecnològica i fonts d'energia alternatives

La diversificació energètica en el sector del transport és molt reduïda. A més, com que els combustibles líquids són menys eficients energèticament i més contaminants que altres energies alternatives, cal plantejar l'ús d'aquestes energies ja no a llarg termini, sinó en un futur immediat.

Estat	Any 1990	Any 1996	Evolució (%)
Estats Units d'Amèrica	4.873	5.324	+9,25
Xina	2.398	3.006	+32,6
Rússia	2.000	1.547	-24,2
Japó	1.061	1.150	+10,9
Alemanya	981	884	-7,8
Estat espanyol	215	247	+9,3

Taula B3.3. Evolució de les emissions dels principals productors de CO₂ en el període 1990-1996 (en milions de tones).

Font: Departament de Medi Ambient, Generalitat de Catalunya (2000).

La taula B3.4 mostra, a partir de les estimacions fetes per a l'any 1995, que els cotxes eren responsables de pràcticament un 50% de les emissions de CO₂ atribuïbles al sector del transport a la Unió Europea, i els camions d'un altre 30% (no cal oblidar, però, l'elevada participació del sector aeri). Les millores en l'eficiència dels combustibles centrades en aquests dos modes són les que probablement tindran una incidència més elevada en la reducció global de diòxid de carboni.

L'electricitat, el gas natural comprimit (GNC) i els biocombustibles són energies alternatives contrastades i aplicables a curt termini. La pila de combustible (H₂) i el gas natural líquid (GNL) també han estat objecte de diverses experiències i són factibles, si bé la seva aplicació no sembla tan immediata. L'aire comprimit i l'energia electrosolar, finalment, es poden considerar com a projectes a més llarg termini.

No és l'objectiu d'aquest estudi entrar a descriure en profunditat les característiques tècniques d'aquestes energies, tot i que es fa indispensable introduir-ne les principals propietats i les experiències desenvolupades a Catalunya i, especialment, a Barcelona.

A continuació es descriuen la situació i les experiències en els diferents camps, segons la font

Mode de Transport	Mt CO ₂	% Total CO ₂
Cotxes – benzina	324	40,5
Cotxes – gasoil	66	8,3
Cotxes – altres	7	0,9
Autobusos	28	3,5
Motos	6	0,8
Camions – gasoil	230	28,7
Camions – altres	13	1,7
Trens	8	1,1
Aviació*	96	12,0
Navegació fluvial	20	2,6
Total	800	100,0%

* Inclou tant els vols nacionals com internacionals

Taula B3.4. Emissions de CO₂ per modes de transport (any 1995)
Font: PRIMES.

primària d'energia emprada per a la realització del transport:

- Energia elèctrica
- Gas Natural Comprimat (GNC)
- Biocarburants
- Piles de combustible
- Gas Natural Liquefiet (GNL)
- Aire comprimit
- Energia electrosolar.

B3.3.3.1. L'energia elèctrica

L'interès de l'electricitat com a energia alternativa es centra en el vehicle privat. El seu ús i eficiència en vehicles connectats a la xarxa ja és un fet. Els vehicles elèctrics es poden classificar en:

1) **Vehicles elèctrics purs:** utilitzen sistemes de tracció i d'acumulació d'energia únicament elèctrics. Inclou els *vehicles elèctrics adaptats* i els *electromòbils*. Els primers són vehicles que simplement reemplacen el motor tèrmic per un d'elèctric. Incorporen, per tant, compo-

nents innecessaris pels sistemes elèctrics, però ara redueixen les despeses en els processos de fabricació. Els electromòbils en canvi, són aquells de disseny íntegrament elèctric.

2) **Vehicles híbrids:** combinen sistema tèrmic i elèctric i es plantegen com una opció per millorar les prestacions dels vehicles elèctrics tot conservant, ara, els seus avantatges energètics i ambientals. Es distingeix entre *vehicle híbrid sèrie* i *híbrid paral·lel*. El vehicle híbrid sèrie és de tracció elèctrica, però obté l'energia d'un motor tèrmic i les bateries equilibren les necessitats del motor elèctric amb l'energia proporcionada pel generador. El vehicle híbrid paral·lel, per contra, té dos possibles sistemes de tracció, un motor tèrmic o un motor elèctric, que poden funcionar independentment o de forma complementària.

3) **Els vehicles solars:** transformen la radiació solar en electricitat. Es tracta encara, però, de prototipus.

En qualsevol cas, el vehicle elèctric es caracteritza per 3 elements específics propis: el motor de tracció elèctrica, el sistema d'emmagatzematge energètic (bateries) i els elements de control i regulació electrònics.

Consum i consideracions energètiques

El consum del vehicle elèctric és sensiblement inferior al dels vehicles convencionals. Així, un vehicle elèctric tipus consumeix entre 20 i 25 Kwh/100 Km, el que equival a entre 1,9 i 2,4 litres de gasolina.

A la seva eficiència energètica més elevada hi contribueixen dos aspectes importants: el fet de no consumir energia mentre està aturat i la recuperació d'energia en les frenades (ja que el motor actua com a generador).

Emissions de gasos i consideracions ambientals

Si es tenen en compte tots els processos d'extracció, transport, producció i distribució de l'energia

i les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle que es generen en cada un d'ells, la comparació entre electricitat i petroli (gasolina i gasoil) és clarament favorable a la primera (figura B3.10).

Les bateries també són elements potencialment contaminants, però un bon reciclatge permet reutilitzar el 90% d'una bateria en desús.

Un últim avantatge ambiental dels vehicles elèctrics és el seu funcionament silenciós.

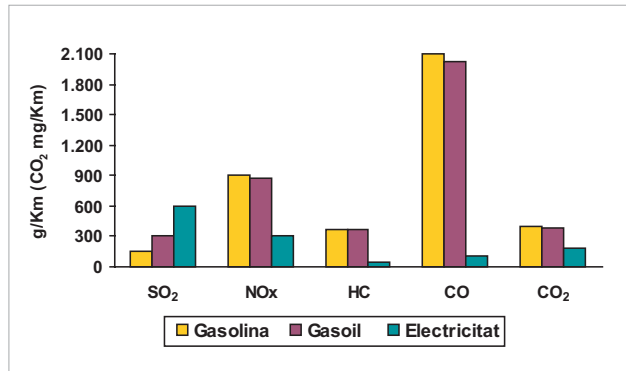


Figura B3.10. Mitjana europea d'emissions/km recorregut.
Font: ICAEN (1999).

Observacions addicionals

- Presenten un desenvolupament tècnic contrastat, però encara hi ha certes limitacions pel que fa a autonomia, potència i velocitat màxima.
- Tenen un consum i un balanç energètic sensiblement inferiors als combustibles líquids.
- No generen emissions locals de gasos amb efecte d'hivernacle i les emissions globals que produeixen en origen (de més fàcil control) estan per sota de la gasolina i gas-oil. A més, el seu funcionament és molt més silenciós.
- Comporten un estalvi econòmic, tant pel que fa al consum com al manteniment del vehicle.
- El desenvolupament de vehicles elèctrics és particularment interessant pensant en vehicles de recorreguts curts i en que no calgui una recàrrega ràpida, com pot ser el cas de determinats vehicles privats en trajectes urbans, incloent flotes captives, serveis municipals, etc.

B3.3.3.2. Gas natural comprimit (GNC)

L'ús de gas natural comprimit és més eficient en motors de cycle Otto, on la seva aplicació només requereix una modificació a l'avenç de l'encesa, mentre que els motors de tipus dièsel requereixen modificacions tècniques importants i l'aplicació del gas natural només és possible si es

manté una certa injecció de gasoil (doble combustible simultani, anomenat *dual fuel*). Igualment, és imprescindible la incorporació de dipòsits especials en el vehicle que suportin pressions de 200 bars, i estacions especials de recàrrega de gas natural.

Consum

L'experiència duta a terme per TMB en autobusos de transport públic a Barcelona (del maig de 1995 al desembre de 1996) dona un consum de gas natural lleugerament superior al de gasoil. Els resultats obtinguts es recullen a la taula B3.5.

Emissions de gasos

El gas natural suposa una reducció de les emissions de partícules, CO, NO_x i HC, i l'eliminació de les emissions de SO₂, ja que no conté sofre. En el cas de l'experiència realitzada per TMB es va comprovar, a més, que estaven sensiblement per sota dels màxims fixats per la legislació europea Euro II (taula B3.6).

Observacions addicionals

- L'ús del GNC requereix la instal·lació d'elements addicionals en el vehicle (dipòsits de gas natural) i noves infraestructures (estacions de recàrrega), si bé tots dos són perfectament assumibles.

		Gas natural	Gasoil
Mesures en pista de proves	Amb càrrega	3,52	2,91
	Sense càrrega	3,33	2,54
Mesures en la línia 27 *		7,04	4,70

* Les mesures en la línia 27 tenen una dispersió important degut als hàbits de conducció, règim de trànsit, etc.

Taula B3.5. Comparació de consum de GNC i gasoil en autobusos (tèrmies/km)

Font: ICAEN (1997).

	CO	NOx	HC	Partícules
GAS NATURAL	2,0	3,6	0,40	0,05
EURO II	4,0	7,0	1,10	0,15
EURO III	2,1	5,0	0,66	0,10

Taula B3.6. Comparació de les emissions de gasos generades pels autobusos propulsats amb GNC i els límits màxims establerts per Euro II (g/kWh)

Font: informació sobre les emissions de gas natural extretes de ICAEN (1997).

- Consum lleugerament superior al de gasoil.
- Reducció de les emissions de gasos i reducció del nivell de soroll (especialment en ralenti).
- Alt grau d'acceptació dels usuaris (en l'experiència de TMB, un 93,7% dels enquestats valoraven positivament l'ús de gas natural)
- Facilitat de transport en gasoductes i procés simple abans de la seva utilització, i per tant, econòmicament competitiu amb els combustibles líquids.

B3.3.3.3. Biocarburants

Els biocarburants són combustibles líquids destil·lats a partir de productes agrícoles. Se'n distingeixen 2 tipus: els alcohols i els olis vegetals.

En el primer grup s'inclouen l'alcohol etílic i l'èter terciari butílic-etílic (ETBE), bioetanols que

es poden usar en motors de cicle Otto (directament o bé com a additius de la gasolina). A l'altre costat hi ha els olis sense refinar i l'èster metílic o etílic obtinguts químicament a partir dels olis vegetals, aptes per a l'ús en motors dièsel, directament o com additius del gasoil.

Les experiències amb biocarburants a Europa i a Catalunya s'han centrat en els esters metílics, per les seves millors característiques per a ser utilitzats en motors de combustió (no calen modificacions mecàniques del motor dièsel) i perquè ja existeix una xarxa de producció i distribució.

Les figures B3.11 i B3.12 representen esquemàticament els processos d'obtenció i utilització dels dos grups de biocarburants.

B3.3.3.4. L'ús de biocarburants en motors dièsel

Consums i consideracions energètiques

El consum de biocarburant augmenta lleugerament respecte al de gasoil. Els resultats de les experiències amb biocarburants a Catalunya situen les variacions més importants entre un 3 i un 10% (taula B3.7).

A més, el balanç energètic de la producció d'èster metílic és positiu, ja que l'energia continguda en el combustible supera la que és necessària utilitzar en el seu procés d'obtenció.

Emissions de gasos i consideracions ambientals

Les emissions de CO₂ generades pel procés de combustió de l'èster metílic són similars a les del gasoil (taula B3.8). El principal avantatge del biocarburant és, però, que el CO₂ generat es recicla mitjançant la fotosíntesi en el creixement de plantes necessàries per a la seva producció i, per tant, les emissions a l'atmosfera són mínimes (figura B3.13).

Els biocarburants redueixen les emissions de gasos produïdes per la combustió en motors diè-

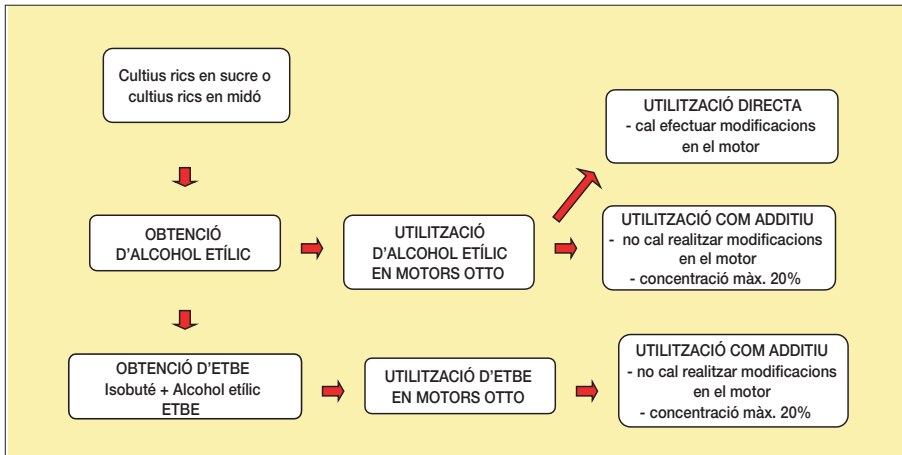


Figura B3.11. Obtenció i utilització dels bioetanols.
Font: ICAEN (1994).

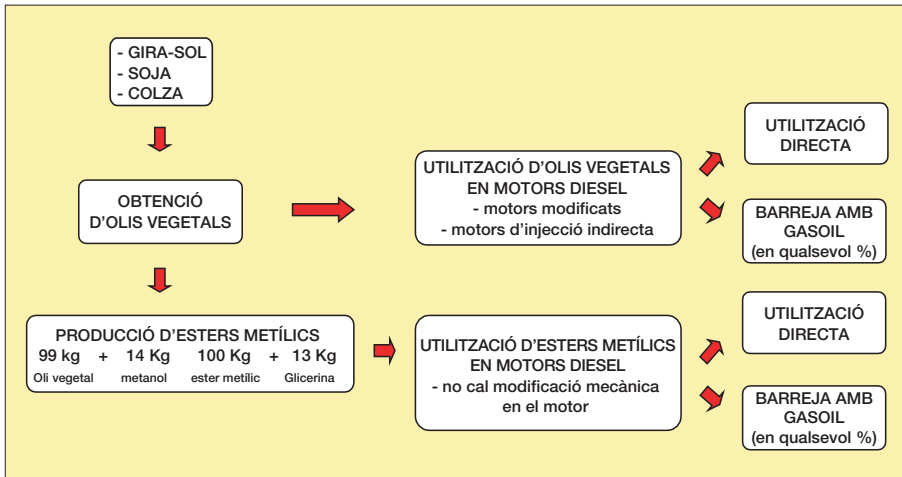


Figura B3.12. Obtenció i utilització dels carburants derivats d'olis vegetals.
Font: ICAEN (1994).

Localitats	Vehicles utilitzats	Consum de combustible (respecte el gasoil)
Mataró	2 autobusos de transport públic	+ 2,5%
Masnou	2 vehicles de policia 5 vehicles de neteja	+ 3%
Vic	1 autobús de transport públic	Sense variació
Barcelona	2 autobusos de transport de minusvàlids	+ 10%

Taula B3.7. Experiències amb biocarburants a Catalunya (fins l'any 1994)
Font: ICAEN (1994).

CO ₂	Ester metílic	Gasoil
Emissions combustió	2.482	2.908
Balanç fotosíntesi-consum	-2.123	
TOTAL	517	2.908

Taula B3.8. Emissions de CO₂ en els processos de combustió de l'èster metílic i del gasoil (g equiv. CO₂/l)
 Font: ICAEN (1994).

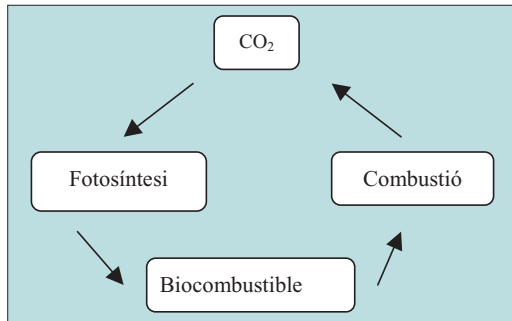


Figura B3.13. Cicle dels biocarburants.
 Font: elaboració pròpia.

sel. A més, no contenen sofre i, per tant, no emeten SO₂. Tan sols les emissions de NO_x són lleugerament superiors a les del gas-oil (taula B3.9).

Observacions addicionals

- Possibilitat d'ús en motors diesel sense modificacions tècniques (tan sols és necessari canviar juntures i conduccions de cautxú per materials sintètics).
- Consum similar o lleugerament superior al de gasoil i balanç energètic positiu.
- Reducció important de les emissions de CO₂ a l'atmosfera gràcies al propi cicle de producció.
- Reducció important de les emissions de partícules, hidrocarburs no cremats i CO, i eliminació de les emissions de SO₂.
- L'alt cost de producció i distribució són un dels principals obstacles per a la seva comer-

cialització. La creació d'una xarxa pròpia de distribució i l'exempció dels impostos que graven els combustibles d'automoció són dues possibles mesures per a la seva consolidació.

B3.3.3.5. Piles de combustible (H₂)

La pila de combustible és un dispositiu que transforma l'energia química en energia elèctrica a partir de la combinació d'hidrogen amb oxigen. És, per tant, una alternativa a les bateries electroliques convencionals en els vehicles elèctrics, que proporciona més autonomia i potència i un interval de càrrega més petit.

Emissions de gasos i consideracions ambientals

L'oxigen es pren de l'aire i en combinar-se amb l'hidrogen subministrat només produeix emanacions de vapor d'aigua. No genera ni gasos tòxics ni CO₂. L'hidrogen es pot subministrar directament o extreure de gas natural, metà o metanol.

Observacions addicionals

- Aptes per ser utilitzades en vehicles elèctrics, resolen inconvenients de les bateries electroliques: autonomia, potència i temps de càrrega, mantenint un bon rendiment energètic.
- Subministren el combustible més net, ja que no generen ni gasos tòxics ni CO₂, només aigua.

B3.3.3.6. Gas natural líquat (GNL)

D'ús en motors de cicle Otto, es pot distingir entre *mescla pobra* o *mescla estequiomètrica*, segons la relació entre gas i aire. En la primera, el combustible té més aire del necessari, la qual cosa millora la combustió i n'incrementa el rendiment. En la segona, les proporcions són les estrictament necessàries perquè es cremi la mescla completament, amb què s'aconsegueix reduir a nivells molt baixos les emissions de gasos contaminants.

Emissions de gasos

Una experiència desenvolupada amb un camió d'escombraries de l'empresa CESPÀ (amb la

col·laboració de l'Ajuntament de Barcelona) durant l'any 1999, plantejava com a objectius la reducció d'entre un 50 i un 100% de les emissions contaminants respecte la normativa europea vigent en aquell moment (Euro II) i d'un 30% en les emissions de CO₂. Es va emprar mescla estequiomètrica de gas i aire. Els resultats es mostren a les taules següents:

Observacions addicionals

- Com en el cas del GNC, el seu ús requereix la instal·lació d'elements addicionals en el vehicle (dipòsits de gas natural que suportin pressions màximes de 5 bars) i infraestructures (estacions de recàrrega).
- No es tenen dades ni de consum ni d'emissions de l'experiència realitzada, si bé les expectatives en el cas de les emissions són molt optimistes.
- Subministrament amb camions cisterna, com en el cas dels combustibles líquids actuals (gasolina i gasoil).

B3.3.3.7. Aire comprimit

L'empresa francesa MDI (*Motor Development Internacional*) ha creat el vehicle d'aire comprimit. El cotxe emmagatzema 300 m³ d'aire líquid que, introduït en un recinte tancat, s'expandeix i impulsa el pistó; d'aquesta manera se'n genera el moviment. A més, el cotxe incorpora un sistema de recuperació de l'energia de frenat comprimit aire ambiental i reinjectant-lo al motor.

Aquest vehicle presenta, segons els seus promotors, avantatges energètics, ambientals i econòmics. Des del punt de vista energètic, el vehicle té una autonomia en cicle urbà d'unes 10 hores (és a dir, d'entre 200 i 300 Km) i el temps de recàrrega d'energia amb el compressor del vehicle (motor elèctric de 5,5 Kw) connectat a la xarxa elèctrica és tan sols de 3 a 4 hores, mentre que el temps de recàrrega en una estació equipada és només de 2 a 3 minuts. Des del punt de vista ambiental, com que no hi ha combustió no es

Emissions d'èster metílic de colza en relació amb les del gasoil (%)	
CO	60%
HC	50%
NO _x	105%
SO ₂	0%
Partícules	35%

Taula B3.9. Comparació de les emissions de diversos gasos produïdes en la combustió de l'èster metílic i del gasoil
Font: ICAEN (1994).

	CO	NO _x	HC	SO ₂	CO ₂
Normativa europea Euro II (gr/kWh)	4,0	7,0	1,1	0,15	
Reducció esperada	50%	80%	80%	100%	30%

Taula B3.10. Reducció de les emissions de diversos gasos amb la combustió de GNL
Font: ICAEN (1999).

	CO	NO _x	HC
Emissions autobusos GNC (1997)	2,0	3,6	0,4
Emissions esperades camió d'escombraries amb GNL (1999)	2,0	1,4	0,22

Taula B3.11. Comparació de les emissions de diversos gasos en la combustió del gas natural comprimit i del gas natural líquid (en g/kWh)
Font: ICAEN (1999).

genera contaminació i, a més, l'aire expulsat és més pur que el que entra perquè es filtra abans de la seva injecció. Finalment, a efectes econòmics cal destacar que el cost és d'1,50 euros d'electricitat per 300 Km, és a dir, menys de 0,5 cèntims d'euro per km.

B3.3.3.8. Energia electrosolar

Els vehicles solars transformen la radiació solar en electricitat mitjançant plafons fotovoltaics. Una electricitat, per cert, que com en la resta de vehicles elèctrics és emmagatzemada en bateries i utilitzada després pel sistema elèctric de tracció.

La UPC va desenvolupar un prototipus de vehicle d'energia electrosolar per estudiar l'aplicació de la tecnologia solar fotovoltaica a l'automoció. L'estudi de l'eficiència energètica del vehicle es va centrar en el sistema de captació solar d'energia (plafons fotovoltaics), en el sistema d'acumulació (bateries electroquímiques) i en el sistema motriu (motor elèctric). Les proves van posar de manifest un bon comportament mecànic i una gran eficiència energètica (d'un 90%, aproximadament), però les pròpies característiques del vehicle demostren que l'energia solar no podrà ser utilitzada encara en l'automoció en un futur proper.

B3.3.4. Aspectes legals

En l'àmbit legislatiu, la política de reducció d'emissions en el transport es materialitza en les directives comunitàries sobre el control d'aquestes, que han donat lloc desde l'any 1992 als anomenats vehicles Euro, vehicles de motors progressivament menys contaminants que satisfan els requeriments establerts en les directives sobre control d'emissions. Els valors màxims d'emissions i altres consideracions de tipus tècnic fixats per aquesta normativa són d'aplicació universal als vehicles nous, fabricats en sèrie i posats en circulació en el mercat d'un estat membre; en resten exclosos aquells altres que es trobin ja en circulació o que vagin destinats a l'exportació a tercers països.

L'adaptació als nivells d'emissió que estableixen les normatives Euro I (any 1992) i Euro II (any 1996) es va aconseguir amb ajustaments en els motors tradicionals. L'adaptació per part dels fabricants als nous estàndards d'emissions que s'estableix en un procés gradual en dues etapes,

Euro III i Euro IV, en canvi, fan necessari el disseny de nous motors amb una eficiència ambiental més alta. L'Euro III suposarà una reducció significativa dels nivells d'emissions respecte a períodes anteriors i permetrà, amb caràcter general a partir del 2001, preparar el camí per a la reducció d'emissions definitives, que tindrà lloc en una segona fase –l'Euro IV– a partir de l'any 2006. En alguns casos, la normativa permet que els nivells d'emissions establerts per Euro IV es puguin assolir en dues etapes, la segona de les quals, anomenada també Euro V, s'ha previst que comenci a aplicar-se a partir del 2009.

Les directives comunitàries fixen els límits màxims d'emissions i altres consideracions de tipus tècnic atenent a la tipologia dels vehicles pel que fa al pes, al sistema de propulsió i al tipus de combustible utilitzat. Les emissions procedents dels vehicles per al transport de passatgers i dels vehicles lleugers per al transport de mercaderies (fins a 3,5 tones) són regulades per la *Directiva 98/69/CE*, i els seus valors màxims i terminis d'entrada en vigor es mostren a les taules següents.

La taula B3.14 mostra les reduccions previstes en les emissions de gasos a partir del 2000, en aplicació dels valors màxims establerts en la *Directiva 98/69/CE*.

Pel que fa a les emissions de gasos i partícules dels vehicles dedicats al transport pesant de mercaderies, la *Directiva 99/96/CE* n'estableix els límits màxims. Per a la reducció d'emissions de CO₂, l'any 1998 la Unió Europea va assolir un acord amb l'Associació Europea de Fabricants d'Automòbils (ACEA) a través del qual aquesta es comprometia que l'emissió mitjana de CO₂ dels vehicles venuts a la Unió Europea l'any 2008 fos de 140 g/Km (taula B3.15). Aquest objectiu es tradueix en una reducció mitjana del 25% de les emissions de CO₂ dels automòbils de nova matriculació en el període 1995-2008. A més, l'ACEA es comprometia a produir vehicles amb un nivell d'emissions de 120 g/Km a partir

		CO		HC		NO _x		Partícules	
		gasolina	gasoil	gasolina	gasoil	gasolina	gasoil	gasolina	gasoil
EURO I (1/07/1992)		3,34	3,34	0,66	0,66	0,49	0,49	-	0,18
EURO II (1/01/1996)		2,7	1,0	0,34	0,9	0,25	-	-	0,1
EURO III		2,3	0,67	0,2	-	0,15	0,5	-	0,05
nous models	noves matriculacions								
1/01/2000	1/01/2001								
EURO IV		1,0	0,5	0,1	-	0,08	0,25	-	0,025
nous models	noves matriculacions								
1/01/2005	1/01/2006								

Taula B3.12. Límits d'emissions (en g/km) per a vehicles de passatgers lleugers i semilleugers (PMA < 2.500kg)
Font: Direcció General de Ports i Transports, Generalitat de Catalunya (2000).

		CO		HC		NO _x		Partícules	
		gasolina	gasoil	gasolina	gasoil	gasolina	gasoil	gasolina	gasoil
EURO III	< 1.305 kg	2,3	0,64	0,2	-	0,15	0,5	-	0,05
	1.305-1.760 kg	4,17	0,8	0,25	-	0,18	0,65	-	0,07
	1.761-3.500 kg	5,22	0,95	0,29	-	0,21	0,78	-	0,1
EURO IV	< 1.305 kg	1,0	0,5	0,1	-	0,08	0,25	-	0,025
	1.305-1.760 kg	1,81	0,63	0,13	-	0,1	0,33	-	0,04
	1.761-3.500 kg	2,27	0,74	0,16	-	0,11	0,39	-	0,06

Taula B3.13. Límits d'emissions (en g/km) per a vehicles lleugers per al transport de mercaderies (< 3,5 tones)
Font: Direcció General de Ports i Transports, Generalitat de Catalunya (2000).

Vehicles	CO	HC	NO _x	Partícules
Cotxes benzina	30	40	40	-
Cotxes dièsel d'injecció directa	40	-	40	50
Vehicles industrials lleugers	40	65	20	35

Taula B3.14. Reduccions previstes (en percentatge) respecte els vehicles Euro II
Font: Direcció General de Ports i Transports, Generalitat de Catalunya (2000).

Any	Emissions (g/km)
1995 (valor mitjà)	187
2003 (valor estimat)	165-170
2008 (acord ACEA)	140
2012 (valor objectiu)	120

Taula B3.15. Evolució prevista de les emissions de CO₂ produïdes pels automòbils de la UE.
Font: Mataix (1999).

del 2000 i a revisar l'acord entre les dues parts l'any 2003.

B3.4. El transport a Catalunya

Catalunya no ha estat aliena a les tendències europees en termes d'augment de la mobilitat i del consum energètic del sector del transport. Igualment, en tot el territori s'aprecia un clar predomini del transport per carretera en detriment d'altres modes.

El parc mòbil català es va incrementar en 1.500.000 nous vehicles (dels quals 1 milió eren turismes) entre els anys 1986 i 1999. Aquest darrer any, el parc mòbil català era de 3.900.000 vehicles (2.800.000 turismes) amb una taxa de motorització de 640 vehicles / 1.000 habitants

Pel que fa a les mercaderies, el 74% del transport amb origen i/o destinació a Catalunya –uns

170 milions de tones anuals– es fa per carretera, mentre que només un 4% és absorbit pel ferrocarril i un 22% pel transport marítim (en augment gràcies al *short sea shipping*).

B3.4.1. Consum

Des de l'any 1993, el transport és el sector que consumeix més energia a Catalunya (figura B3.14). Entre el 1985 i el 1996, el sector transport va incrementar el seu consum en un 54% i les previsions a termini mitjà apunten cap a un augment del seu pes en la demanda energètica, ja que creix a un ritme d'un 5,4% anual, molt per sobre de la resta de sectors (figura B3.15). De tot el consum atribuïble a aquest sector a Catalunya, el 83% es deu a mobilitat per carretera, i d'aquest, més de la meitat es produeix en àmbit urbà.

I si a més de considerar l'energia necessària per impulsar els vehicles s'avalua el conjunt del cicle productiu (fabricació de vehicles, construcció i manteniment d'infraestructures, etc.), aleshores el pes del sector transport supera el 50% del consum d'energia final.

B3.4.2. El transport metropolità

A l'àrea metropolitana de Barcelona s'ha produït un important increment del transport per carretera, tant en els desplaçaments privats (amb l'agreuament que s'ha concentrat a Barcelona) com en el moviment de mercaderies, que s'ha incrementat un 49% entre els anys 1992 i 2000,

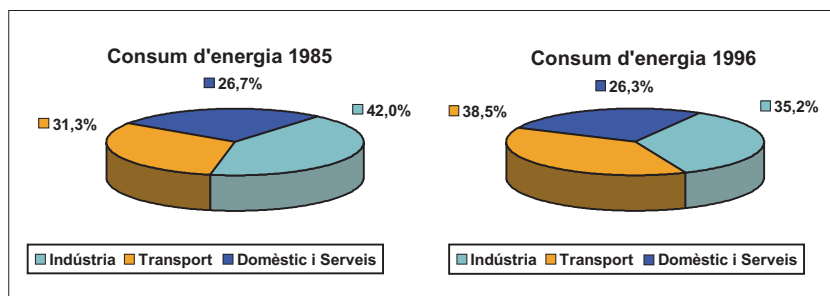


Figura B3.14. Consum final d'energia per sectors a Catalunya (anys 1985 i 1996).
Font: ICAEN (1999).



Nota: Les dades de 1996 i 1997 són provisionals.

Figura B3.15. Evolució del consum d'energia per sectors a Catalunya (període 1965-1995).
Font: Direcció General d'Energia i Mines. Generalitat de Catalunya.

passant de 125 a 186 milions de tones. Aquest fet ha provocat un creixement que s'estima en més d'un 60% en el consum energètic del transport.

A la regió metropolitana de Barcelona, la motorització ha crescut a un ritme del 2,8% anual i arriba, l'any 1998, a 425 turismes/1.000 habitants, amb puntes significatives en certes zones. En aquesta mateixa regió s'observa, com també passa a la gran majoria d'àrees metropolitanes europees, un important increment de la mobilitat (un 16% entre 1991 i 1996 de la mobilitat intermunicipal), sobretot per l'augment de trajectes diferents dels de mobilitat obligada.

B3.4.3. El transport local: la ciutat de Barcelona

B3.4.3.1. La mobilitat a Barcelona

El nombre de desplaçaments i la seva distribució modal caracteritzen la mobilitat de la ciutat. A Barcelona es realitzen diàriament 6 milions de desplaçaments, segons dades del 1998, dels

quals 4,1 milions corresponen a desplaçaments interns i 1,9 milions a desplaçaments interns-externs. Dels primers, la majoria (un 38%) es realitzen en transport públic, més d'una tercera part (un 36%) a peu i amb bici i un 26% en vehicle privat. En els gairebé dos milions de desplaçaments interns-externs en canvi, el vehicle privat és el mode emprat massivament: un 65% d'aquests desplaçaments es fan en vehicle privat, per només un 4% a peu i amb bici (lògic, per l'augment de les distàncies) i tan sols un 31% en transport públic, que no només deixa de ser el mode majoritari sinó que a més cedeix terreny al vehicle privat.

Les dades posen de manifest una realitat: la mobilitat a Barcelona cal interpretar-la considerant la ciutat i el seu àmbit metropolità. Els desplaçaments intermunicipals suposen tan sols una tercera part del total, però en canvi gairebé un milió de cotxes, més de la meitat dels que hi circulen, entren i surten de Barcelona un dia laborable.

Desplaçaments	Interns	Interns-Externs	Total
Transport públic	1.541.455	595.721	2.137.176
Vehicle privat	1.052.734	1.248.838	2.301.572
A peu i en bici	1.487.325	75.040	1.562.365
Total	4.081.514	1.919.599	6.001.113

Taula B3.16. Nombre i distribució modal dels desplaçaments a la ciutat de Barcelona (any 1998)

Font: Direcció de Serveis de Transports i Circulació. Ajuntament de Barcelona.

La taula B3.16 i la figura B3.16 resumeixen les característiques dels desplaçaments a Barcelona en un dia laborable, a partir de dades de la Direcció de Serveis de Transports i Circulació de l'Ajuntament de Barcelona.

Els trajectes no motoritzats es fan majoritàriament a peu i gairebé tots, més del 95%, s'inicien i acaben a la ciutat de Barcelona. La bici s'utilitza, encara, en menys de l'1% dels desplaçaments. Entre el transport públic col·lectiu, el metro és el mode més utilitzat, tant en desplaçaments interns com d'entrada i sortida de Barcelona, mentre que l'autobús, molt utilitzat en desplaçaments interns, cedeix protagonisme als FGC i rodalies de RENFE en els desplaçaments interns-externs.

El cotxe és, amb diferència, el mitjà més utilitzat en el cas del transport privat (1.640.598 de des-

plaçaments), sobretot pel que fa a desplaçaments interns-externs (964.333), que en general suposen distàncies més elevades. La moto, tot i ser minoritària, també té un ús molt significatiu (15%) en els desplaçaments per Barcelona i el seu increment és el més important del parc de vehicles de la ciutat. Tots dos modes tenen una ocupació similar, d'aproximadament 1,1 persones en mitjana, per tant a la pràctica totalitat dels viatges hi ha un sol ocupant. Les furgonetes i camions suposen també un percentatge important dels desplaçaments en vehicle privat (un 16% dels interns i un 19% dels interns-externs). No obstant això, es tracta majoritàriament de distribució urbana de mercaderies, més que no pas de desplaçaments de passatgers.

Les figures B3.17 i B3.18 desglossen, de forma esquemàtica, els desplaçaments interns i interns-externs un dia laborable (any 1998).

El motiu del desplaçament i la distància recorreguda són característiques dels desplaçaments que completen la caracterització de la mobilitat. Segons dades de l'enquesta de mobilitat i trànsit del 2000 de l'Institut d'Estudis Metropolitans de Barcelona, si es considera la mobilitat segons el motiu de desplaçament en laborable, els de mobilitat obligada (treball o estudis) representen un 36,2%, els de mobilitat no obligada (compres, oci, esport, menjar, etc.) un 27,6%, i la resta són viatges de tornada a casa. En tots tres casos la majoria de desplaçaments són amb origen

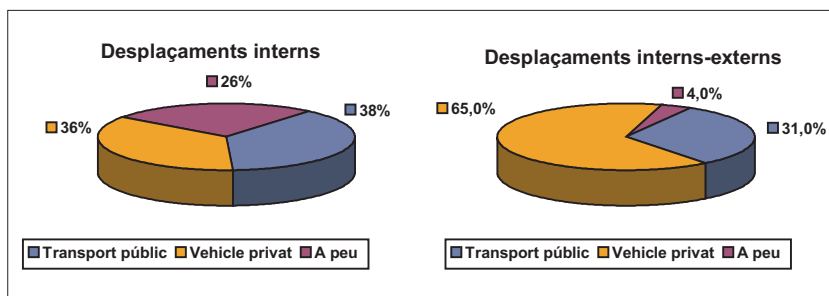


Figura B3.16. Distribució modal dels desplaçaments a Barcelona (any 1998).

Font: Direcció de Serveis de Transports i Circulació. Ajuntament de Barcelona.

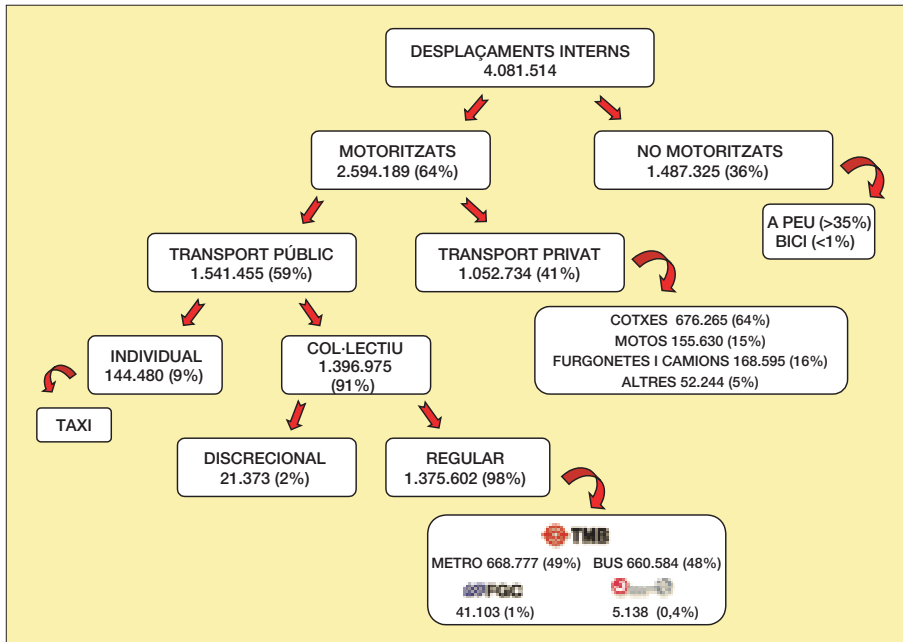


Figura B3.17. Distribució modal dels desplaçaments interns.
Font: Ajuntament de Barcelona.

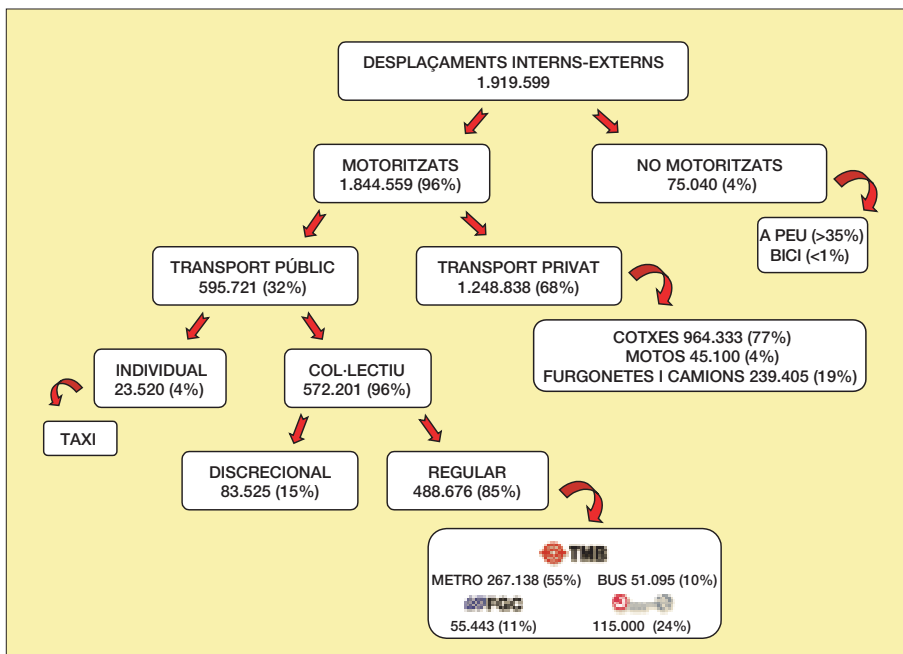


Figura B3.18. Distribució modal dels desplaçaments interns-externs.
Font: Ajuntament de Barcelona.

i destinació a Barcelona, el 52% dels de mobilitat obligada, el 85% dels de no obligada i el 70% dels de tornada a casa. Pel que fa al nombre de viatges per individu, la mitjana és de 2,7 pels interns i de 2,95 pels de connexió amb l'entorn metropolità.

Pel que fa al recorregut mitjà en els diferents modes de transport (figura B3.19), s'observa, en primer lloc, que en els desplaçaments a peu la distància mitjana recorreguda és d'aproximadament 1.600 metres, uns 20 minuts suposant una velocitat de 4,5 km/h. En transport públic el recorregut mitjà és de 3,3 km en autobús i de 5,2 km en metro, amb velocitats comercials de 13,24 km/h i 28,16 km/h respectivament (TMB, 1999). En vehicle privat la distància mitjana recorreguda s'estima que augmenta fins als 6 km, amb velocitats mitjanes de 59,8 km/h a les Rondes i de 19,8 km/h a la resta de la ciutat (Ajuntament de Barcelona, 1999).

Per determinar la mobilitat setmanal, es pot considerar que el 81,5% dels desplaçaments es realitzen en dia laborable i que per tant, el nom-

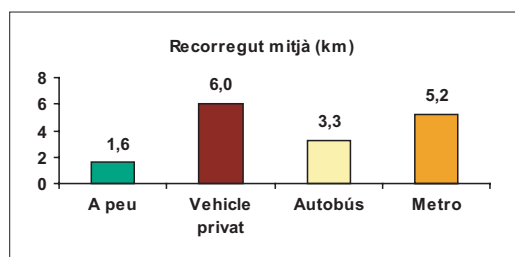


Figura B3.19. Recorregut mitjà en diferents modes de transport. Font: elaboració pròpia.

Feiner	Dissabte	Diumenge	Nombre de dies feiners equivalents per setmana
81,5% (16,3% diari)	11,2%	7,2%	6,127

Taula B3.17. Distribució setmanal de viatges a Barcelona. Font: ATM (1997).

bre de dies feiners equivalents per setmana és de 6,127 (taula B3.17).

B3.4.3.2. Desplaçaments a peu i en bici

Barcelona disposa d'una superfície de 99 km², dels quals un 17% són places i carrers per circular i un 1%, 105 Ha, són superfície amb prioritat per a vianants. D'aquestes 105 Ha, un 54% és concentra a Ciutat Vella. A l'enquesta de mobilitat el 73% dels barcelonins es defineixen com a vianants o com a «més vianants que conductors».

Pel que fa a la bici, a Barcelona hi ha prop de 200.000 persones que en tenen, de les quals unes 165.000 la utilitzen i unes 29.500 ho fan en dia feiner o sempre. El seu ús segueix sent però, majoritàriament, en festius i per passejar, i són encara molt pocs els barcelonins que l'utilitzen per anar a treballar o estudiar (figura B3.20).

B3.4.3.3. El transport públic

Barcelona i la seva àrea d'influència compta amb servei d'autobusos, metro, ferrocarrils, tren de rodalies i taxis. La taula B3.18 resumeix l'oferta dels principals operadors de transport públic col·lectiu: Transports Metropolitans de Barcelona (autobús i metro), FGC (Ferrocarrils de la Generalitat) i RENFE.

Els viatges en metro representen el 45% dels realitzats en transport públic col·lectiu i els d'autobús el 32% (figura B3.21) Per tant, TMB és l'operador més important de Barcelona i la seva àrea metropolitana, ja que trasllada el 77% del passatge del transport públic.

Per la seva banda, el transport públic individual, el taxi, comptava el 1999 amb 10.556 vehicles, 206 parades i 104,7 milions de passatgers.

B3.4.3.4. El vehicle privat

El vehicle privat és, per nombre total de desplaçaments i per ocupació d'espai viari, el mode majoritari. El parc de vehicles de Barcelona del 1999 comptava amb 625.024 cotxes, molt per sobre

del nombre de motos i ciclomotors (224.642) o de furgonetes i camions (73.110).

El nombre de desplaçaments en cotxe (1.640.898) planteja una situació de congestió en bona part de les principals vies de circulació de la ciutat i, especialment, als accessos, que pateixen els desplaçaments interns-externs i on els cotxes són el 74% dels vehicles que hi circulen. La figura B3.22 mostra la distribució dels desplaçaments en cotxe a la ciutat. El repartiment entre residents i no residents a Barcelona és del 55% pels primers i 45% pels segons, i entre viatges interns i interns-externs, del 41% i el 59%.

El plànol de volums de trànsit (figura B3.23) representa la distribució de la IMD amb gruixos proporcionals als fluxos. Un dia feiner es recorren un total de 13,5 milions de quilòmetres a Barcelona. Les Rondes suporten el 20% del volum de trànsit de la ciutat, les vies de connectivitat externa un altre 20%, les vies principals internes un 38% i el 22% restant la xarxa local de la ciutat. En canvi, dels 1.281 quilòmetres de la xarxa viària de Barcelona, les Rondes i les vies de connectivitat externa representen només un 2% i un 3%, respectivament, la xarxa principal interna un 21% i la xarxa local un 74%.

A Barcelona, a diferència que en el còmput global de Catalunya, el pes relatiu del sector transport en el consum energètic final de la ciutat va baixar

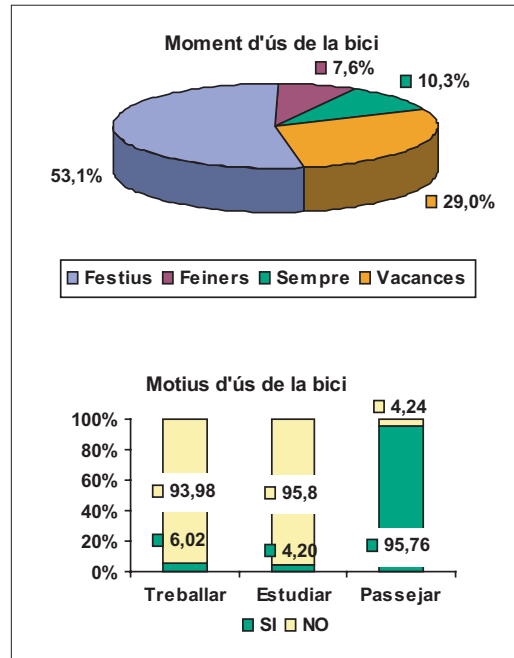


Figura B3.20. Moment i motiu d'ús de la bici a Barcelona. Font: Enquesta de mobilitat i trànsit 2000.

lleugerament en el període 1985-1997, però es manté com el sector que més energia consumeix, amb un 42% (figures B3.24 i B3.25).

A Barcelona el transport és el sector que més emissions de CO₂ produeix, i la seva aportació

TRANSPORT PÚBLIC	long. línies (km)	línies	viatgers (milions)	Δ99/98 (%)
FMB (Metro)	81,2	5	286,7	2,1%
TB (Autobús)	745	80	202,1	0,9%
FGC (aglomeració central)	48,5	4	44,5	9,7%
Resta FGC	95,2	4	12,4	2,7%
Rodalies RENFE (agl. central)	109,7	4	37,8	1,8%
Resta Rodalies RENFE	307,0	4	52,3	1,9%

Taula B3.18. Dades bàsiques dels principals operadors de transport públic col·lectiu Font: TMB, FGC, RENFE.

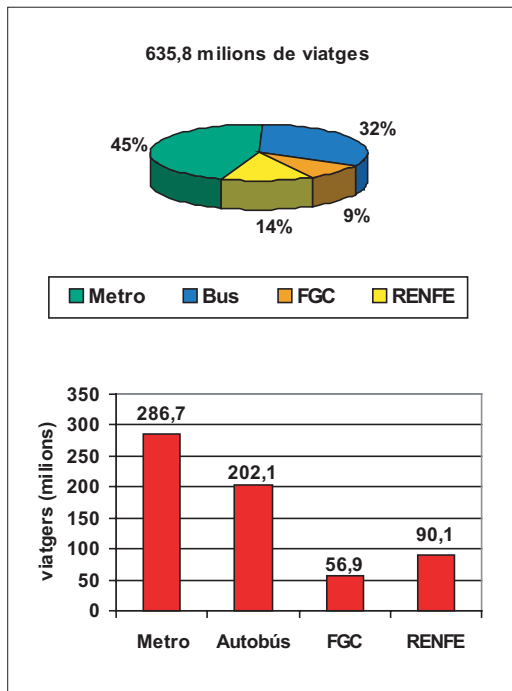


Figura B3.21. Distribució de viatges en transport públic.
Font: TMB, FGC, RENFE.

relativa va augmentar del 45% al 55% en el període 1985-1995, per situar-se en un 53% el 1997 (figures B3.26 i B3.27).

B3.5. La mobilitat sostenible

Per afrontar els problemes ambientals i de mobilitat associats al creixement del transport, es poden adoptar tot un conjunt d'accions, que han d'estar emmarcades en unes polítiques globals i innovadores. Aquestes polítiques hauran d'usar diferents mecanismes per tal d'assolir els seus objectius, com la internalització dels costos externs, el foment de la intermodalitat, la recerca de l'ús òptim de cadascun dels modes de transport, la taxació o el reequilibri modal, entre altres.

Els objectius de les polítiques actuals de mobilitat han d'incloure els principis de la mobilitat sostenible per tal que l'activitat del transport no acabi perjudicant les generacions futures. El projecte Europeu PROSPECTS defineix, en la seva *Guia per a la Presa de Decisions*, els set objectius que haurien d'assolir les estratègies de transport des del punt de vista de la sostenibilitat.

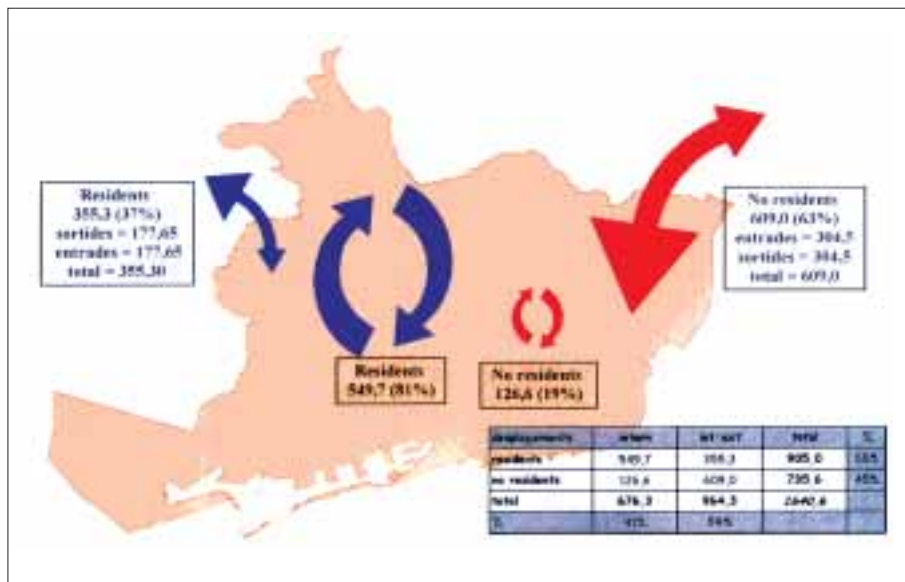


Figura B3.22. Distribució de desplaçaments en cotxe a Barcelona (any 1998).
Font: Direcció de Serveis de Transport i Circulació. Ajuntament de Barcelona.



Figura B3.23. Aranya dels volums de trànsit al viari de Barcelona (any 1998).
 Font: DOYMO i Direcció de Serveis de Transports i Circulació. Ajuntament de Barcelona.

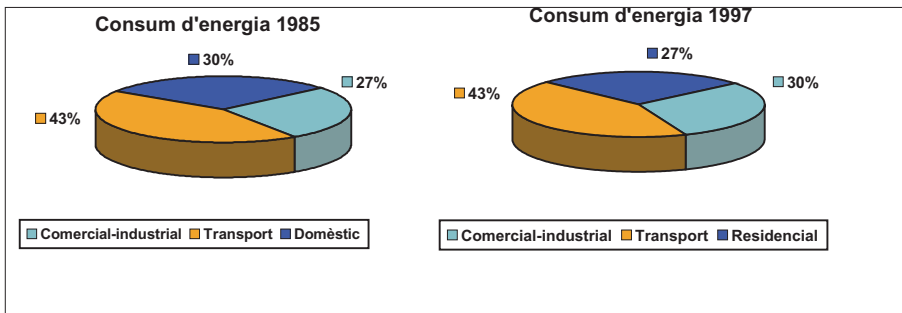


Figura B3.24. Consum final d'energia per sectors a Barcelona.
 Font: Ajuntament de Barcelona (1999).

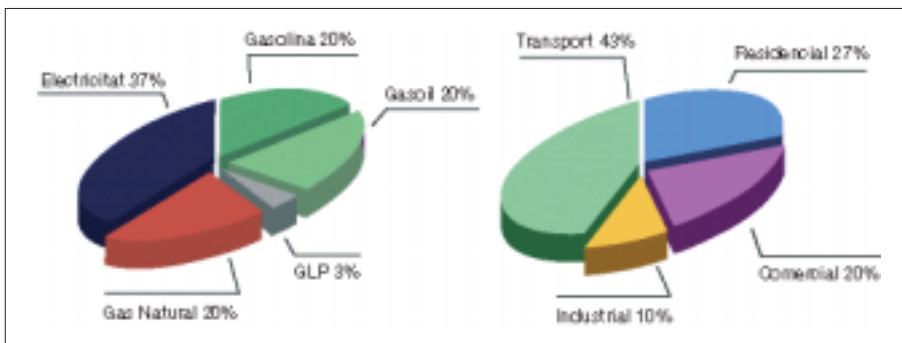


Figura B3.25. Consum d'energia a Barcelona l'any 1997, segons font energètica utilitzada (esquerra) i per sectors d'activitat (dreta).
 Font: elaboració pròpia.

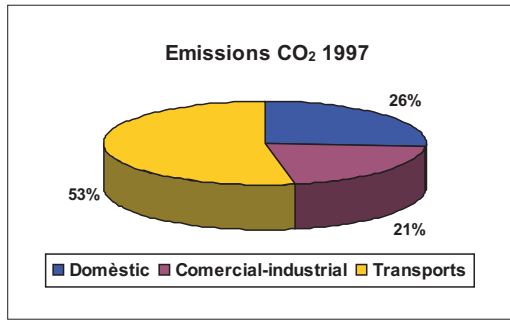


Figura B3.26. Composició de les emissions de CO₂ a Barcelona, per sectors (any 1997).

Font: Ajuntament de Barcelona (1999).

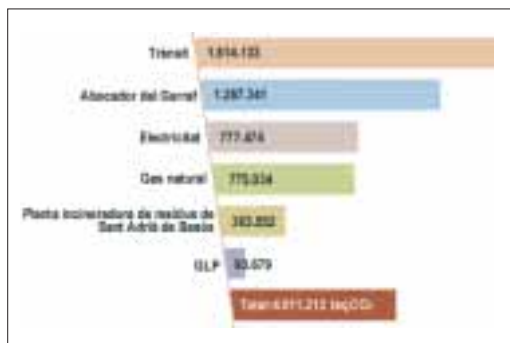


Figura B3.27. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a Barcelona (any 1997), en tones equivalents de CO₂.

Font: Regidoria de Ciutat Sostenible (any 1999).

Aquests objectius són:

- 1) **Eficiència econòmica** per al mercat del transport, que implica maximitzar els beneficis dels usuaris del sistema de transport després de comptabilitzar els costos de provisió i manteniment.
- 2) **Protecció del medi ambient:** implica reduir alguns dels impactes negatius del sistema de transport i usos del sòl: contaminació global com el CO₂, regional com les emissions de NO_x i SO₂, contaminació local, com les partícules i els seus impactes sobre la salut; soroll i vibracions; impactes visuals; la fragmentació i l'efecte barrera; efectes sobre la biodiversitat; creixement de zones urbanitzades; i la pèrdua del patrimoni cultural i dels hàbitats naturals.
- 3) **Carrers i barris habitables:** es centra en el viari i les condicions de repòs ambiental de les àrees residencials. Inclou efectes externs positius sobre les activitats socials, culturals i d'oci dels barris, l'augment de la mobilitat a peu i en bicicleta, i la reducció de la inseguretat percebuda en aquests modes de transport. Està relacionat, però alhora és diferent, amb els objectius ambientals i de seguretat.
- 4) **Seguretat:** implica la reducció del nombre i gravetat d'accidents en tots els modes. Tanmateix, donat que alguns emplaçaments, determinades edats i alguns modes de transport suposen un major nombre d'accidents que la resta, l'objectiu de seguretat té també implicacions sobre l'equitat.
- 5) **Equitat i integració social:** L'equitat implica l'accés al transport en condicions similars per a tots, els costos del transport i els impactes mediambientals i de seguretat en els viatges. Dins de la integració social s'hi inclou l'accessibilitat per als que no tenen cotxe i per a les persones de mobilitat reduïda. La veritable igualtat d'oportunitats mai serà possible, però és necessari estudiar mesures compensatòries per als qui tenen menys possibilitats o majors costos.
- 6) **Contribució al desenvolupament econòmic:** per a les ciutats i regions un objectiu important és que les polítiques de transport fomentin el desenvolupament econòmic. En aquest sentit, les millores d'accessibilitat o de qualitat ambiental poden conduir a un increment de la activitat econòmica i possibilitar un desenvolupament econòmic sostingut.
- 7) **Equitat intergeneracional:** malgrat que tots els objectius enumerats fins ara són importants, molts d'ells també tindran efectes sobre les futures generacions. Hi ha tres impactes de les activitats actuals que les afectaran de manera especial: l'efecte d'hivernacle, la major ocupació del sòl i l'esgotament dels recur-

sos naturals no renovables entre els que el control és, probablement, el més important.

Referències bibliogràfiques

- AJUNTAMENT DE BARCELONA (2000). *Anuari estadístic de la ciutat de Barcelona, 1999*. Barcelona: Ajuntament de Barcelona, Departament d'Estadística (i anteriors).
- AJUNTAMENT DE BARCELONA. COMISSIÓ DE SOSTENIBILITAT I ECOLOGIA URBANA (2000). *La mobilitat sostenible*. Barcelona: Ajuntament de Barcelona
- AJUNTAMENT DE BARCELONA. DIRECCIÓ DE SERVEIS DE TRANSPORTS I CIRCULACIÓ (2000). *Dades bàsiques de la mobilitat a Barcelona*. Barcelona: Ajuntament de Barcelona.
- ARAGAY, J.M.; DELGADO, J.; TORRELLES, E.; MUR, R. (2000). *Enquesta de mobilitat i trànsit 2000. La mobilitat a Barcelona. Síntesi*. Barcelona: Institut d'estudis Metropolitans de Barcelona.
- ASSOCIACIÓ PER A LA PROMOCIÓ DEL TRANSPORT PÚBLIC (1999a). «L'aprovació del PDI en marxa». *Mobilitat Sostenible*, 14, 3-5.
- ASSOCIACIÓ PER A LA PROMOCIÓ DEL TRANSPORT PÚBLIC (1999b). «TMB presenta l'autobús d'hidrogen». *Mobilitat Sostenible*, núm. 15, p. 13.
- ASSOCIACIÓ PER A LA PROMOCIÓ DEL TRANSPORT PÚBLIC (2000). «Posem en marxa la xarxa CarSharing de Catalunya». *Mobilitat Sostenible*, núm. 18, p. 16-19.
- ASSOCIACIÓ PER A LA PROMOCIÓ DEL TRANSPORT PÚBLIC (2000). «Replantejament general del model energètic vigent. El començament d'una nova era». *Mobilitat Sostenible*, núm. 17, p. 4-9.
- AUTORITAT DEL TRANSPORT METROPOLITÀ DE BARCELONA (ATM) (2000). *Proposta de Pla Director d'Infraestructures de Transport Públic Col·lectiu. PDI 2001-2010*.
- AUTORITAT DEL TRANSPORT METROPOLITÀ DE BARCELONA (ATM) (2000). *TransMet Xifres. Xifres 1999*.
- BALDASANO, J.M. (1995). *Valoración de las emisiones de los gases causantes del incremento del efecto invernadero*. Barcelona: Ajuntament de Barcelona, Comissió de Medi Ambient i Serveis Urbans.
- BARRACÓ, H. (1998). «El cas de Barcelona: Consum energètic i emissions atmosfèriques associades als transports». *Àrea. Revista de debats territorials*, p. 88-101.
- BARRACÓ, H. (1998). El flux energètic de Barcelona. Anàlisi i sostenibilitat ambiental. Projecte final de carrera de Ciències Ambientals, 1998.
- BARRACÓ, H.; PARÉS, M.; PRAT, A.; TERRADAS, J. (2000). *Barcelona 1985-1989. Ecologia d'una ciutat*. Barcelona: Ajuntament de Barcelona.
- CARDENAL i MONTRAVETA, J.; ROBUSTÉ, F. (2001). *El transport en el pla energètic de Barcelona*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins Canals i Ports de Barcelona. (Tesina d'especialitat).
- COMISSIÓ DE LES COMUNITATS EUROPEES (1990). *El libro verde sobre el medio ambiente urbano*. Madrid: MOPT.
- COMISSIÓ DE LES COMUNITATS EUROPEES (1992). *El libro verde sobre el impacto del transporte en medio ambiente*. Madrid: MOPT.
- COMISSIÓ DE LES COMUNITATS EUROPEES (1999). *Anar amb bicicleta: la solució capdavantera per a les ciutats*. Barcelona: Generalitat de Catalunya.
- CONSELL INTERNACIONAL PER A INICIATIVES AMBIENTALS (ICLEI) (1994). *Carta de Ciutats i Viles Europees cap a la Sostenibilitat (la Carta d'Aalborg)*. Barcelona: Generalitat de Catalunya.
- DEPARTAMENT DE MEDI AMBIENT (1998). *La política internacional contra el canvi climàtic*. Barcelona: Generalitat de Catalunya.
- DEPARTAMENT DE POLÍTICA TERRITORIAL I OBRES PÚBLIQUES (2000). *El transport sostenible, eina d'integració europea. Els vehicles Euro*. Barcelona: Generalitat de Catalunya.
- DIRECCIÓ GENERAL DE PORTS I TRANSPORTS (2000). «Indicadors del transport urbà col·lectiu de superfície». *Butlletí de Transports*, núm. 12, (1999), p. 10.
- FERROCARRILS DE LA GENERALITAT DE CATALUNYA, FGC (2000). *Memòria 1999*.
- ICAEN (1993). «Utilització de combustible vegetal en vehicles municipals». *Energia Demo*, núm. 32, p. 1-4.
- ICAEN (1994). *Els Biocarburants: estat actual i experiències a Catalunya*. Estudis monogràfics, núm. 1, p. 1-26.
- ICAEN (1997). «Autobusos propulsats amb Gas Natural». *Energia Demo*, núm. 51, p. 1-4.
- ICAEN (1999a). *El vehicle elèctric. Situació actual i perspectives*. Estudis monogràfics, núm. 11, p. 1-25.
- ICAEN (1999b). *Taula de factors d'emissió de contaminants i de consum de combustible*. Generalitat de Catalunya.
- ICAEN (1999c). «Vehicle electrosolar». *Energia Demo*, núm. 66, p. 1-4.

ICAEN (1999d). «Vehicle propulsat amb Gas Natural Liqueuat (GNL)». *Energia Demo*, núm. 65, p. 1-4.

MATAIX, C. (1999). «Reducción de las emisiones de CO₂ en los vehículos». Ponència a les *Jornades sobre la política de transport i el canvi climàtic*, València, 1999.

PISCHINGER, R. (1998). Deliverable no. 6. Methodologies for estimating air pollutant emissions from transport, MEET Project.

ROBUSTÉ, F. (2000). *Els Comptes del Transport de Viatgers a la Regió Metropolitana de Barcelona. Any 1998*. Barcelona: Autoritat del Transport Metropolità (ATM).

ROBUSTÉ, F.; THORSON, O. (2000). *La ciutat a peu i en bicicleta*. Organització Mundial de la Salut, OMS.

TRANSPORTS METROPOLITANS DE BARCELONA, TMB (2000). *TMB, un model de gestió per al transport públic. 1980-2000*. Barcelona: Fundació Carles Pi i Sunyer d'estudis autonòmics i locals.

TRANSPORTS METROPOLITANS DE BARCELONA, TMB (2000). *Memòria 1999*.

TRANSPORT RESEARCH LABORATORY, TRL (1998). Deliverable no. 22. Methodologies for estimating air pollutant emissions from transport, MEET Project.

B4. Indústria catalana i canvi climàtic

Joan Jorge i Sánchez

Departament de Física Aplicada
Universitat Politècnica de Catalunya

Joan Jorge i Sánchez és professor titular del Departament de Física Aplicada de la Universitat Politècnica de Catalunya. Expert en l'ús de les imatges de satèl·lit per a la seva aplicació en estudis d'estimació de la precipitació, així com de diagnosi del medi ambient. Ha dirigit tesis doctorals relacionades amb la meteorologia i climatologia de la precipitació, així com en la determinació de paràmetres de superfície per afinar els models de predicció numèrica del temps. Ha participat en congressos internacionals i nacionals de teledetecció, estenent-se a estudis de simulació de l'impacte d'un canvi climàtic en diversos sectors socioeconòmics, a causa de la seva relació amb el món de l'enginyeria.

Síntesi	343
B4.1. La indústria: consideracions prèvies	345
B4.2. La indústria: un sistema sensible al clima	346
B4.3. Activitat de la indústria catalana	347
B4.3.1. Dades globals sobre la indústria catalana	
B4.3.2. Sectors industrials a Catalunya	
B4.4. La preocupació ambiental de la indústria	350
B4.5. Impactes del canvi climàtic i vulnerabilitat dels diferents sectors	351
B4.6. Adaptació de la indústria al canvi climàtic	357
B4.7. Potencials accions de mitigació aplicables	357
B4.7.1. Accions impulsades pels sectors industrials	
B4.7.2. Accions impulsades per l'Administració catalana	
B4.8. Eines desenvolupades a l'estranger aplicables a la indústria catalana	361
B4.8.1. Qüestionari a petites i mitjanes empreses	
B4.8.1.1. Avaluació de riscos	
B4.8.1.2. Identificació de les oportunitats	
B4.8.2. La iniciativa Solucions Ambientals Canadenques	
Referències bibliogràfiques	365

Síntesi

L'evidència de l'existència del canvi climàtic d'origen antròpic és relativament recent, per la qual cosa no totes les organitzacions ni tots els sectors econòmics estan preparats, encara, per fer-hi front. La sensibilitat de la indústria catalana respecte d'aquest fenomen varia en funció de cada sector industrial, i les mesures preses per adaptar-s'hi seran diferents segons la seva especialitat i grau d'expertesa.

Tal com reflecteixen algunes enquestes, una part molt important del sector empresarial català no percep el canvi climàtic com un problema important. Una possible raó que podria explicar aquest fet és que en molts casos l'impacte d'aquest fenomen és indirecte i, per contra, hi ha molts d'altres temes aparentment més prioritaris, molt més vinculats amb la presa de decisions i els quals són lluny de l'àmbit ambiental. Per exemplificar aquest fet, i només a títol orientatiu, s'estima que només el 34% de les indústries catalanes ha desenvolupat un sistema de gestió ambiental.

Per a cada indústria, la programació temporal de la seva estratègia empresarial té una durada molt més curta que el període en el qual es pot manifestar un possible canvi en les condicions climàtiques que la pugui destorbar. Normalment, s'espera que un negoci funcioni durant un període d'1 a 5 o 10 anys en molts sectors productius, temps gens comparable amb els escenaris temporals amb què treballen els científics (en termes de canvi climàtic sovint es pren com a horitzó temporal l'any 2100).

Sembla ser, però, que alguns canvis de les condicions climàtiques comencen a fer-se més evidents i que algunes empreses ja han decidit invertir per adaptar-se a aquest canvi i mitigar-ne els efectes. Així, per exemple, s'està observant un increment de la freqüència amb la que es

produeixen xàfeces intenses, els quals contribueixen a enterbolir l'aigua dels rius i dels dipòsits d'aigües residuals, afectant negativament el funcionament dels processos de tractament dissenyats amb períodes de retorn de la precipitació de 3 a 5 anys.

En d'altres casos, el temps de vida de la maquinària de les plantes industrials (entre 10 i 40 anys), fa que els empresaris adoptin la decisió de canviar la maquinària només quan s'hagi de renovar i no abans, és a dir, quan sigui necessari. En aquesta situació, les previsions de la incidència en la rendibilitat empresarial a causa de noves condicions climàtiques afecta poc la decisió de les inversions en maquinària.

Per al correcte funcionament de la maquinària, aquestes inversions s'han d'acompanyar d'un conjunt d'actuacions complementàries com són, entre altres, assegurar el subministrament de les matèries primeres necessàries i adequar les condicions ambientals durant el període de funcionament, tot vetllant per la seguretat i el manteniment de les condicions de salut dels treballadors involucrats en el procés productiu.

En les empreses del sector industrial, les principals mesures adoptades fins ara, estan orientades a aconseguir un ús eficient de l'energia i a la substitució de combustibles, a través del que hom anomena «bones pràctiques». A Catalunya, el sector industrial és el que està més avançant en la integració ambiental, comparativament amb els altres sectors (transports, energia, domèstic, agrícola).

Algunes empreses estan posant en marxa tot un seguit de mesures encaminades a aprofitar la seva adaptació a les noves condicions climàtiques, ampliant el negoci i aprofitant comercialment la seva imatge. Moltes d'aquestes accions

han comptat amb l'assessorament de l'Administració catalana i caldria destacar, entre totes elles, la realització en força empreses de Diagnòsis Ambientals d'Oportunitats de Minimització (DAOM), és a dir, anàlisis específiques dels processos productius i els corrents residuals, les quals permeten identificar les oportunitats de millora ambiental vinculada als diversos processos.

Caldria mantenir mecanismes de finançament, tant des de l'Administració com des de les federacions industrials, per tal d'ajudar a reduir els costos. En els propers anys serà clau mantenir l'aplicació d'eines d'adaptació contínua, tot obligant les empreses a innovar, a repensar processos, per tal de respondre amb èxit a les demandes de qualitat ambiental de la societat. En aquesta mateixa línia, està comprovat que aspectes com l'eco-etiquetatge o l'estalvi energètic

associat a un producte present en el mercat li permeten gaudir, potencialment, d'una major demanda.

Les accions anteriors no només han de dur-se a la pràctica dins les empreses sinó que han de donar-se a conèixer a l'opinió pública, tot al·legant el principi de precaució, segons el qual cal actuar sempre que hi hagi indicis de perillositat per a la salut del medi. La indústria ha de prendre un paper de lideratge per tal que tota la societat sigui conscient de l'existència de l'escalfament global del planeta, tot desenvolupant un catàleg d'accions que estalviïn diners, millorin la productivitat i protegeixin el medi ambient. Les companyies que persegueixin l'eficiència energètica, redueixin les seves emissions i efluent i minimitzin la producció de residus, guanyaran competitivitat respecte la resta del sector industrial.

B4.1. La indústria: consideracions prèvies

Una activitat industrial es pot considerar com l'aplicació continuada de diverses tecnologies a un procés de producció. En un sentit estrictament literal, doncs, es podria considerar que l'agricultura o la producció d'energia també són activitats industrials, ja que fan ús de diverses tecnologies i de la seva aplicació obtenen un determinat producte. Això no és vàlid, però, amb el turisme, que es podria entendre com un servei (tot i que molt sovint es parla, de forma poc adequada, d'indústria turística).

Les indústries requereixen, doncs, d'uns mecanismes que actuen sobre unes *matèries primeres*, seguint uns *processos* més o menys complexos, que les transformen en *productes* de més o menys valor afegit, fent ús de tecnologies específiques del sector de producció que es consideri, controlant aquests processos de forma més o menys manual/automàtica, amb més o menys *recursos humans*, i depenent finalment del grau de *comercialització* dels productes elaborats, és a dir, del mercat, per poder continuar exercint tota l'activitat.

Normalment les empreses organitzen el procés de producció i distribució en funció de les demandes dels consumidors i productors sobre els quals, al mateix temps, intenten influir. D'aquesta manera, doncs, les empreses es converteixen en un pont entre el món de l'economia i el món de la biosfera, consumeixen recursos naturals i

ambientals, tot valoritzant-los econòmicament i els introdueixen al mercat (Azqueta, 2002).

Actualment la indústria s'enfronta, a més a més, a haver de fer realitat els bons desitjos ambientals i a les pressions de l'Administració i de l'opinió pública en aquesta temàtica. De postures irreconciliables fins a finals dels 80, però, s'ha passat en els darrers anys a la presa d'iniciatives per disminuir o evitar la contaminació i, fins i tot, a crear empreses i activitats directament relacionades amb la protecció del medi ambient.

Amb una actitud positiva i reflexiva davant els problemes ambientals, com ho és el cas del canvi climàtic, els diferents sectors productius, en particular les empreses que fan l'activitat industrial, poden obtenir avantatges molt clars en un termini de temps no gaire llarg com ara: la reducció del cost per unitat produïda; la generació d'avenços tecnològics; la millora de mercats; certs avantatges sobre la competència; la millora de la seva imatge per part dels clients; una millora de qualitat de vida dels empleats; millora de la seguretat a l'empresa; força garanties de continuïtat de l'activitat de la indústria; etc. (Seoanez, 1995).

Si tenim en compte una perspectiva temporal a més llarg termini, la consideració del nostre planeta, inclosa l'espècie humana i totes les activitats relacionades amb ell, s'arriba al concepte de «sostenibilitat». Des d'aquest punt de vista, cal

reflexionar i adonar-se que la indústria en general, com a element que indueix el canvi climàtic haurà d'adaptar-se a les conseqüències, però, sobretot, haurà d'actuar per mitigar-les. Resulta curiós que la indústria sigui un sector socioeconòmic receptor i alhora un responsable del problema.

I anant més lluny, com diu en Ricardo A. Navarro, a *Desafíos de la Industria para la sustentabilidad*: «En observar els principals problemes ecològics i socials que pateixen les nostres societats, es conclou que el principal desafiament que afronta la humanitat és tornar sustentable la nostra civilització, no tant aconseguir un desenvolupament sostenible, sinó una societat sustentable. Això presenta a la indústria desafiaments a nivell ecològic, social, econòmic i polític, com la necessitat de reduir el consum de recursos, distribuir equitativament bens i serveis i reduir el deute ecològic que tenen els països del nord amb els del sud».

B4.2. La indústria: un sistema sensible al clima

Per sensibilitat al clima s'entén el grau en què un determinat sector és afectat, adversament o beneficiosa, per estímuls relacionats amb el clima (característiques mitjanes del clima, variabilitat climàtica o la freqüència i magnitud de fenòmens extrems). L'afectació pot ser directa (per exemple, per un canvi en la producció agrícola en resposta al canvi de la temperatura mitjana) o indirecta (per exemple, danys causats per un augment en la freqüència de les inundacions costaneres per elevació del nivell del mar).

En el cas d'una indústria, aquesta es pot veure afectada pel canvi climàtic en una de les circumstàncies següents:

- 1) Indústries directament sensibles al clima:
 - Gestió d'infraestructures costaneres (ports, carreteres, ferrocarril).
 - Indústries situades a primera línia de mar (hotels, explotacions salines, refineries de petroli, pesca, etc.).
 - Canvis en els consums energètics per aug-

ment de les necessitats de refrigeració, de transport o d'irrigació.

- 2) Indústries on els recursos necessaris són sensibles al clima:
 - Quasi totes les indústries, ja que el preu de l'energia en depèn.
 - Indústria agroalimentària (alimentació, begudes refrescants).
 - Indústries que requereixen matèria forestal (sector de l'edificació, paper, generació d'energia).
 - Transport marítim (navegació).
- 3) Indústries amb un mercat sensible al clima:
 - Infraestructures energètiques.
 - Canvis en la demanda de transport o d'aliments a causa dels moviments migratoris.

Els sectors econòmics i els sistemes naturals que es veuran afectats per un canvi sostingut del clima són diversos, com es veu al llarg d'aquest estudi sobre el canvi climàtic a Catalunya. Hom pot observar casos d'afectació a causa del clima que de forma indirecta poden afectar altres interessos. Un exemple és el turisme, que constitueix un dels sectors econòmics que més llocs de treball proporciona, amb un volum de negoci superior al d'altres activitats econòmiques i que té en les condicions climàtiques existents a Catalunya un dels principals actius. Per tant, un canvi climàtic podria tenir una afectació claríssima sobre aquest sector. Només cal pensar què passaria si es produïssin problemes d'abastament de recursos hídrics, un increment de la temperatura i, per tant, una demanda més elevada de refrigeració artificial als establiments turístics (amb la corresponent despesa econòmica) o si els canons de neu deixessin de tenir les condicions mínimes per al seu funcionament.

Amb tota seguretat, en llegir aquestes frases hom pensa més en el sector serveis que no pas en tota la indústria auxiliar que depèn de la seva activitat. En la fàbrica de tovallons de paper, en la de mobiliari de cuina o en la de fabricació d'aparells de refrigeració, per posar alguns exemples, que subministren materials a una zona geogràfi-

ca molt turística, es pot donar una reducció de les comandes, un excés d'estocs, etc., la qual cosa podria comportar una reducció de beneficis i la reducció de llocs de treball. No obstant això, és possible que no tot siguin problemes. Així, el canvi climàtic també pot generar algunes oportunitats de negoci, alguna d'elles ben imaginativa.

El sector industrial no és tan sensible a impactes directes causats pel canvi climàtic com altres (l'agrícola, el turisme, el lleure) però, indirectament, el clima pot tenir una incidència molt important sobre determinats tipus d'activitat industrial. Per tal d'estudiar aquest aspecte, s'han construït models que relacionen les operacions de negoci i l'impacte del clima sobre el mercat, tot provant de detectar quan els canvis són socioeconòmics i quan són atribuïbles a altres causes (inclòs el clima), sense que s'hagi trobat cap resposta ben estructurada.

Un altre aspecte de la indústria que cal considerar, lligat amb el clima, i molt especialment amb un desenvolupament sostenible, és el consum d'energia. Catalunya és un generador d'energia força net comparat amb la resta de l'Estat espanyol, però a la vegada és un país amb un consum molt elevat, com apareix en el capítol corresponent. L'energia que es consumeix procedeix, en part, de fora del país i, en aquest sentit, caldria ser conscients de la responsabilitat existent en relació a la contaminació atmosfèrica produïda en els indrets on es genera aquesta energia.

No cal posar més exemples d'aspectes socioeconòmics que tenen una clara interdependència respecte el clima, però sí que cal posar-los de manifest per tal que la comunitat empresarial catalana adquireixi consciència de la necessitat de fer una anàlisi de prospectiva, amb un enfocament clarament preventiu. El cas concret de la indústria requereix, a més, una conscienciació sobre el fet que l'escala de temps en la qual pot ser afectada de forma directa pel canvi climàtic amaga escales més reduïdes d'impactes indirectes.

B4.3. Activitat de la indústria catalana

Recentment s'han editat, de forma gairebé simultània, dos treballs sobre la indústria catalana. D'una banda el Departament de Treball, Indústria, Comerç i Turisme de la Generalitat de Catalunya ha fet públic l'*Informe anual sobre la indústria a Catalunya 2002*. De l'altra, i promogut pel Consell de Col·legis d'Enginyers Tècnics Industrials de Catalunya, s'ha editat el llibre *Catalunya, un país industrial*, escrit per Miquel Barceló i Roca. Ambdós llibres fan una anàlisi de la situació actual de cada un dels sectors industrials del país. En tractar-se dels darrers dos estudis publicats sobre l'estat de la indústria catalana, es remet els lectors a aquests treballs si estan interessats en l'anàlisi econòmica que contenen, ja que en aquest capítol només es tractarà la relació entre les activitats industrials i el fenomen del canvi climàtic.

B4.3.1. Dades globals sobre la indústria catalana

A continuació es mostren unes dades genèriques del que representa el sector industrial en la comunitat catalana i la variació experimentada en els darrers anys. Així, la taula B4.1 mostra els principals resultats dels anys 2000 i 2001, on figuren el nombre d'establiments, la població ocupada, els ingressos i despeses d'explotació, i les inversions realitzades (aquestes dades poden ampliar-se consultant la web de l'Institut d'Estadística de Catalunya: <http://www.idescat.es/>). Les taules B4.2 i B4.3 contenen, respectivament, informació sobre l'evolució anual del PIB industrial a Catalunya i l'evolució de la població ocupada en la indústria catalana al llarg dels darrers deu anys.

Les dades contingudes en aquestes dues darreres taules, expressades en format gràfic (figures B4.1 i B4.2), no es corresponen en absolut amb cap de les gràfiques que es poden elaborar a partir de l'evolució dels valors de la temperatura de l'aire, la precipitació, la radiació solar o qualsevol altra variable climatològica. Igualment, cal adonar-se que no tots els sectors industrials te-

	2000	2001	Variació (%)
Nombre d'establiments	42.125	37.129	-11,9
Establiments de 20 ocupats o més	5.895	6.510	10,4
Persones ocupades	673,0	679,5	1,0
Ingressos d'explotació	112.135.911	118.524.722	5,7
Volum de negoci	110.310.520	116.485.102	5,6
Vendes netes de productes	88.479.877	95.177.430	7,6
Vendes netes de mercaderies	17.176.913	16.277.273	-5,2
Prestacions de serveis	4.653.731	5.030.399	8,1
Altres ingressos	1.825.391	2.039.620	11,7
Variació d'existències	1.471.836	488.685	-66,8
Despeses d'explotació	105.079.527	111.122.952	5,8
Consum de primeres matèries	43.704.177	47.160.525	7,9
Consum d'altres proveïments	6.269.937	6.588.545	5,1
Consum de mercaderies	13.475.609	12.273.427	-8,9
Treballs fets per altres empreses	4.377.878	4.940.802	12,9
Despeses de personal	17.248.652	18.602.225	7,8
Serveis exteriors	15.834.005	17.085.193	7,9
Dotacions amortització de l'immobilitzat	4.169.269	4.472.235	7,3
Inversions en actius materials	4.767.749	5.391.175	13,1
Resultat de l'exercici	4.638.343	4.795.021	3,4

Nota: El nombre d'establiments s'expressa en unitats; les persones ocupades en milers.
 Àmbit sectorial: seccions C a E de la CCAE-93 (vegeu taula B4.9).

Taula B4.1. Dades bàsiques de la indústria a Catalunya, en milers d'euros (anys 2000 i 2001)
 Font: IDESCAT. Estadística, producció i comptes de la indústria 2000-2001.

Any	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Variació interanual (%)	-2,8	4,4	5,1	2,5	5,0	4,5	3,8	3,9	1,4	1,3

Taula B4.2. Evolució anual del PIB industrial a Catalunya (període 1993-2002)
 Font: Institut d'Estadística de Catalunya (IDESCAT).

Any	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Variació interanual (%)	-8,4	-6,5	2,6	-1,5	6,9	3,7	-0,7	3,0	3,7	-1,6

Taula B4.3. Evolució de la població ocupada en la indústria catalana (període 1993-2002)
 Font: Encuesta de Población Activa, INE.

nen el mateix comportament, ni a nivell econòmic ni com a resposta a estímuls físics externs com el clima, i que les gràfiques només mostren el comportament del tot el conjunt de la indústria. També hom ha d'adonar-se que les condicions climàtiques varien segons l'emplaçament de la indústria (a la costa, a la plana de Lleida, etc.).

Per poder visualitzar millor la tendència que mostren les dades i millorar la noció del que representen les dades anteriors dins el món productiu estatal, la taula B4.4 compara les dades de població ocupada a l'Estat espanyol i a Catalunya durant el segon trimestre del 2003 per cadascun dels quatre sectors d'activitat en què s'inclouen totes les activitats econòmiques. La taula B4.5 mostra la distribució de la població ocupada en la indústria, classificada en tres grans blocs: energia, química, cautxú i metal·lúrgica; alimentació, tèxtil, fusta, paper i edició; maquinària, material elèctric i de transport

B4.3.2. Sectors industrials a Catalunya

En l'apartat anterior s'ha vist una mostra de com es poden agrupar els diferents sectors industrials a l'hora de diferenciar el camp de treball que ocupa més població. En altres taules estadístiques referides a la indústria es troben més camps, o subsectors, industrials on classificar les activitats productives. La taula B4.6 mostra la població ocupada a Catalunya el segon trimestre del 2003, per sector d'activitat, ressaltant els tres sectors inclosos com activitat industrial que es recollien a les dues taules anteriors. La taula B4.7 mostra el mateix tipus d'informació (referida, però, al quart trimestre de l'any 2002) per a més subsectors, obtinguda dels anuals de l'IDESCAT.



Figura B4.1. Evolució anual del PIB industrial a Catalunya.
Font: elaboració pròpia.



Figura B4.2. Evolució de la població ocupada en la indústria catalana.
Font: elaboració pròpia.

Sector d'activitat	Estat espanyol	Catalunya
Agricultura	934,4	73,7
Indústria	3.128,0	772,1
Construcció	2.010,0	304,4
Serveis	10.593,7	1.696,4
Total	16.666,0	2.846,6

Taula B4.4. Població ocupada en el 2n trimestre del 2003, en milers.
Font: Enquesta de població activa. Instituto Nacional de Estadística.

	Estat espanyol	Catalunya
Energia, química, cautxú i metal·lúrgica	1.097,8	264,0
Alimentació, tèxtil, fusta, paper i edició	1.091,4	246,2
Maquinària, mat. elèctric i de transport	938,7	261,9
Total indústria	3.128,0	772,1

Taula B4.5. Població ocupada en la indústria en el 2n trimestre del 2003, en milers.
Font: Enquesta de població activa. Instituto Nacional de Estadística.

Sector d'activitat	Població ocupada (en milers de persones)
Agricultura, ramaderia, silvicultura i pesca	73,7
Energia, química, cautxú i metal·lúrgia	264,0
Alimentació, tèxtil, fusta, paper i edició	246,2
Maquinària, material elèctric i de transport	261,9
Construcció	304,4
Comerç, hoteleria i reparacions	580,3
Transports i telecomunicacions	194,1
Serveis financers a empreses i lloguers	323,6
Administració pública, educació i sanitat	428,1
Altres serveis col·lectius	170,2
TOTAL	2.846,6

Taula B4.6. Població ocupada a Catalunya, per sectors (2n trimestre de l'any 2003).

Font: IDESCAT, a partir de dades de l'enquesta de població activa.

Per a una nova reagrupació de les activitats industrials, la taula B4.8 mostra l'evolució del seu comerç exterior. Aquesta aparent manca de normalització en la classificació de les activitats industrials no és real, ja que el *Decret 97/1995, de 21 de febrer*, del Govern català aprovà la *Classificació catalana d'activitats econòmiques de 1993* (CCA-93), que no és més que una versió abreujada i en llengua catalana de la *Clasificación nacional de actividades económicas de 1993* (CNAE-93). La taula B4.9 recull aquesta classificació, sense explicitar les divisions i grups de cada subsecció. S'hi han ressaltat les seccions que hom acostuma a considerar com activitats típicament industrials.

B4.4. La preocupació ambiental de la indústria

Els empresaris catalans no tenen la percepció que el canvi climàtic sigui realment un problema, ja que hi ha altres temes que són més prioritàris a l'hora de prendre decisions en el si de les seves empreses i que són lluny dels aspectes

ambientals. Una enquesta realitzada per l'Institut DEP, a petició del Centre per a l'Empresa i el Medi Ambient (CEMA), a 802 directius d'indústries catalanes de quatre sectors d'activitat –el químic (CNAE93 codi 24), el tèxtil i cuir (CNAE93 codis 17,18 i 19), l'alimentari (CNAE93 codi 15) i el metal·lúrgic i de productes metàl·lics (CNAE93 codis 27 i 28)– va evidenciar l'escàs grau de preocupació, o de consciència, sobre la temàtica ambiental.

Així, davant la pregunta *Des del seu punt de vista com a directiu, quines creu que són les problemàtiques de la indústria catalana?* només un percentatge molt baix de respostes (el 4,7%) va respondre que considera el medi ambient com un tema preocupant per a l'activitat de les empreses. La taula B4.10 recull els resultats a aquesta pregunta.

De fet, la principal força externa que promou la gestió dels aspectes ambientals a la indústria és, sens dubte i amb molta diferència, la legislació existent en aquest àmbit que, evidentment, és d'obligatori compliment. Hi ha, però, altres factors que també influeixen en el fet que les empreses industrials tinguin cura del medi ambient. Entre ells es pot destacar: la millora de la imatge, la reducció de costos, les exigències del mercat i el compromís amb un desenvolupament sostenible. La taula B4.11 recull els sectors industrials apuntats a la taula B4.9 que consideren més important cadascun d'aquests quatre factors (Fundación Entorno, 1998).

Cal dir, en aquest punt, que els empresaris, malgrat saber que la gestió ambiental de la seva empresa els pot suposar una rendibilitat econòmica, una millora de la imatge i un coneixement dels seus punts febles, a més de complir amb les normatives, troben com a barreres per actuar d'una forma ambientalment correcta: la manca

(cada vegada menys) de recursos humans preparats per dur la tasca de gestió ambiental; el cost que comporta aquesta i la pròpia manca de conscienciació i coneixement ambiental dels empresaris (Fundación Entorno, 1998).

En el cas de la importància del tema ambiental, els directius d'empresa responen la pregunta *Em podria dir fins a quin punt està d'acord amb les següents idees?* Tal com reflecteix la taula B4.12, de les dades obtingudes hom pot deduir un aparent reconeixement de la importància de tenir en compte el medi ambient en un futur immediat, però també hi ha un percentatge significatiu de respostes que valora com a gravós aquest tipus de consideració en els seus processos de producció.

A la taula B4.13 s'observa que un 66% de les indústries catalanes es troba sense una secció, departament o persona responsable de la gestió ambiental, així com tampoc no han externalitzat aquesta tasca a una consultora o gestora, i tan sols el 34% de les empreses de caràcter industrial de Catalunya ha dissenyat i aplicat un sistema de gestió ambiental.

B4.5. Impactes del canvi climàtic i vulnerabilitat dels diferents sectors

El clima no afecta de la mateixa manera tots els sectors d'activitat industrial, ni totes les empreses del mateix sector funcionen de la mateixa manera, de forma que unes podran adaptar-se millor que d'altres a canvis en la conjuntura econòmica del moment quan aquesta es vegi fortament influïda per l'impacte d'un canvi del clima.

En aquest apartat hom podria esperar una detallada relació d'impactes per sectors a causa del canvi climàtic i no la trobarà ja que no és l'objectiu d'aquest estudi fer-ho tan exhaustivament. Cas de necessitar-se, comportaria relacionar per a cada sector els diferents elements que intervenen en l'activitat industrial que li és característica, tot diferenciant, entre d'altres factors, quines

Sector d'activitat	Persones assalariades
Indústries extractives, petroli i energia	15.024
Productes energètics i refinament de petroli	1.052
Extracció de minerals no energètics	3.222
Energia elèctrica, gas i aigua	10.750
Alimentació, begudes i tabac	63.260
Tèxtil, confecció, cuir i calçat	79.000
Indústries tèxtils	50.279
Indústries de la confecció, del cuir i del calçat	28.721
Indústria de la fusta i altres indústries manufactureres diverses	36.067
Paper, edició, arts gràfiques i reprografia	52.311
Indústries químiques	57.700
Cautxú i matèries plàstiques	29.456
Altres productes minerals no metàl·lics	22.678
Metal·lúrgia i fabricació de productes metàl·lics	81.477
Metal·lúrgia	11.217
Productes metàl·lics (excepte maquinària i equips)	70.260
Maquinària i equips mecànics	37.199
Màquines d'oficina i instruments	8.243
Màquines d'oficina i equips informàtics	750
Instruments de medicina, de precisió i d'òptica	7.493
Equips elèctrics i electrònics	38.681
Fabricació de maquinària i materials elèctrics	31.353
Materials electrònics; aparells de ràdio, TV i comunicacions	7.328
Fabricació de materials de transport	53.141
Fabricació de vehicles de motor, remolcs i semiremolcs	49.206
Fabricació d'altres materials de transport	3.935
Total indústria	849.833

Taula B4.7. Nombre d'assalariats en els sectors industrials a Catalunya (4t trimestre de l'any 2002)

Font: INSS (afiliats al Règim General de la Seguretat Social).

	Exportacions (M€)	Importacions (M€)
Agricultura, ramaderia, caça, silvicultura i pesca	706,22	2.027,99
Extracció i refinació de petroli. Extracció de carbons	321,25	3.359,84
Productes alimentaris i begudes	2.941,73	3.563,32
Indústries tèxtils, cuir, calçat, vestit i altres	3.198,87	3.944,28
Indústries químiques	6.850,48	10.018,86
Metal·lúrgia i productes metàl·lics	1.810,42	3.489,91
Construcció de maquinària i equips mecànics	2.869,70	4.704,25
Construcció de maquinària d'oficina, ordinadors i instrments de precisió i òptica	965,63	2.283,09
Maquinària i materials elèctrics i electrònics	3.958,01	4.903,74
Vehícles de motor i altres materials de transport	7.355,43	7.121,12
Resta de branques	4.749,33	5.556,36
No classificats	479,80	246,09
TOTAL	36.206,86	51.218,84

Taula B4.8. Evolució del comerç exterior per branques d'activitat (any 2002)
 Font: Institut d'Estadística de Catalunya.

són les matèries primeres que utilitza, quins processos de transformació segueix, en quines condicions laborals es fa, i quina pot ser la demanda del mercat, quant als seus productes, si canvien les condicions climàtiques.

A continuació es presenten alguns detalls particulars, prou significatius, de com s'espera que el canvi climàtic afecti determinades activitats industrials, i que han de fer pensar en altres casuístiques que es poden donar en altres sectors. El que es fa és denunciar, amb alguns casos concrets, que qualsevol indústria té un grau de vulnerabilitat al canvi climàtic, o incapacitat de fer front als efectes adversos derivats d'una variació climàtica a què es trobi sotmesa. La vulnerabilitat és una funció del caràcter, magnitud i grau de variació climàtica a la qual la indústria s'exposa, de la seva sensibilitat, i de la seva capacitat d'adaptació.

Els serveis són, en general, menys sensibles i menys vulnerables als impactes directes del canvi climàtic que les activitats manufactureres. Això es deu al fet que la temperatura, la pluja o els vents incideixen només sobre les façanes dels edificis on es realitzen les funcions de servei. Ara bé, com en la majoria d'indústries, les condicions de treball en aquests edificis, cas que es vegin afectades per altes temperatures a l'estiu, poden afectar el benestar dels treballadors, així com la seva productivitat. De la mateixa manera, un increment de les precipitacions induirà un augment de les necessitats de manteniment. Un increment en la demanda de refrigeració artificial de l'interior de les empreses farà augmentar les emissions de CO₂ i, al mateix temps, la factura energètica. Indirectament, els impactes del canvi de clima també podran reflectir-se en la demanda del mercat (per exemple, a través d'un increment en la demanda de vegetals i begudes refrescants a l'estiu).

Seccions	Subseccions	Descripció
A		Agricultura, ramaderia, caça i silvicultura
B		Pesca
C		Indústries extractives
	CA	Extracció de productes energètics
	CB	Extracció d'altres minerals, llevat de productes energètics
D		Indústries manufactureres
	DA	Indústries de l'alimentació, begudes i tabac
	DB	Indústries tèxtils i de la confecció
	DC	Indústries del cuir i del calçat
	DD	Indústries de la fusta i del suro
	DE	Indústries del paper, arts gràfiques, suports enregistrats
	DF	Coqueries, refinació de petroli i combustibles nuclears
	DG	Indústries químiques
	DH	Transformació del cautxú i de matèries plàstiques
	DI	Fabricació d'altres productes minerals no metàl·lics
	DJ	Metal·lúrgia i fabricació de productes metàl·lics
	DK	Construcció de maquinària i equips mecànics
	DL	Materials i equips elèctrics, electrònics i òptics
	DM	Fabricació de material de transport
	DN	Indústries manufactureres diverses
E		Energia elèctrica, gas i aigua
F		Construcció
G		Comerç i reparacions
H		Hoteleria
I		Transport, emmagatzematge i comunicacions
J		Mediació financera
K		Activitats immobiliàries, lloguer; serveis empresarials
L		Administració pública, defensa i SS obligatòria
M		Educació
N		Activitats sanitàries i veterinàries, serveis socials
O		Altres activitats socials i serveis; serveis personals
P		Llars que ocupen personal domèstic
Q		Organismes extraterritorials

Taula B4.9. Classificació catalana d'activitats econòmiques de 1993 (CCAE-93).
Font: IDESCAT.

Principals problemàtiques de la indústria catalana	%
Desprotecció i falta d'ajudes	11,4
Falta de qualificació i formació dels treballadors	9,2
Característiques del mercat de treball	8,9
Competència i competitivitat (horaris, grans empreses, grans superfícies)	7,6
Competència del mercat exterior	5,9
Augment dels costos (matèries primeres, preu del dòlar, energies)	4,9
Medi ambient	4,7
Impostos	3,7
Administració i legislació	3,0
Morositat	2,8
Dificultats de modernització	2,1
Dificultats de finançament	13,2
Altres	2,3
Cap	24,6
Ns/Nc	12,5

Pregunta: Des del seu punt de vista com a directiu, quines creu que són les problemàtiques de la indústria catalana?

Taula B4.10. Resultats de l'enquesta sobre problemes de la indústria catalana.

Font: Institut DEP, Empresa i Medi ambient, any 2, núm. 5-6, Desembre 2001.

L'augment de la temperatura tindrà un impacte sobre l'efectivitat dels processos de refrigeració en el sector manufacturer, i no tant en el d'activitats extractives que es realitzen a l'aire lliure. La indústria ha de respondre a aquests problemes cas per cas. Per exemple, alguna empresa haurà de modificar (canviar, renovar) els ventiladors, la qual cosa li suposarà una inversió costosa. Aquest canvis s'hauran de fer dins un redisseny de les instal·lacions i així mateix es requerirà una flexibilitat en el redisseny de processos i productes en resposta a la demanda del mercat. El fet que les plantes manufactureres tinguin un període de vida determinat, també ha de ser un factor a tenir en compte en el càlculs. Evidentment, és poc incentivador pensar en canviar determinades instal·lacions quan el seu període de funcionament estigui a punt de finalitzar.

Algunes indústries, com la paperera o l'agroalimentària, tenen grans requeriments hídrics, que haurien de començar a reduir.

La taula B4.11 mostra algunes vulnerabilitats de la indústria manufacturera, en general, i de la indústria química en particular, comparant-les amb les que es donen en els sectors energètic, de la construcció i de lleure.

Factor	Sector industrial
Millora de la imatge	<ul style="list-style-type: none"> • Extracció de minerals (CA i CB) • Indústries de la fusta i el suro (DD) • Refinació de petroli i tractament de combustibles nuclears (DF)
Reducció de costos	<ul style="list-style-type: none"> • Indústria de la fusta i el suro (DD) • Indústries manufactureres diverses (DN)
Exigències del mercat (avantatge competitiu)	<ul style="list-style-type: none"> • Indústria d'equip elèctric, electrònic i òptic (DL) • Indústria de la transformació de cautxú i matèries plàstiques (DH)
Compromís amb el desenvolupament sostenible	<ul style="list-style-type: none"> • Producció i distribució d'energia elèctrica, gas i aigua (E) • Indústria del paper, edició i arts gràfiques (DE) • Indústria d'altres productes minerals no metàl·lics (DI)

Taula B4.11. Factors que influeixen en el comportament ambiental de les empreses

Font: Fundació Entorno (1998).

Grau d'acord amb les idees següents	% d'acord
El consum verd serà un factor determinant en els propers anys	60,2
Produir respectant el medi ambient ajuda a vendre el producte	52,3
El mercat autoregularà les actuacions ambientals de les empreses	48,1
Tenir en compte el medi ambient fa augmentar el cost de la producció	46,9
Al segle XXI el medi ambient serà el motor de la competitivitat	45,3
Tenir en compte el medi ambient implica més hores de feina del personal	9,2
En una economia global, les empreses que tenen cura del medi ambient estan en desavantatge	37,3

Pregunta: Em podria dir fins a quin punt està d'acord amb les idees següents?

Taula B4.12. Percentatge d'acord dels directius d'empresa catalans sobre la importància dels temes ambientals en les seves empreses.
Font: Institut DEP, Empresa i Medi ambient, any 2, núm. 5-6, Desembre 2001.

En la indústria química hi ha alguns processos –alguns de condensació– que es veuen afectats per la necessitat de sistemes de refrigeració. Un increment significatiu en la temperatura màxima (quan aquesta sobrepassa els 25-30°C) limita l'efectivitat dels sistemes de refrigeració habituals i n'incrementa els costos de funcionament. En cas que s'hagin d'instal·lar nous sistemes de refrigeració, els costos addicionals poden ser de milers o, fins i tot, de milions d'euros, en funció de la grandària de la planta.

La qualitat de l'aigua és un aspecte important per a les companyies que prenen l'aigua dels rius. Tant si ha plogut intensament com si la pluja ha estat escassa durant un llarg temps, en els rius s'originen fluxos turbulents que fan entorbolir l'aigua, disminuint-ne la qualitat i afectant els processos químics que en depenen. Sempre es pot recórrer a dipòsits d'aigua o plantes de tractament, però això suposa uns costos addicionals elevats. Els escassos cabals a l'estiu provoquen, a més, que les emissions (descàrregues) d'aigües residuals puguin sobrepassar els límits permesos, en augmentar les concentracions, i afectar seriosament els ecosistemes aquàtics.

D'altra banda, l'increment de la pluja afectarà alguns processos de tractament d'aigües residuals, ja que aquests estan dissenyats amb períodes de retorn de la precipitació de 3 a 5 anys, no més freqüents. En definitiva, doncs, caldrà invertir en separar les aigües pluvials de les residuals.

Altres sectors industrials també es veuran afectats per les condicions tèrmiques a la que es veuran sotmesos els treballadors durant l'estiu. El problema és especialment problemàtic en els

	%
Gestió combinada internament i externa	11,5
Gestió externalitzada	12,6
Gestió interna	10,1
No gestiona	65,8

Pregunta: A la seva empresa existeix una àrea, secció, departament o responsable que gestioni les qüestions ambientals? La seva empresa gestiona part o la totalitat de les qüestions ambientals a través d'alguna gestora o consultora mediambiental?

Taula B4.13. Estat de la gestió ambiental a les empreses catalanes.
Font: Institut DEP, Empresa i Medi ambient, any 2, núm. 5-6, Desembre 2001.

Activitat empresarial	Aspectes beneficiosos	Aspectes perjudicials	Comentari
Indústria química	<ul style="list-style-type: none"> – Millors condicions d'emmagatzematge. – Menor risc de glaçades. – Nous i més extensos mercats (p.ex. detergents). – Oportunitat de redissenyar plantes. 	<ul style="list-style-type: none"> – Més refrigeració (nous equips i augment dels costos de funcionament). – Gestió de l'aigua: augment del consum. – Risc d'inundacions i tempestes. – Pèrdua de mercats (p.ex. cas de líquids anticongelants). – Augment de la volatilitat de productes químics a altes temperatures. 	Les consideracions comercials pesen més que les consideracions associades als impactes del canvi climàtic.
Indústria manufacturera	<ul style="list-style-type: none"> – Menors costos de funcionament (menor energia per escalfar a l'hivern). – Expansió a nous mercats (p.ex. energia renovable i infraestructures exteriors de suport; begudes i menjars preferits amb temps calorós, etc.). 	<ul style="list-style-type: none"> – Condicions laborals. – Augment potencial de la demanda d'energia per a refrigeració. – Augment del risc d'inundacions i tempestes. 	<p>Possible augment d'una resposta d'adaptació gradual als canvis i/o als extrems.</p> <p>Necessitat de demostrar l'existència de canvis reals en el clima a l'hora d'impulsar canvis a les empreses.</p>
Sector de la construcció	<ul style="list-style-type: none"> – Menor factura energètica a l'hivern. – Nou disseny d'oportunitats de cara a estalviar diners en les factures per calefacció, consum d'aigua i manteniment. 	<ul style="list-style-type: none"> – Condicions laborals i de residència. – Major ús d'energia a l'estiu per a refrigeració. – Augment del risc d'inundacions i tempestes. – Augment del manteniment (a causa de les tempestes, etc.) i de les mesures adaptatives possibles. – Vulnerabilitat d'edificis antics i/o maquinària. – Augment dels costos de funcionament (p.ex. assegurances). 	Es podran donar reglamentacions diferents en els diferents països de la UE. La utilització de recursos naturals en la construcció ja fa temps que va començar a provar-se (arquitectura bioclimàtica).
Sector energètic	<ul style="list-style-type: none"> – Nous mercats i tecnologies. – Oportunitats per a fonts d'energia no fòssils (p.ex. biogàs, vent, biomassa, etc.). – Oportunitats de millora de l'eficiència i conservació de l'energia. 	<ul style="list-style-type: none"> – Risc d'inundacions i tempestes i els seus efectes sobre la distribució d'electricitat. – Sobreescalfament de cables soterrats. – Episodis extrems locals i els seus impactes (p.ex. tempestes). 	<p>Important política d'eficiència energètica (p.ex. programa de rendiment estàndard).</p> <p>Canviar el concepte d'energia com a recurs.</p>
Sector del lleure	<ul style="list-style-type: none"> – Expansió dels mercats. – Nous mercats. – Benefici a altres sectors per efecte «multiplicador». 	<ul style="list-style-type: none"> – Variabilitat del temps meteorològic. – Risc d'inundacions i tempestes. – Costos de funcionament de les instal·lacions turístiques (p.ex. assegurances). – Pèrdua del confort a la costa. 	Els impactes del canvi climàtic dependran, a més, de canvis imprevisibles en aspectes socials, econòmics i culturals.

Taula B4.14. Vulnerabilitat de diferents sectors econòmics al canvi climàtic.
 Font: elaboració pròpia.

llocs de treball on cal anar protegit amb molta roba. Aquestes dificultats provocaran una disfunció en la productivitat (i en la motivació dels treballadors). Instal·lar un sistema de refrigera-

ció en una factoria és una acció costosa, però també ho és la factura d'una assegurança que contempli les situacions d'estress (inclòs l'estress tèrmic) com a causa de baixa laboral.

La indústria agroalimentària pot considerar-se un sector força sensible i vulnerable al canvi climàtic, ja que inclou un conjunt d'activitats força disperses, que fan referència a diferents processos de preparació i de transformació de tota mena de matèries primeres vegetals i animals, per condicionar-les principalment per a l'alimentació humana, però també per a la del bestiar i els animals domèstics. Es tracta, doncs, d'un sector fortament condicionat per l'existència, o no, d'unes matèries primeres que depenen clarament del clima, bé per l'acció directa sobre els processos de creixement de les plantes i dels animals, bé per la seva influència en la transmissió de determinades malalties, sense oblidar l'acció que pot generar sobre la demanda de determinats productes.

B4.6. Adaptació de la indústria al canvi climàtic

Encara que comença a haver-hi certa consciència sobre la qüestió del canvi climàtic i dels seus efectes potencials, molts empresaris prefereixen esperar i veure l'evolució del clima allà on tenen ubicades les plantes industrials abans de fer inversions d'adaptació. Des d'un punt de vista estrictament comercial, cal invertir quan els recursos són necessaris, però alhora cal tenir una idea del que pot passar per facilitar la gestió de la nova situació quan aquesta es produeixi.

Cal disposar, doncs, d'unes organitzacions que facin un seguiment de la situació climàtica i proporcionin uns mecanismes institucionals que permetin una ràpida resposta i adaptació al canvi en les variables climàtiques. No totes les organitzacions ni tots els sectors econòmics estan preparats per al canvi climàtic a causa de la novetat que suposa aquest fenomen. D'altra banda, es tracta d'un potencial problema a llarg termini, els efectes del qual s'esperen en un horitzó que supera de llarg l'expectativa temporal de funcionament del negoci (de 1 a 5 o 10 anys en molts sectors). En alguns països només les companyies que gestionen l'aigua i l'energia planifiquen més enllà d'una dècada (Kerr i McLeod, 2001).

A un altre nivell, i a tall d'exemple, es constata que els arquitectes i els constructors encara fan ús de les dades climàtiques del període 1961-1990 a l'hora d'avaluar els requeriments per a la calefacció o refrigeració dels edificis, quan en realitat estan dissenyant habitatges, oficines, fàbriques o equipaments que haurien de ser operatius en un període de 50 anys. Per tant, això implica que moltes d'aquestes construccions s'hauran d'adaptar, en el futur, a les noves condicions climàtiques existents.

B4.7. Potencials accions de mitigació aplicables

En l'informe sobre l'aproximació de la Unió Europea als acords de Kyoto s'afirma el següent: *«Atès que les emissions de CO₂ són inherents a l'ús de combustibles fòssils (carbó, petroli, gas) i encara no s'han trobat tecnologies alternatives, l'única forma de reduir les emissions passa per modificar les estructures, els processos, els equipaments i els comportaments que directament o indirectament fan ús dels combustibles fòssils. A causa del llarg cicle de vida de les inversions en els sectors del transport i de l'energia, i atès el mateix llarg període de funcionament d'alguns béns que consumeixen energia (cotxes, refrigeradors, etc.), s'ha de plantejar una estratègia relacionada amb les emissions de CO₂ amb un horitzó llarg, molt més que per a altres problemàtiques ambientals.*

La indústria ha de tenir un paper de lideratge per tal que tothom pari atenció a l'escalfament global del planeta, tot desenvolupant un catàleg d'accions que estalviïn diners, millorin la productivitat i protegeixin el medi ambient. Les companyies que persegueixin l'eficiència energètica i previnguin la contaminació guanyaran competitivitat sobre aquelles empreses que no facin aquests canvis.

La indústria ja ha començat a donar al problema la importància que mereix. L'any 1998, per exemple, els fabricants europeus d'automòbils es van comprometre a desenvolupar una nova generació de motors que reduirà considerablement les emissions de CO₂ dels vehicles de passatgers que es llancin al mercat

entre els anys 2008 i 2012. Aquest compromís té una particular significació ja que es tracta d'un pas donat voluntàriament per la indústria de l'automòbil. La Comissió Europea està convençuda que l'acció voluntària de les empreses europees constitueix una forma eficaç de combatre la contaminació industrial. No obstant això, està decidida a proposar normes obligatòries en el control de les emissions si el sector s'absté d'actuar» (Direcció General de Medio Ambiente, Comunidad Europea, 2002).

La indústria està començant a comprendre que l'adopció de tecnologies netes no només permet reduir els costos, sinó també aconseguir una imatge millor i guanyar nous clients. Segons l'informe 2000 de la Taula Rodona d'Industrials Europeus sobre el canvi climàtic i la col·laboració entre governs i indústria, els senyals del mercat poden jugar un paper important a l'hora de convèncer les empreses de la necessitat de complir els objectius.

En comparació amb altres sectors (el de transports, l'energètic, el domèstic, l'agrícola), el sector industrial català és el que més ha avançat en la integració ambiental, on destaquen les accions de gestió ambiental i les que s'han promogut des de l'Institut Català d'Energia (ICAEN).

Algunes empreses catalanes han començat a aplicar una diagnosi ambiental d'oportunitats de minimització (una DAOM), és a dir, una avaluació de la seva activitat industrial per detectar possibles oportunitats de prevenció i reducció de la contaminació i proporcionar a l'empresa dades suficients perquè pugui orientar la seva política cap a pràctiques i tecnologies més netes i que siguin tècnicament i econòmicament viables. Cal diferenciar aquest tipus d'eina de l'auditoria ambiental, ja que aquesta tracta de detectar el grau de compliment de la legislació, mentre que la DAOM analitza específicament els processos productius i els corrents residuals, a fi d'identificar les oportunitats de millora ambiental vinculada als processos (Departament de Medi Ambient, 1999).

Per anar endavant, les empreses hauran d'adaptar-se i fer les correccions que siguin necessàries davant dels possibles efectes del canvi climàtic, amb una despesa que variaran en funció de cada companyia. Amb un temps de vida de la maquinària de les plantes industrials que s'estima d'entre 10 i 40 anys, els gestors només es troben en disposició de canviar-la (per adaptar-la al canvi climàtic) quan s'hagi de renovar, no abans. Les millores en l'eficiència energètica poden oscil·lar entre un 20 i un 30% quan es renovin els equips.

B4.7.1. Accions impulsades pels sectors industrials

La mitigació de l'impacte de la indústria sobre el clima passa per accions que comporten una inversió de capital de vegades difícil d'internalitzar. La llarga durada dels equips específics utilitzats en els processos productius inhiuix molt la flexibilitat de la indústria amb relació a la reducció de les emissions. Les perspectives de creixement de la indústria són, en general, limitades i s'observa una utilització de sistemes eficients energèticament per sota de les capacitats que existeixen. En aquestes circumstàncies, cal incentivar les indústries que consumeixen molta energia mitjançant estímuls al finançament de canvi dels processos o de canvi de tecnologia.

En empreses del sector industrial, les principals mesures van encaminades a l'ús eficient de l'energia i a la substitució de combustibles, a través del que hom anomena *bones pràctiques*. En el sector elèctric s'està iniciant la substitució d'equips existents per altres de menor consum energètic, així com la cogeneració (producció combinada de calor i electricitat). Al mateix temps, s'impulsen les energies renovables, el desenvolupament de mesures centrades en potenciar l'ús de biocombustibles, el foment de l'eficiència energètica, l'elaboració de plans de seguiment de la contaminació atmosfèrica, la promoció de processos i productes menys contaminants, etc.

Des del punt de vista del sector industrial s'ha avançat de forma significativa pel que fa a l'efi-

ciència energètica, ja que la despesa energètica és un cost de producció. Per aquesta raó s'ha produït un important desenvolupament de la cogeneració, la qual s'afegeix a les millores tecnològiques que contribueixen a l'estalvi energètic.

El sector de l'acer i el ferro genera més d'un 30% de les emissions de CO₂ generades per la indústria, però s'estima en alguns models que aconseguiran reduir-les entre el 8% i el 18%. Aquest sector intenta canviar la composició de la seva producció, tot buscant una qualitat més elevada dels acers que produeix, més valor afegit, i fa ús de menys energia per unitat de valor afegit. Aquests canvis estructurals no només permeten consumir menys energia sinó també menys recursos de base.

Al mateix temps, s'espera que els consums energètics baixaran ja que es projecten millores d'eficiència en els equips energètics. Es preveu fondre i reduir els materials directament, la qual cosa requereix menys hulla en els forns i menys preparació del mineral; en termes energètics, fondre i aplanar el material disminueix els consums mitjançant tècniques de connexió calenta.

Les indústries metàl·liques no fèrriques no contribueixen gaire a les emissions, malgrat la seva dependència de l'electricitat, i es preveu una reducció a base de millorar aspectes de gestió, fer auditories i millorar els sistemes de control. L'energia es confina en un nombre limitat de processos i tecnologies específiques, de tal forma que es busca una millora de l'eficiència energètica en forns i incineradores.

El sector químic també ha reduït les seves emissions i s'espera que continui fent esforços per reduir-les encara més. Això ha estat i continuarà sent possible gràcies a una utilització més gran de les bombes de calor en els processos tèrmics (escalfament, refredament) i a una conversió dels processos relacionats amb els equips elèctrics, tot substituint els equips mecànics per altres basats en el vapor.

Les accions a adoptar des del sector de la indústria de minerals no metàl·lics són més aviat limitades, especialment pel que fa als processos bàsics. Això es deu al fet que el sector té el capital concentrat i els equips tenen una vida útil molt llarga. De totes formes, s'apunten accions concretes que permeten reduir el seu impacte, com ara incrementar el control dels processos, impulsar conversions de combustible (cap al gas natural) en els forns, així com millores en el disseny d'incineradors i recuperació de calor i residus i, en general, conversions en favor de processos elèctrics (millor que tèrmics) per algun subsector (per exemple, en la fabricació de vidre) i per a tractaments mecànics, mesclades, molturació i polvorització.

Les indústries del paper i la polpa també poden reduir les emissions de GEH mitjançant l'estalvi de calor i electricitat mitjançant la cogeneració. Des del punt de vista tècnic s'apunten actuacions en els processos d'assecat, en la reducció de la polpa, en l'ús de sensors en el refinat del paper, etc. L'Associació Espanyola de Fabricants de Pasta, Paper i Cartó (ASPAPPEL, 2003) apunta algunes propostes per tal que el sector del paper redueixi la seva contribució al canvi climàtic. Algunes de les mesures proposades són: elaboració i compliment d'un protocol per a la imputació de les emissions directes i indirectes (associades a activitats elèctriques), foment de la cogeneració, disseny i execució d'un pla sectorial d'eficiència energètica per al període 2003-2012, així com d'un pla de substitució de combustibles, elevació de la fracció de paper recuperada i reciclada i, finalment, foment d'emborbells forestals sostenibles de creixement ràpid.

La indústria del ciment, que contribueix, aproximadament, amb un 20% de totes les emissions antropogèniques de CO₂ és responsable d'un 10% de l'escalfament del planeta. Per aquest motiu, doncs, de cara al futur el comerç de les emissions de CO₂ ha de ser molt important per aquest sector industrial (McCaffrey, 2001).

Les empreses elèctriques disposen d'una àmplia gamma de possibilitats a l'hora d'adoptar mesu-

res o actuacions sobre la demanda. Aquestes mesures es poden agrupar en dos grans àmbits: les de tipus socioeconòmic i les de tipus tecnològic. Entre aquestes últimes, es poden considerar el disseny d'edificis, en els aspectes d'aïllament i orientació; les fonts autònomes d'energia, com ara la solar o la cogeneració, i les electrotecnologies (d'estalvi d'energia elèctrica; de sistemes d'acumulació; de control i el vehicle elèctric). No cal dir que cada sector industrial, i cada empresa en particular, podrà fer ús de l'electrotecnologia que consideri més idònia.

B4.7.2. Accions impulsades per l'Administració catalana

Si cada sector industrial, per separat, impulsa polítiques en aquest àmbit, es pot arribar a detectar moltes inconsistències entre elles (Abadía, 2002). És imprescindible, doncs, que una única política estableixi els objectius a llarg termini que cal assolir per part de tots els sectors. La Generalitat de Catalunya, mitjançant el Departament de Treball i Indústria, reforça les estratègies existents per tal d'aconseguir millores en l'eficiència energètica i de reducció de les emissions en l'àmbit industrial i domèstic, tot desenvolupant diversos programes (com el de gestió de l'energia a la indústria; el d'acció municipal i el sector terciari; el d'actuació en el sector del transport; i el programa d'actuació en el sector de l'habitatge i els equipaments educatius i assistencials).

A més, conjuntament amb el Departament de Medi Ambient i Habitatge, es potencien les auditories internes dels principals sectors industrials potencialment emissors de CO₂ (química, ciment, refineries de petroli, vidre, ceràmica, etc.).

Una visita ràpida a la pàgina web de l'ICAEN permet observar com des de l'Administració catalana s'ofereix tot un seguit d'actuacions relacionades amb l'energia encaminades a mitigar el canvi climàtic. Els serveis que s'ofereixen als sectors industrials i que poden contribuir a reduir

les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, es poden agrupar en els apartats següents:

- 1) **Gestió de l'energia a la indústria.** Aquest servei té per finalitat valorar les millores que permetin reduir el consum d'energia, diversificar les fonts d'energia emprades i introduir tecnologies energètiques avançades. Des de 1991, l'ICAEN ha fet gairebé 2.000 accions d'assessorament, les quals han permès de detectar un potencial d'estalvi energètic superior a les 166.000 tones de petroli o un estalvi econòmic de més de 240 milions d'euros.
- 2) **Estalvi d'aigua a la indústria.** Per tal de millorar l'aprofitament de l'aigua i la racionalització de l'ús que en fa la indústria, aquest servei diagnòstic la situació de l'empresa en matèria d'ús de l'aigua i aporta millores per disminuir-ne el consum i millorar la qualitat de les aigües abocades a la xarxa de sanejament.
- 3) **Foment de la cogeneració.** Com a eina de promoció de la cogeneració, el servei en qüestió detecta la possibilitat d'ús d'aquesta tecnologia i ofereix assessorament tècnic i financer per a la instal·lació, tant en la indústria com en el sector terciari. Durant els darrers deu anys, la potència de les plantes de cogeneració a Catalunya s'ha multiplicat per deu. Si l'any 1991 la potència instal·lada en plantes de cogeneració a Catalunya era de 158 MW, a hores d'ara supera els 1.150 MW, la potència d'un modern grup nuclear. Això ha fet possible que el 20% de l'electricitat que es produeix a Catalunya tingui el seu origen en les més de 200 plantes de cogeneració existents. Una legislació favorable i la millora en la qualitat i en els costos dels subministraments energètics expliquen aquest èxit.
- 4) **Introducció al lliure mercat elèctric.** Iniciat el 1998, aquest servei assessora les empreses catalanes sobre les opcions de compra en el mercat de l'electricitat davant de la Llei del sector elèctric aprovada el mes de desembre de 1997.

B4.8. Eines desenvolupades a l'estranger aplicables a la indústria catalana

En aquest darrer apartat del capítol dedicat a la indústria catalana i el canvi climàtic es vol mostrar dues experiències, en aparença senzilles, que s'estan duent a terme en un altre país, la implementació de les quals podria ser útil a la indústria catalana. La primera consisteix en fer dues enquestes específiques sobre el canvi climàtic, mentre que la segona presenta una plataforma d'intercanvi d'informació sobre temes ambientals per a les empreses.

B4.8.1. Qüestionari a petites i mitjanes empreses

Les enquestes van adreçades a les petites i mitjanes empreses (PIMES), les que predominen en el teixit industrial català i, al mateix temps, les que tenen menys consciència sobre la necessitat de mitigar el canvi climàtic i els impactes que pugui tenir en el futur. L'objectiu de la primera enquesta és avaluar els riscos i el de la segona el coneixement de les oportunitats actuals de cara a la resposta al canvi climàtic.

Els dos qüestionaris, que es plantegen com autoavaluacions per a les mateixes empreses, són adaptacions de les eines desenvolupades per la *Global Environmental Management Initiative (GEMI)*, que es troben a la pàgina web <http://www.businessandclimate.org> i a la web *Climate Change Solutions for Small, Medium Sized Enterprises* (<http://www.climatechangesolutions.com/sme/default.shtml?o=intro>).

B4.8.1.1. Avaluació de riscos

La mecànica d'aquest qüestionari (vegeu la taula B4.15) consisteix en respondre afirmativament o negativa cada una de les preguntes reproduïdes a continuació, en funció de la situació concreta de la companyia a la qual pertany la persona que respon. En cas d'una resposta afirmativa caldrà tenir cura dels possibles riscos que pugui derivar-se de l'acció esmentada, ja siguin factibles de forma directa o indirecta.

1. Extreure, processar, transportar o vendre combustibles fòssils o generar energia per a la venda és una necessitat primordial?
2. Fabricar àcid nítric, ciment, calç, alumini, hidrofluorocarburs (HFCs), perfluorocarburs (PFCs) o hexafluorur de sofre (SF ₆) és bàsic per a l'empresa?
3. En els processos de producció s'emeten òxid nítric (N ₂ O), diòxid de carboni (CO ₂), metà (CH ₄), HFCs, PFCs o hexafluorur de sofre (SF ₆) com a subproductes?
4. La despesa energètica (incloent l'electricitat) és superior al 2% dels costos totals de funcionament?
5. Algunes matèries primeres han estat produïdes en processos energètics intensius?
6. Alguns clients són companyies que fan un ús intensiu d'energia i que han fet front a la reducció de gasos amb efecte d'hivernacle?
7. Els productes fabricats consumeixen electricitat o combustibles fòssils en el seu funcionament?
8. Els productes fabricats emeten metà (CH ₄), HFC, PFC o hexafluorur de sofre (SF ₆) quan és fan funcionar i/o quan són donats de baixa?
9. Alguna operació pròpia, dels proveïdors o dels canals de distribució és vulnerable a fenòmens de sequera, episodis meteorològics violents o inundacions?

Taula B4.15. Qüestionari per a l'avaluació de riscos.
Font: elaboració pròpia.

B4.8.1.2. Identificació de les oportunitats

La mecànica d'aquest qüestionari consisteix en respondre afirmativament o negativa cada una de les preguntes reproduïdes a continuació, en

funció de la situació concreta de la companyia a la qual pertany la persona que està participant en aquest procés.

A. ESTRATÈGIA DE NEGOCI
<ul style="list-style-type: none"> • En els darrers 5 anys s'ha fet una auditoria energètica dels edificis i dels processos productius per tal de millorar-ne l'eficiència i reduir el consum de combustible? • Es venen productes o serveis, i/o es té una expertesa rellevant quant a eficiència energètica, cogeneració, emmagatzematge d'energia, energies renovables, tecnologies basades en hidrogen com a combustible, refrigeració o conservació de l'aigua? • L'empresa es troba en condicions de ser líder en qüestions ambientals?
B. ESTRATÈGIA DE MARKETING
<ul style="list-style-type: none"> • Alguns clients han demanat assegurar o millorar el funcionament de l'empresa des del punt de vista ambiental? • Els clients prefereixen altres empreses de la competència que són més respectuoses amb el medi ambient?
C. COMPROMÍS DELS RESPONSABLES
<ul style="list-style-type: none"> • Els comandaments interns (per exemple, el gestor principal, els responsables de producció, de desenvolupament de producte, de marketing i vendes, de finances i de recursos humans) estan compromesos en millorar l'eficiència interna o en generar nous ingressos relacionats amb la resposta al canvi climàtic? • Agents externs (per exemple, clients, subministradors, inversors, comunitats) han mostrat interès pel compromís estratègic de l'empresa respecte al canvi climàtic?
D. COMPROMÍS DES DE LA GESTIÓ
<ul style="list-style-type: none"> • Existeix un compromís escrit de l'empresa per reduir les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle? • S'ha aprovat una política d'empresa amb relació al canvi climàtic i/o una política sobre medi ambient que incorpori el canvi climàtic? • Els sistemes de gestió –sistemes de gestió de la qualitat o sistemes de gestió ambiental– incorporen consideracions sobre el canvi climàtic?
E. MESURES D'AVUACIÓ I SEGUIMENT DE LES EMISSIONS DE GASOS AMB EFECTE D'HIVERNACLE
<ul style="list-style-type: none"> • S'ha donat el primer pas per avaluar i identificar quines activitats constitueixen la major font d'emissions de GEH? • S'ha determinat el ritme anual d'emissions directes i indirectes de GEH de l'empresa? • S'ha actualitzat l'inventari anual d'emissions directes i indirectes de GEH? • S'ha previst el futur d'emissions de GEH amb i sense mesures de reducció de les emissions? • Tots els projectes de futur estan avaluats considerant el seu impacte en termes d'emissions de GEH?
F. OBJECTIU D'EMISSIONS DE GEH
<ul style="list-style-type: none"> • S'ha avaluat el consum anual d'energia? • S'ha establert l'objectiu de reduir les emissions de GEH cada any?
G. CANVIS EN ELS SENYALS DE FINANÇAMENT INTERNS
<ul style="list-style-type: none"> • Es manté un fons de capital encaminat a les millores en l'eficiència energètica, en base a criteris financers predefinitos? • S'han realitzat canvis en els moviments financers interns (per exemple, càrregues internes, llargs períodes de retorn de capital, etc.) per impulsar inversions en la reducció de GEH?
H. COMPLICITAT AMB ELS TREBALLADORS
<ul style="list-style-type: none"> • Existeix un programa de seguiment i reducció dels viatges d'empresa? • Es gratifica els gestors d'instal·lacions que proposen actuacions per aconseguir millores ambientals d'aquestes? • Hi ha un programa formal per recompensar els suggeriments dels treballadors sobre la millora de l'eficiència energètica i la reducció d'emissions? • Hi ha un programa de formació contínua dels treballadors per millorar la consciència d'aquests sobre el canvi climàtic, els riscos i les oportunitats de l'empresa, així com les oportunitats d'una acció individual? • Hi ha un programa d'acció (teletreball, etc.) per tal de reduir els desplaçaments dels treballadors i les corresponents emissions?

I. INFORMACIÓ DELS PLANS I DEL PROGRÉS
<ul style="list-style-type: none"> • S'ha avaluat i s'ha donat a conèixer el consum total d'energia i/o les emissions de GEH (mensualment, anualment, etc)? • Anualment es fa un informe de les emissions de GEH i/o un informe ambiental?
J. COMPRA AMB CRITERIS DE CONTRIBUTIÓ AL CANVI CLIMÀTIC
<ul style="list-style-type: none"> • Per triar els proveïdors, es fan servir criteris basats en el canvi climàtic? • L'empresa produeix energies renovables o compra «energia verda» (electricitat generada amb energia renovable de baix impacte)?
K. OPERACIONS I PROGRAMES
<ul style="list-style-type: none"> • S'ha participat en iniciatives voluntàries en matèria de conservació de l'energia, innovació, ecoeficiència, etc.? • S'ha fet un estudi de millora en l'estalvi energètic invertint en cogeneració? • Existeix una línia directiva en marxa per instal·lar sistemes energètics més eficients i ambientalment dissenyats i de renovació de les instal·lacions? • Es fan servir màquines o bullidors que funcionen amb petroli o carbó? • Es fan servir elements bioclimàtics (per exemple, persianes, ombra natural i ventilació natural) per reduir els costos de refrigeració? • En els darrers 5 anys, s'ha millorat l'eficiència dels sistemes de refrigeració? • En els darrers 5 anys, s'ha millorat l'eficiència dels sistemes de calefacció? • En els darrers 5 anys, s'ha millorat l'eficiència dels motors, bombes, compressors d'aire, i/o maquinària en general? • En els darrers 5 anys s'ha millorat l'eficiència dels sistemes HVAC (calefacció, ventilació i aire condicionat)? • En els darrers 5 anys s'ha millorat l'eficiència dels sistemes d'il·luminació? • S'han fet plans per aplicar mesures d'eficiència energètica de cara al futur?
L. RESULTATS I VERIFICACIÓ
<ul style="list-style-type: none"> • S'ha reduït la intensitat de GEH per unitat produïda en base anual? • S'han reduït significativament les emissions de GEH en base anual? • S'han verificat per una inspecció externa les reduccions d'emissions de GEH?

Quadre B4.1. Qüestionari d'avaluació d'oportunitats.

Font: elaboració pròpia.

B4.8.2. La iniciativa Solucions Ambientals Canadenques

Solucions Ambientals Canadenques (SAC) és una iniciativa del Ministeri d'Indústria de Canadà que reuneix les empreses canadenques i altres organitzacions que s'interessen en els problemes ambientals i les seves solucions. La iniciativa SAC pren la forma d'un lloc a la xarxa d'internet, on més de 900 participants es comuniquen en un entorn virtual. Aquests participants han identificat més de 2.000 problemes ambientals i hi proposen solucions.

A la pàgina <http://strategis.ic.gc.ca/ces> es pot llegir el següent:

«Les preocupacions sobre els canvis climàtics van conduir al Protocol de Kyoto de desembre de 1997. Com un dels 160 subscriptors del Protocol, Canadà es va comprometre a reduir les seves emissions de gasos

amb efecte d'hivernacle un 6% respecte dels nivells de 1990; aquestes reduccions hauran de ser una realitat en el període 2008-2012. Per complir amb aquest compromís, el govern de Canadà ha desenvolupat la seva Estratègia d'Implementació Nacional per gestionar les qüestions del canvi climàtic mitjançant consultes amb una gran diversitat de parts interessades.

La reducció d'un 6% respecte dels nivells de 1990 constitueix un repte important per a la indústria canadenca. Una manera com indústries poden reduir les seves emissions de GEH és la de recórrer a mesures com l'adopció de noves tecnologies i serveis ambientals.

Afortunadament, les companyies canadenques ofereixen moltes tecnologies i serveis per al fenomen del canvi climàtic; aquestes tecnologies i serveis ajuden a reduir les emissions de GEH derivades de fonts energètiques i no energètiques.

En els propers anys, les indústries canadenques i les d'altres països buscaran cada vegada més les tecnologies que donen solució als problemes del canvi climàtic. Una motivació serà la de complir amb els compromisos del Protocol de Kyoto. Ara bé, moltes companyies adoptaran aquestes tecnologies amb relació amb els canvis climàtics amb la finalitat de reduir els requeriments d'energia, la qual cosa permet estalviar despeses substancials.

És segur que entre les companyies que apareixen a la llista de Solucions Ambientals Canadenques (Canadian Environmental Solutions), que ofereixen tecnologies per al canvi de clima, vostè trobarà la companyia que respon als requeriments concrets de la seva empresa.»

Les consultes realitzades amb més freqüència a la pàgina web d'aquesta iniciativa fan referència als temes següents:

- Eficiència energètica dels edificis residencials i comercials
- Eficiència energètica en el sector industrial
- Energies renovables i alternatives
- Eficiència dels transports i sistemes de transport avançats
- Producció neta d'energia a partir de combustibles fòssils
- Pous i dipòsits de gasos amb efecte d'hivernacle
- Producció i exploració d'energia
- Captura de gasos d'abocadors.

A continuació s'adjunten, a títol purament il·lustratiu, alguns exemples de consultes realitzades en el marc de la iniciativa *Solucions Ambientals Canadenques*, per tal de poder veure'n una mica més el seu funcionament.

Problema	La seva empresa necessita reduir les seves emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (GEH) davant l'entrada en vigor del Protocol de Kyoto?
Solució	N & A Inc. li facilita crèdits originats en projectes de mecanisme de desenvolupament net (MDL) a Sudamèrica.
Descripció	A més de proveir serveis d'enginyeria, gestió i regulació en l'àmbit de l'abastament d'aigua i el sanejament d'aigües residuals, N & A dona assistència a empreses canadenques per tal que compleixin els requeriments del Protocol de Kyoto, desenvolupant estratègies de mercat, buscant i avaluant projectes MDL a Sudamèrica i proveint serveis de comercialització de crèdits CO ₂ .
Proveïdor	N & A Inc.

Problema	Aplicació de tecnologies canadenques relacionades amb el medi ambient i el canvi climàtic al Carib.
Solució	Vinculi la seva tecnologia amb els usuaris finals al Carib i aconsegueixi els objectius canadencs de desenvolupament i canvi climàtic.
Descripció	És difícil trobar un mercat per als seus béns quan no es compta amb un equip altament especialitzat que promogui i avaluï els seus productes amb els governs adequats i les ONG ja establertes.
Proveïdor	J & A

Problema	Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle.
Solució	La quantificació detallada de reduccions potencials.
Descripció	Firmes assessores independents que assisteixen el personal de les instal·lacions industrials en la quantificació de solucions potencialment lucratives en la reducció d'emissions de GEH.
Proveïdor	E Inc.

Problema	La verificació de reducció d'emissions.
Solució	Un auditor amb experiència.
Descripció	Oferim anys d'experiència en l'auditoria d'enginyeria per realitzar investigacions i elaborar informes sobre les afirmacions de reducció d'emissions. Aquesta experiència ajuda els clients a refinar les seves estratègies de gestió d'emissions i els capacita sobre com elaborar informes reglamentaris i l'intercanvi d'emissions.
Proveïdor	E I Limited.

Problema	Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle en els processos de producció de ciment/formigó.
Solució	Eliminació de residus industrials, reutilitzant-los en el formigó ES (TM). Reducció d'emissions de GEH de la producció de ciment/formigó amb l'ús del formigó ES (TM).
Descripció	Eliminació de residus industrials reutilitzant-los en el formigó ES (TM). L'ús de SCM en el formigó elimina el residu industrial, que si no s'hauria eliminat en un abocador sanitari. Els SCM utilitzats en el formigó ES són un derivat d'un procés industrial, com les cendres volants de plantes d'energia que tenen el carbó com a combustible, l'escòria generada en el procés d'obtenció del ferro o de qualsevol altre metall i gasos de sílice emesos en la fabricació del silici.
Proveïdor	ES TM.

Problema	Emissions de CO ₂ i altres substàncies nocives per al medi ambient produïdes pel sector del transport i diverses altres activitats industrials.
Solució	La revolucionària tecnologia de separació de gasos de QA pot millorar el rendiment de les piles de combustible i dels motors dièsel i contribuir a la reducció de les emissions de GEH.
Descripció	QA ha inventat un procés revolucionari de separació de gasos. La companyia està desenvolupant actualment productes comercials d'oxigen i hidrogen i sistemes compactes basats en aquesta tecnologia.
Proveïdor	QA Tech.

Quadre B4.2. Exemples de consultes en el marc de la iniciativa *Solucions Ambientals Canadenques*.
Font: elaboració pròpia.

Referències bibliogràfiques

ABADÍA IBAÑEZ, Jesús L. (2002). *Incidencia de las políticas de cambio climático en los planes y actuaciones energéticas*. I Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente. Madrid.

ASPAPEL (2003). *Contribución inicial del sector papelero a la reducción de las emisiones de CO₂ en España*. Asociación Española de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón <<http://www.aspapel.es>>.

AZQUETA, Diego (2002). *Introducción a la Economía Ambiental*. Madrid: McGraw-Hill.

BARCELÓ i ROCA, Miquel (2003). *Catalunya, un país industrial*. Barcelona: Pòrtic.

CAPDEVILA i PEÑA, Ivan (2002). «Energia i sostenibili-

tat: equació transcendent?» *Debats tecnològics* [Barcelona: CETIB], núm.18.

Informe anual sobre la Indústria a Catalunya. (2002). Barcelona: Generalitat de Catalunya.

DEPARTAMENT DE MEDI AMBIENT (1999). *DAOM: diagnosi ambiental d'oportunitats de minimització*. Barcelona: Generalitat de Catalunya. (Manuals d'ecogestió, 1).

DIRECCIÓN GENERAL DE MEDIO AMBIENTE (2002). *Acción de la Unión Europea contra el cambio climático*. Luxemburgo: Comunidad Europea. <<http://europa.eu.int>>.

FUNDACIÓN ENTORNO (1998). *Diagnóstico y tendencias de la gestión medioambiental normalizada en la industria española, en Actividades industriales y otros sectores productivos*. Madrid: IV Congreso Nacional del Medio Ambiente.

ICAEN (1991-2003). *Eficiència energètica* [Barcelona: Generalitat de Catalunya], nùms. 1-160.

IDESCAT (2003). *Estadística, producció i comptes de la indústria 2001*. Barcelona: Generalitat de Catalunya.

INSTITUT DEP. *Empresa i Medi ambient*, any 2, nùm. 5-6 (desembre 2001).

KERR, Andy; MCLEOD, Andy (2001). *Potential Adaptation Strategies for Climate Change in Scotland*. Edinburgh: University of Edinburgh. <<http://www.scotland.gov.uk/cru/kd01/lightgreen/pascc-00.asp>>.

MCCAFFREY, Robert (2001). Climate change and the Cement Industry. A: *Global Cement and Lime Magazine* (october 2001).

Mesa Redonda de Industriales Europeos sobre el cambio climático y la colaboración entre Gobiernos e industria (2000). *Climate Change: How Government and Industry can work together*.

NAVARRO, Ricardo A. (2002). «Desafios de la Industria para la sustentabilidad». *UNEP Industry and Environment*, (April-June 2002), 31-33.

RUESGA, Santos M.; DURÁN, Gemma (2000). *Empresa y medio ambiente*. Madrid: Pirámide.

SEOANEZ CLAVO, Mariano (1995). *Ecología Industrial: ingeniería medioambiental aplicada a la industria y a la empresa*. Madrid: Mundi-prensa.

B5. Agricultura i silvicultura

Maria Teresa Sebastià

Pere Casals

Glòria Domínguez

Lluís Martín

Joan Costa

Maria Teresa Sebastià és professora de Botànica a l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària de la Universitat de Lleida i responsable de l'Àrea d'Ecologia Vegetal i Botànica Forestal del Centre Tecnològic Forestal de Catalunya. Ha estat professora visitant a la Universitat de Harvard i a l'University College a Dublín. Va realitzar la seva tesina i la tesi doctoral en Botànica a la Universitat de Barcelona, amb el Dr. Josep Vigo, sobre l'estructuració de les comunitats vegetals i dels factors ambientals a les fagedes i els prats subalpins, respectivament. Va realitzar un postdoctoral amb el professor Bazzaz, a la Universitat de Harvard, sobre la resposta d'herbàcies al CO₂ elevat, la disponibilitat de nutrients i el canvi climàtic.

La seva recerca inclou estudis sobre la relació sòl-planta en comunitats pastorals, la relació entre biodiversitat i funcionament dels ecosistemes en els sistemes agrosilvopastorals i l'efecte del tipus de gestió sobre les comunitats vegetals en el context del canvi climàtic, tant en prats com en boscos. Té experiència en prats de muntanya freds-temperats als Pirineus i en les sabanes tropicals de l'Àfrica Occidental. Ha treballat a fagedes i boscos mixtos freds-temperats dels Pirineus, la Terra del Foc i Bòsnia, i en ecofisiologia d'espècies llenyoses tropicals a Barro Colorado Island (Panamà), en col·laboració amb la Smithsonian Institution. Actualment coordina diversos projectes nacionals i europeus sobre gestió de pastures, acumulació de carboni i biodiversitat. És la coordinadora del Grup de Treball 2 de l'acció europea integrada COST 852 *Quality legume-based forage systems for contrasting environments*.

Pere Casals Tortras (Balaguer, 1963) és biòleg. Actualment és investigador del Centre Tecnològic Forestal de Catalunya, especialitzat en les relacions sòl-planta i en els cicles del carboni i nitrogen. La seva activitat de recerca analitza la interacció entre els elements del canvi climàtic i del canvi d'ús del sòl sobre la dinàmica de la matèria orgànica i l'ús dels nutrients per a la vegetació. Com a investigador visitant ha estudiat diverses tècniques de treball amb isòtops estables al Scottish Crop Research Institute (Dundee, Escòcia) i al departament de Botànica de la Western Australian University (Nedlands, Austràlia). Fruit de la seva participació en diversos projectes europeus i estatals sobre canvi climàtic i el cicle del carboni ha publicat diversos articles científics en revistes d'impacte. Actualment, participa en diferents grups de discussió i xarxes de treball europees i catalanes (COST 852, COST 627, Xarxa Alinfo).

Glòria Domínguez Torres (Badalona, 1971) és enginyera de forests per la Universitat de Lleida i enginyera tècnica agrícola per l'Escola d'Agricultura de Barcelona. És responsable de l'Àrea de Política Forestal i Desenvolupament Rural del Centre Tecnològic Forestal de Catalunya. Ha treballat en la redacció del *Pla General de Política Forestal de Catalunya* i està fent el doctorat en el Programa de Ciències Ambientals de la Universitat Autònoma de Barcelona.

El seu àmbit d'interès està a l'entorn de la planificació forestal regional i la relació entre la societat i els espais forestals, i participa en projectes i xarxes de recerca a escala europea i estatal. Darrerament ha desenvolupat treballs sobre planificació forestal regional, indicadors de gestió forestal sostenible, opinions i percepcions sobre els espais forestals com a eina per al desenvolupament rural, i l'anàlisi de l'estructura socioeconòmica de la propietat forestal, entre altres.

Lluís Martín Closas (Barcelona, 1964) és enginyer agrònom (1992) i enginyer tècnic en Hortofructicultura i Jardineria (1987) per la Universitat Politècnica de Catalunya. És professor d'Horticultura de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària de la Universitat de Lleida i coordinador de la Unitat d'Horticultura. Imparteix docència en les assignatures de Producció i Gestió Hortícola, Horticultura i Agricultura Sostenible i Agricultura Ecològica.

El seu àmbit d'interès està a l'entorn del desenvolupament vegetal i la seva aplicació en l'aplicació de tecnologies agràries sostenibles, en sistemes agraris intensius (hortícoles). La seva activitat la desenvolupa en l'estudi en sistemes experimentals amb aproximació progressiva, des dels més controlats (sistemes de cultiu *in vitro*) i mitjanament controlats (sistemes en hivernacle) fins als sistemes experimentals de camp. Ha realitzat estudis de desenvolupament, sobretot relacionats amb la regulació hormonal en una gran diversitat d'espècies hortícoles. Actualment està en fase de redacció de la seva tesi doctoral sobre l'efecte i les aplicacions dels jasmonats en el desenvolupament de la patata.

Ha participat en diferents línies de recerca relacionades amb les tecnologies sostenibles, entre les quals cal destacar l'aplicació dels jasmonats com a promotors del desenvolupament i de l'ajustament a situacions d'estrès, la valoració de tecnologies de recirculació de drenats en hivernacles i l'estudi de l'ús dels plàstics biodegradables en horticultura.

Joan Costa Tura (Mollet del Vallès, 1958) és doctor enginyer agrònom per la Universitat Politècnica de Catalunya i Ph.D. en fisiologia vegetal per la Universitat de Londres. Actualment és professor titular de Fructicultura a l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària de la Universitat de Lleida.

La seva línia d'investigació se centra en temes relacionats amb la fisiologia ambiental aplicada als fruiters, especialment la pomera i l'olivera. Ha treballat en aspectes relacionats amb la intercepció de la radiació i la mesura de la fotosíntesi, tant a nivell de fulla com d'arbre sencer, sobretot amb la seva interacció amb les tècniques culturals, com per exemple l'aclarida de fruits i en fenòmens meteorològics com les gelades. Actualment és responsable d'un projecte de divulgació (Equal) de la Unió Europea sobre producció integrada i ecològica. Participa en la xarxa europea EUFRIN, dins del grup de treball sobre aclarida de fruits. Ha participat en la publicació de tres llibres i en cinc articles científics.

Com a professor del Departament d'Hortofructicultura, Botànica i Jardineria imparteix docència relacionada amb la producció fructícola en primer i segon cicle. A tercer cicle la docència està més relacionada amb la fisiologia ambiental; hi coordina dues assignatures de postgrau i participa en un curs d'especialització.

Síntesi	371
B5.1. Introducció	375
B5.2. Amenaces del canvi climàtic per a l'agricultura i la silvicultura catalanes	376
B5.2.1. Les activitats agràries i el clima	
B5.2.2. Escalfament i canvis en el cicle de l'aigua	
B5.2.3. Gasos amb efecte d'hivernacle: CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	
B5.2.4. Contaminació i canvis químics atmosfèrics: O ₃ , NH ₃	
B5.2.5. El context socioeconòmic	
B5.3. Impactes del canvi climàtic sobre l'agricultura i la silvicultura	383
B5.3.1. Productivitat dels sistemes agrícoles i silvícoles	
B5.3.2. Erosió i cicle hidrològic	
B5.3.3. Els cicles del carboni, del nitrogen i d'altres nutrients	
B5.3.4. Embornals de carboni	
B5.3.5. Capacitat d'invasió, malalties i plagues	
B5.4. Vulnerabilitat i adaptació dels principals sistemes agrícoles i silvícoles a Catalunya	388
B5.4.1. Cereals	
B5.4.2. Conreus hortícoles i en hivernacle	
B5.4.3. Cultius llenyosos	
B5.4.4. Farratgeres	
B5.4.5. Prats de muntanya	

B5.4.6. Altres sistemes pastorals	
B5.4.7. Ramaderia	
B5.4.8. Pesqueries	
B5.4.9. Silvicultura	
B5.5. Observacions finals: reptes i oportunitats per a l'agricultura i la silvicultura catalanes en el context del canvi climàtic	406
B5.6. Agraïments	407
Referències bibliogràfiques	408

Síntesi

El clima és un factor determinant de la producció agrària i, per tant, calen uns coneixements sòlids sobre l'efecte que els factors climàtics tenen sobre la productivitat de boscos i conreus per tal d'optimitzar-ne el maneig, en qualsevol escenari climàtic que es produeixi. En el cas d'ecosistemes com els boscos i les pastures, a més de la productivitat, cal també considerar la seva persistència i capacitat de generar béns i serveis ecològics sota unes condicions climàtiques canviants.

Els tipus de resposta davant del canvi climàtic varien segons les espècies agrícoles i forestals i les varietats d'un mateix conreu. Això s'ha observat en casos d'estrès causat per les temperatures elevades i la sequera, en el grau de resposta sostinguda i d'aclimatació a l'augment del CO₂ a l'atmosfera i en la vulnerabilitat a l'increment en la concentració d'O₃.

L'augment de la temperatura pot conduir a l'increment de la mineralització de la matèria orgànica dels sòls forestals i agrícoles a curt termini i, a la llarga, a una disminució de la disponibilitat de nutrients al sòl, fet que es pot aguditzar si es produeix un augment de la relació C/N de la matèria que retorna al sòl, a causa d'un augment del CO₂ atmosfèric. L'efecte de l'escalfament sobre la mineralització està afectat també de manera important per la disponibilitat d'aigua.

L'amenaça més gran per a l'agricultura i la silvicultura catalanes és la disminució de la disponibilitat d'aigua, amb l'augment de l'evapotranspiració com a conseqüència de l'increment de les temperatures i la possible reducció de les pluges. Si es garanteix el subministrament de reg, alguns cultius poden, fins i tot, augmentar la seva productivitat. Aquest és un tema, però, complex i, a més, el subministrament d'aigua per a usos agrícoles competeix amb altres usos (domèstics, industrials, turístics, cabals ecològics, etc.).

La disminució d'hores de fred pot conduir a una davallada de la producció de cultius llenyosos com la pomera, la perera, el cirerer i el presseguer en zones tradicionalment fruïteres com la Plana de Lleida. Un canvi varietal en espècies com el presseguer pot solucionar el problema, però per a pomes i peres el risc és més gran. Si la pujada de temperatures produeix un avançament de la floració i el risc de gelades es manté, la incertesa en la producció augmentarà. Si el risc de gelades disminueix, es poden introduir varietats més primerenques de presseguers o albercoquers, de qualitat i producció més baixes però de preu de venda més alt. També es pot introduir el cultiu del nesprer i ampliar el cultiu de cítrics, amb la possible introducció, si l'augment de temperatures i davallada del risc de gelades és prou important, de la mandarina i el llimoner.

La reducció del risc de gelades hivernals també afavoriria altres conreus llenyosos de secà, com l'olivera, amb la reducció del risc de pèrdua de collita i una necessitat més baixa de reposició. Ara bé, la reducció de la disponibilitat hídrica serà crítica en les zones de secà, i faria disminuir la productivitat de cultius com l'olivera, l'ametller o la vinya. L'efecte del canvi climàtic sobre la vinya probablement depèn d'efectes microclimàtics particulars, ja que l'augment de les temperatures en podria millorar la qualitat. També s'espera un desplaçament cap al nord de les zones de cultiu d'aquesta planta.

L'augment de l'estrès hídric també serà molt important per a altres cultius de secà, com els cereals, en zones ara ja relativament àrides. En canvi, el seu cultiu podria estendre's en àrees de secà actualment més humides, com el Berguedà.

Actualment, les comarques septentrionals catalanes tenen, en la bona disponibilitat d'aigua, un factor de riquesa productiva. No obstant això,

amb les previsions de canvi climàtic poden produir-se canvis importants ja que, d'una banda, una pujada de les temperatures pot incrementar la productivitat, però de l'altra una reducció de la disponibilitat hídrica pot incrementar la necessitat de reg o aconsellar un canvi cap a cultius amb menys requeriments hídrics. Aquestes transformacions poden ser difícils en les zones d'orografia complexa però, precisament, aquest factor orogràfic pot fer que les pressions de canvi variïn molt a escala local.

Els cultius hortícoles, tant per la seva gran diversitat en espècies i varietats com pel fet que es produeixen sota molts sistemes diferents de producció, poden tenir una capacitat de resposta als canvis climàtics més elevada. Els cicles productius s'escurçaran, amb la conseqüent disminució de la producció, però sobretot es pot produir un efecte de detriment de la qualitat d'algunes hortalisses d'estació freda i un possible guany en hortalisses d'estació càlida. L'increment en la capacitat d'avançar les seves produccions i poder participar en un mercat més favorable és un fet de gran importància econòmica per als productors. Els problemes tèrmics principals es poden produir sobretot a l'estiu en les zones més continentals, així com a la zona litoral, sobretot en cultius en hivernacle, on els problemes de refrigeració augmentaran. L'increment del CO₂ atmosfèric augmentarà la productivitat de la majoria de cultius, com ja s'ha demostrat amb moltes espècies hortícoles. Tots els avantatges que pot comportar el canvi climàtic per als sistemes hortícoles poden no tenir cap impacte si no s'assegura la disponibilitat hídrica. La no disponibilitat d'aigua podria ser el principal factor negatiu.

Les solucions als factors negatius del nou marc productiu plantejat pel canvi climàtic passaran per un replantejament varietal i específic (nous cultius), així com canvis en les èpoques de plantació o sembra i canvis d'ubicació de les zones de producció. Les innovacions tecnològiques hauran d'aportar noves solucions, especialment pel que fa referència al control d'altres tempera-

tures i a la millora de l'eficiència hídrica de les tècniques aplicades als cultius. També la Política Agrària Europea ha de considerar les conseqüències del canvi del clima i pot ser un instrument estimulador de les mesures d'adaptació. El risc és la limitació de les opcions de resposta davant d'aquests canvis.

L'augment de la cabana ramadera catalana en les dues darreres dècades ha estat força elevat (amb una taxa del 45% pel que fa als remugants, per exemple). Això representa un problema a l'hora de tractar i gestionar els residus, però pot constituir una oportunitat per a la producció de biogàs. L'addició de residus fàcilment metabolitzables al sòl, com els purins, pot augmentar les emissions de gasos nitrogenats, però si els purins s'injecten a l'interior del sòl, les emissions es poden reduir, tot i que llavors existeix un risc de contaminació de les aigües freàtiques.

Amb el canvi climàtic s'estima un augment de la invasió dels conreus i el bestiar per les plagues i les malalties, moltes de les quals actualment tenen una distribució limitada per les baixes temperatures i el risc de gelades. L'impacte sobre les males herbes dependrà de les espècies concretes i del cultiu, així com de les característiques ecofisiològiques i competitives d'aquests. L'increment del CO₂ a l'atmosfera podria fer augmentar la resistència del vegetal a plagues i malalties per l'increment de la producció de productes secundaris, però l'augment de la relació C/N del material vegetal resultant podria estimular-ne el consum i empitjorar la qualitat de la matèria orgànica al sòl i amenaçar la disponibilitat de nutrients.

Els efectes del canvi climàtic sobre l'agricultura són incerts, variats i complexos, i presenten interaccions entre ells i amb factors culturals, polítics i socioeconòmics, entre els quals destaquen l'abandonament de les activitats agràries i els canvis en l'ús del sòl, els quals poden tenir unes repercussions tan o més grans que el canvi climàtic. La reducció de terres de cultiu i boscos per urbanització és molt forta en certes zones, sobretot a

prop de les àrees metropolitanes més grans. L'abandonament de terres, en altres zones, condueix a la pèrdua de la biodiversitat, la reducció de la qualitat del paisatge i l'augment del risc d'incendis. En canvi, el pas de conreu a bosc podria incrementar l'embornal de carboni. La competència dels productes agrícoles catalans amb països que fins ara n'eren un mercat natural, a causa de la millora de les condicions productives d'aquests, és un altre risc.

A Catalunya, els prats i els boscos constitueixen un reservori de biodiversitat i proporcionen una font de diversos productes, així com d'externalitats. El maneig extensiu tradicional de les pastures ha modelat el seu valor ecològic, paisatgístic i cultural. Els prats d'alta muntanya, com els boscos de muntanya, són ecosistemes molt amenaçats pel canvi climàtic i l'abandonament. L'escalfament pot tenir un efecte positiu sobre la seva productivitat a curt termini, però l'amenaça d'extinció d'espècies i de pèrdua de la qualitat de la biodiversitat és ben real. Els boscos i les pastures presenten un valor afegit en la mitigació del canvi climàtic gràcies a llur funció com a embornals de carboni al sòl. Cal saber més, però, sobre la relació entre el maneig d'aquests ecosistemes i la seva capacitat d'acumular C.

El principal valor dels boscos catalans rau en els productes que no tenen un valor directe de mercat i en les externalitats, com ara la biodiversitat, la protecció enfront dels riscos naturals i la regulació hídrica. A més, abasteixen el mercat de gran varietat de productes. Actualment, els productes fusters no són gaire competitius en els mercats internacionals, i les perspectives apunten a un empitjorament amb el canvi climàtic. Els productes no fusters proporcionen un volum econòmic no menyspreable, però el seu aprofitament és heterogeni i està poc regulat. Amb el canvi climàtic pot produir-se una disminució de la producció de bolets, però una millora en la qualitat de plantes medicinals i aromàtiques i en producció de mel i d'altres productes apícoles.

L'ampla escala temporal amb què es gestionen els boscos, amb torns de 80-120 anys segons l'espècie i la zona, implica que el canvi climàtic tindrà lloc, en general, en les masses arbòries que hi ha en aquests moments. A més llarg termini, però, podria produir-se un canvi en la distribució de la vegetació dels boscos. Aquests canvis seran més ràpids per a les espècies de cicle de vida més curt. Les zones baixes i meridionals s'enriquieren en plantes de matollars, i el bosc mediterrani pujaria per les zones de muntanya. Els boscos de muntanya tendrien a enrarir-se.

Les comunitats silvícoles tenen més resistència als canvis que altres comunitats vegetals més efímeres, però aquesta capacitat de tamponar els canvis pot desaparèixer si el bosc és destruït per pertorbacions a gran escala, com els grans incendis ocorreguts els darrers anys. En aquest cas, les diferències en la capacitat de regeneració de les diferents espècies i la seva vulnerabilitat relativa enfront a l'estrès hídric i d'altres pot determinar canvis importants en la composició i funcionalisme dels boscos catalans.

A Catalunya, el principal risc per als boscos és el foc, pertorbació sovint causada per la pressió antròpica. El canvi climàtic comportarà un augment del risc d'incendi a les zones mediterrànies i una ampliació de les zones d'alt risc cap a llocs on ara el risc és més baix. La sequera, l'abandonament de les zones rurals, que podria augmentar al secà si disminueix la productivitat i la competitivitat dels productes agrícoles, la previsió de boscos joves i densos i la reducció en el grau de gestió forestal per davallada de la rendibilitat dels aprofitaments fusters n'incrementarien la vulnerabilitat.

En resum, per a l'agricultura l'adaptació al canvi climàtic passa per la planificació d'una política de l'aigua coherent amb les noves condicions, la potenciació de sistemes d'irrigació més eficients, el canvi en la gestió dels cultius, el canvi de dates de plantació i de pràctiques de cultiu, així com la selecció de cultius adaptats a les noves pràctiques.

B5.1. Introducció

La informació disponible dels possibles efectes del canvi climàtic sobre l'agricultura i la silvicultura catalanes és dispersa i escassa i, a més, està distribuïda de manera heterogènia entre els diferents camps de coneixement. Mentre en algunes àrees els coneixements són escassos, en d'altres es comença a tenir una base de dades consistent sobre el comportament dels boscos i d'altres ecosistemes d'interès agrari. Aquest capítol fa paleses aquestes diferències i, mentre en algunes àrees la discussió es basa en dades generades directament a partir d'estudis desenvolupats a Catalunya, en d'altres la informació oferta és molt fragmentària i basada en patrons observats en d'altres zones del món.

El canvi climàtic es produeix paral·lelament a d'altres canvis d'abast global que afecten profundament els ecosistemes agrícoles, pastorals i forestals, com els canvis en els usos del sòl i els canvis atmosfèrics. Tots ells interfereixen els uns amb els altres de manera complexa, fet que s'ha tingut en compte a l'hora de desenvolupar el present capítol sobre el canvi climàtic i l'agricultura i la silvicultura catalanes.

A Catalunya, l'any 2000 les activitats agràries varen proporcionar una producció final total de 3.639,70 milions d'euros. Aquestes activitats inclouen la producció agrícola, ramadera i forestal, fonamentalment. La Superfície Agrícola Utilitzada (SAU) representa gairebé la meitat de la

superfície agrària total, seguida per la superfície forestal arbrada (figura B5.1). Tanmateix, les produccions agrícoles i ramaderes són les que més volum econòmic mouen, amb diferència respecte de les forestals (figura B5.2).

A Europa, un 47% del territori està ocupat per les terres agrícoles (cultius i pastures). Un 29% d'aquestes darreres corresponen a terrenys cultivats, un 12% dels quals està sota irrigació (Reilly, 1997). A Catalunya la proporció de la superfície agrària destinada a terres de cultiu és molt més elevada (figura B5.1), malgrat la davallada experimentada els darrers anys a favor de les zones de pastures permanents (taula B5.1; figura B5.3).

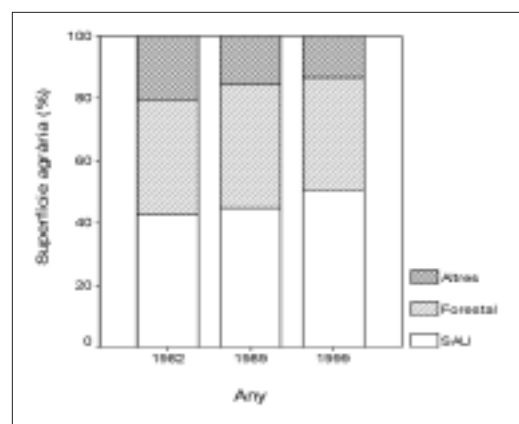


Figura B5.1. Proporció de la superfície agrària destinada a Superfície Agrària Utilitzada (SAU), superfície forestal arbrada i d'altres usos (anys 1982, 1989 i 1999).

Font: Institut d'Estadística de Catalunya. Cens agrari.

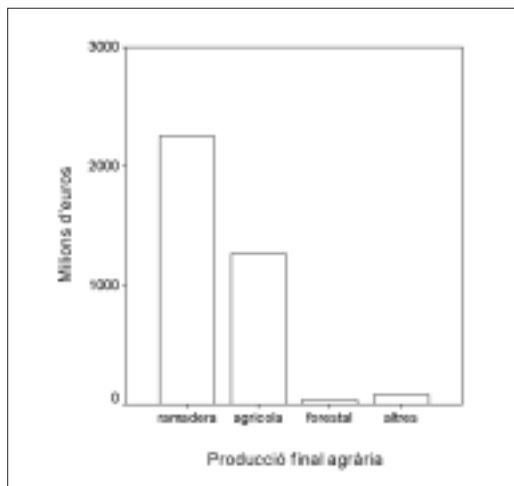


Figura B5.2. Milions d'euros generats a partir de la producció final agrària en els sectors ramader, agrícola, forestal i altres produccions (any 2000).

Font: Generalitat de Catalunya. Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca. Direcció de Serveis.

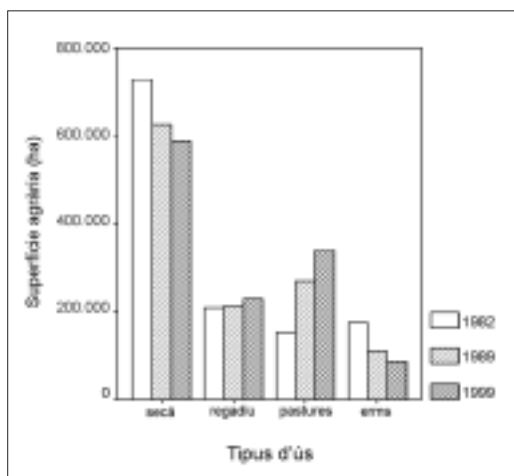


Figura B5.3. Evolució temporal de la superfície (en hectàrees) ocupada en Catalunya per conreus de secà, regadiu, pastures i erms (anys 1982, 1989 i 1999).

Font: Institut d'Estadística de Catalunya. Cens agrari.

De les terres agrícoles, els cultius de secà ocupen, amb diferència, una superfície més gran que qualsevol altre tipus d'ús agrícola (figura B5.3). La superfície dedicada a regadiu ocupa al voltant d'un terç de la superfície de l'anterior, però l'activitat econòmica derivada dels conreus de regadiu

(com sovint es troben la fruita dolça, les hortalisses i les farratgeres) és molt elevada amb relació a altres sistemes de producció (figura B5.4).

El canvi climàtic representa reptes i oportunitats per a les activitats agrícoles, ramaderes, pesqueres i silvícoles a Catalunya. En els apartats següents es presenten les amenaces que els canvis en els diferents factors ambientals i socioeconòmics presenten a les activitats esmentades, els impactes que aquests mateixos factors poden tenir sobre els ecosistemes agrícoles i forestals des del punt de vista del seu aprofitament i conservació i, finalment, la vulnerabilitat i capacitat d'adaptació que els sistemes agraris catalans presenten enfront d'aquests factors de canvi.

B5.2. Amenaces del canvi climàtic per a l'agricultura i la silvicultura catalanes

B5.2.1. Les activitats agràries i el clima

El clima és un dels factors determinants de la producció agrària i, per tant, des de sempre s'ha considerat essencial l'adquisició d'uns coneixements sòlids que permetin entendre l'efecte dels processos climàtics en la productivitat dels cultius i dels boscos. D'aquesta manera es pot intentar optimitzar el maneig de les activitats agràries no tant sols en el moment actual, sinó també en el futur, sota qualsevol escenari climàtic (Gates, 1993). El clima és la principal causa de la variabilitat interanual en la producció agrària i qualsevol canvi climàtic augmentarà la incertesa sobre la producció d'aliment (Reddy i Hodges, 2000).

En conjunt, els efectes del canvi climàtic sobre l'agricultura són incerts, variats i complexos i presenten moltes interaccions entre ells i amb d'altres factors culturals, polítics, socioeconòmics, etc. Recíprocament, les activitats agràries poden tenir repercussions directes sobre alguns elements del canvi climàtic. Per exemple, a nivell mundial s'estima que l'agricultura i la ramaderia representen la font del 30% de les emis-

	Hectàrees					
	Any 1982	%	Any 1989	%	Any 1999	%
Conreus llenyosos	360.056	38,4	324.456	38,8	301.204	36,9
fruiters	140.828	15,0	164.296	19,6	122.253	15,0
fruita dolça	57.456	6,1	58.521	7,0	48.470	5,9
fruita seca	82.902	8,9	105.637	12,6	73.626	9,0
tropical/altres	470	0,1	138	-	157	-
cítrics	3.332	0,4	5.543	0,7	8.231	1,0
olivera	77.932	8,3	88.023	10,5	102.781	12,6
vinya	70.198	7,5	60.279	7,2	59.734	7,3
planters	369	-	488	0,1	1.145	0,1
altres	67.397	7,2	5.827	0,7	7.060	0,9
Conreus herbacis	576.672	61,6	512.544	61,2	515.827	63,1
conreus	549.818	58,7	492.290	58,8	486.802	59,6
cereals	400.989	42,8	361.018	43,1	351.094	43,0
farratges	110.631	11,8	101.408	12,1	99.751	12,2
hortalisses	20.987	2,2	16.089	1,9	10.224	1,3
lleguminoses	2.429	0,3	1.932	0,2	2.207	0,3
tubercles	4.255	0,5	3.036	0,4	1.432	0,2
industrials	6.999	0,7	7.146	0,9	20.372	2,5
flors i plantes	1.014	0,1	1.090	0,1	1.163	0,1
altres	2.514	0,3	571	0,1	559	0,1
guarets	26.854	2,9	19.909	2,4	28.722	3,5
hortes familiars	-	-	346	-	303	-
Total	936.728	100	837.000	100	817.031	100

Taula B5.1. Evolució de la superfície de terres llaurades a Catalunya, per tipus de conreu (anys 1982, 1989 i 1999)
Font: Institut d'Estadística de Catalunya. Cens agrari.

sions de CO₂, el 40% de les emissions de CH₄ i el 25% de les emissions de N₂O, tres importants gasos amb efecte d'hivernacle (Sombroek i Gommès, 1997). Les principals fonts d'aquests gasos en l'agricultura provenen de l'ús dels combustibles fòssils en les activitats agrícoles, la mineralització de la matèria orgànica dels sòls associada al llaurat, la crema de residus agrícoles i forestals, la cria de bestiar i el maneig de les femtes, l'ús de fertilitzants nitrogenats, entre d'altres (Reddy i Hodges, 2000). A Catalunya s'estima

que les emissions corresponents a les activitats agrícoles constitueixen un 12% del total (Balasano et al.; vegeu el capítol A5). No obstant això, l'agricultura també pot ser una part de la solució o, si més no, de la mitigació d'un possible canvi climàtic (Deudon, 2001). L'adopció de pràctiques de conreu que afavoreixin l'acumulació de matèria orgànica al sòl i la restauració de sòls degradats pot reduir l'alliberament de CO₂ a l'atmosfera i ajudar a la seva captació en embornals poc dinàmics (Lal et al., 1998).

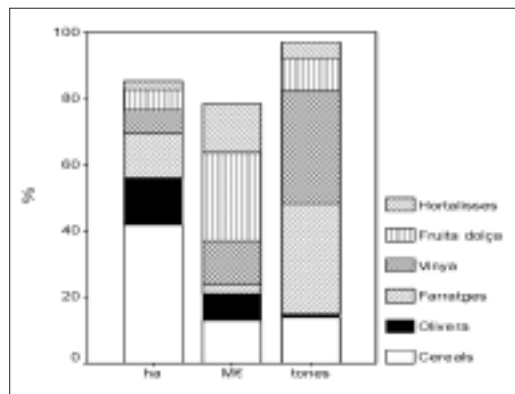


Figura B5.4. Percentatge de territori ocupat pels principals tipus de conreus de Catalunya, en funció de la superfície cultivada (ha), la producció final en milions d'euros generats (M€) i la producció agrària (en tones). L'oliveta inclou tant les olives com l'oli; la vinya inclou tant el raïm com el vi i d'altres derivats.

Font: Generalitat de Catalunya. Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca. Direcció de Serveis.

Algunes de les amenaces del canvi climàtic que s'han citat per a l'agricultura i que poden tenir rellevància per a les activitats agrícoles catalanes són (Sombroek i Gommès, 1997, Miglietta et al., 2000):

- Modificacions de les condicions generals dels factors de producció, com la temperatura, la disponibilitat d'aigua, la disponibilitat de nutrients, etc., la qual cosa pot portar a un empitjorament de les condicions de creixement.
- Canvis en el potencial productiu dels cultius com a conseqüència de l'augment de l'estrès produït per altes temperatures o per l'allargament del període lliure de gelades.
- Reducció de la productivitat per augment de l'aridesa en les regions seques.
- Reducció del creixement a causa de la disminució de la disponibilitat hídrica o les deficiències de nutrients.
- Augment de la variabilitat i de la incertesa del clima, que incrementaria els riscos de pèrdues de producció.
- Disminució de la predictabilitat general del clima, que faria més difícil la planificació a curt i mitjà termini de les activitats agrícoles.
- Augment de pèrdues de producció com a con-

seqüència de les pedregades, malalties i plagues.

- Desplaçaments de les zones agroecològiques de desenes a centenes de quilòmetres horitzontalment i centenes de metres verticalment amb el risc que determinades plantes, sobretot llenyoses de cicle de vida llarg, i alguns animals no segueixin i els sistemes agraris no s'ajustin a temps.

Un possible canvi climàtic pot agreujar les conseqüències de l'abandonament de les activitats agrícoles i forestals i dels canvis en l'ús del sòl, processos que representen un factor de canvi afegit, tant o més important que el canvi climàtic a Catalunya.

B5.2.2. Escalfament i canvis en el cicle de l'aigua

La temperatura té un efecte estimulador de tots els processos biològics, dins dels límits de funcionament. Més concretament, les plantes sota condicions d'escalfament veuen afavorit el seu funcionament i la productivitat vegetal s'incrementa directament per l'estimulació de l'activitat metabòlica i, indirectament, per la mineralització de la matèria orgànica del sòl i consegüent fertilització per augment d'alguns nutrients. Tanmateix, aquest efecte estimulador de la productivitat vegetal per la temperatura pot veure's amenaçat seriosament si no es disposa d'altres factors de producció no es troben disponibles. Per exemple, la fertilització per mineralització de la matèria orgànica pot ser un fenomen transitori que pot dur a una pèrdua del reservori de nutrients en el sistema a llarg termini. D'altra banda, part de l'augment global de temperatura s'ha relacionat amb l'augment de les temperatures nocturnes (Kukla i Karl, 1993). Aquest fet podria portar a l'increment de la respiració nocturna i, per tant, a la disminució de la productivitat neta.

Temperatures molt altes poden causar estrès en les plantes per se, tot i que diferents cultius i diferents varietats del mateix cultiu poden presentar un diferent rang de resposta a les temperatu-

res. Independentment d'aquest efecte directe de la temperatura sobre els vegetals, en general les temperatures altes afavoreixen les pèrdues d'aigua de les plantes, amb un augment, per tant, de l'evapotranspiració. Aquest efecte s'agreujaria si es produís una disminució de la precipitació a Catalunya amb el canvi climàtic, la qual cosa sembla probable, al menys en certes zones (Martín-Vide, capítol A3 d'aquest llibre). Si l'increment de les temperatures implica un augment de l'evapotranspiració, la disminució de la precipitació pot aguditzar aquest efecte.

La reducció de la disponibilitat hídrica amb l'augment de la temperatura i l'augment en la variabilitat de la precipitació (Almarza, 2000) afectaran tant els cultius de regadiu com els de secà i la resta de la superfície agrària. D'altra banda, les necessitats d'aigua són multisectorials, amb competència entre la producció d'aigua potable, industrial i hidroelèctrica, els usos ambientals i recreatius (Evans, 1997). L'agricultura no pot fer front als costos d'abastament d'aigua si aquests s'encareixen per allunyament de les fonts o necessitats d'infraestructures costoses. Les repercussions ambientals i socioeconòmiques dels transvassaments d'aigua són molt elevades i sovint difícilment justificables. Com a conclusió, l'amenaça més important per a l'agricultura i la silvicultura catalanes, com per a tantes altres activitats desenvolupades a Catalunya, és la disminució de la disponibilitat d'aigua, i caldrà garantir-ne un ús racional que en permeti el màxim aprofitament.

B5.2.3. Gasos amb efecte d'hivernacle: CO₂, CH₄, N₂O

Al Protocol de Kyoto, els Estats membres de la Unió Europea es van comprometre a reduir sis gasos amb efecte d'hivernacle: diòxid de carboni (CO₂), òxid nitrós (N₂O), metà (CH₄), perfluorocarburs (PFC), hidrofluorocarburs (HFC) i hexafluorur de sofre (SF₆). Els tres darrers tenen un potencial d'escalfament global (PEG) molt elevat i un període de permanència a l'atmosfera llarg, però en ser considerats d'origen industrial no es tractaran en aquest capítol.

L'agricultura genera, aproximadament, el 8% de les emissions totals dels tres gasos amb efecte d'hivernacle (CO₂, CH₄ i N₂O) de la Unió Europea, però representa menys del 2% de les emissions relacionades amb l'ús de l'energia (Comisión de las Comunidades Europeas, 1998). El sector agrícola, especialment la ramaderia, és la principal font d'emissions de metà i d'òxid nitrós (el 45% i el 40,3%, respectivament, de les emissions comunitàries). Però, al mateix temps, l'agricultura i la silvicultura tenen un efecte positiu en substituir els combustibles fòssils per biomassa i en reduir la concentració atmosfèrica d'aquests gasos, especialment el CO₂.

El CO₂ atmosfèric és un dels factors bàsics de la producció vegetal. La fertilització per CO₂ estimula el creixement de les plantes, tot i que amb el temps aquest efecte s'ha reduït i les plantes s'aclimaten (Dijkstra et al., 1993). El grau de resposta a l'increment de CO₂, així com la capacitat d'aclimatació amb el temps o de manteniment d'una resposta sostinguda al CO₂, varia segons les espècies i les varietats (Dijkstra et al., 1993). A més, l'augment de la productivitat en les plantes com a conseqüència d'un increment de la concentració de CO₂ no comporta necessàriament una millora en la collita. En algunes espècies de cereals, com el blat, s'ha obtingut un augment de la producció total en plantes cultivades sota atmosferes enriquides en CO₂, però una disminució del rendiment en gra.

Un altre aspecte molt important del CO₂ per a l'agricultura catalana és que presenta moltes interaccions amb d'altres factors (Peñuelas et al., 1995). Hi ha una interacció molt important entre el CO₂ i l'aigua. Se sap que l'augment del CO₂ atmosfèric condueix a un augment de l'eficiència de l'ús de l'aigua, tot i que el balanç hídric final depèn del balanç energètic del cultiu, el qual alhora depèn d'altres factors, com la conductància estomàtica, l'índex foliar, l'estructura del cultiu i els canvis en el conjunt dels factors meteorològics (Allen et al., 1997).

Els tres factors primordials del canvi climàtic que afectarien la productivitat dels cultius hortícoles (increment tèrmic, disminució del recurs hídric i increment del CO_2 de l'aire) estan relacionats i controlats pels mateixos cultius. De fet, s'estima que si es dobla la concentració ambiental de CO_2 , es redueix la conductància estomàtica entre un 30 i un 40% i una exposició perllongada a elevades concentracions de CO_2 redueix la densitat d'estomes de les fulles. Mitjançant aquest mecanisme s'ha millorat l'eficiència en l'ús de l'aigua i, per tant, també la tolerància a la sequera en nombroses espècies cultivades (Bowles, 1993). L'efecte fertilitzant del CO_2 és més gran a temperatures elevades (Allen et al., 1997) i és ben coneguda la dependència entre els efectes sobre les plantes de la fertilització per CO_2 i la disponibilitat de nutrients. L'efecte estimulador del creixement del CO_2 sovint desapareix amb una baixa disponibilitat de nutrients al sòl. Per això, és interessant analitzar el canvis en la qualitat de la matèria orgànica del sòl i la seva mineralització en plantes que creixen sota CO_2 atmosfèric elevat, així com els canvis en la relació C/N del material vegetal desenvolupat sota aquestes condicions.

La matèria orgànica del sòl sovint constitueix la reserva natural de nutrients més important del sòl i la mineralització de la matèria orgànica és el procés que els posa a disposició de les plantes. Un augment de la temperatura pot conduir a la ràpida mineralització inicial de la matèria orgànica dels sòls forestals i agrícoles, de manera que a llarg termini la capacitat per subministrar nutrients d'aquesta pot minvar. Alhora, l'efecte de l'escalfament sobre la mineralització està afectat de manera important per la disponibilitat d'aigua.

Aquests efectes es poden acoblar als canvis en la qualitat de la matèria orgànica que retorna al sòl a causa d'un augment en la relació C/N com a conseqüència d'un increment del CO_2 atmosfèric. El material amb proporció de carboni més elevada és més difícil de descompondre i, per

tant, té menys capacitat de subministrar nutrients. Els canvis en la qualitat de la matèria orgànica poden ser, a llarg termini, menys marcats per les interaccions que puguin existir amb d'altres nutrients, amb l'aigua o per canvis en les espècies. D'altra banda, un material vegetal amb una relació C/N alta podria augmentar els danys per herbívors, els quals en alguns casos podrien augmentar el seu consum per tal d'obtenir un contingut de N comparable.

Un altre gas amb efecte d'hivernacle que té una relació molt directa amb les activitats agràries és el metà (CH_4), particularment amb les pecuàries. Les principals fonts d'emissions de metà a partir de l'agricultura són els processos digestius del bestiar i les seves femtes (un 45% de les emissions totals). Així, l'augment de CH_4 a l'atmosfera s'ha relacionat de manera important amb l'augment de la cabana ramadera de remugants a nivell mundial. El bestiar remugant aporta CH_4 com a conseqüència dels processos de metabolització del material vegetal que consumeix, mitjançant la digestió d'aquest aliment amb la cooperació de la flora bacteriana intestinal. Per contra, la producció de CH_4 proporciona una oportunitat en la utilització de biogàs.

L'òxid nítrós és un gas amb efecte d'hivernacle que, a més, desencadena una sèrie de reaccions que donen lloc a eliminació de l'ozó estratosfèric (Crutzen, 1991). Es produeix, principalment, a partir de processos industrials i per l'ús de fertilitzants en l'agricultura. L'emissió d'òxid nítrós des del sòl és el resultat de la nitrificació de l'N amoniacal del sòl i el procés posterior de desnitrificació. Els factors que regeixen aquests processos són la disponibilitat de carboni i nitrogen fàcilment mineralitzables, l'existència de condicions anaeròbiques al sòl i la temperatura. Les pràctiques de conreu també poden estimular aquests processos. Així, l'addició de residus al sòl fàcilment metabolitzables augmenta l'emissió d'òxid nítrós si es fa quan el sòl està molt humit o en condicions anaeròbiques. La incorporació de lleguminoses al sòl com a adob verd, en

ser un material fàcilment decomponible i ric en nitrogen, podria augmentar les emissions d'N. No obstant això, la informació relativa a aquests processos encara és limitada.

B5.2.4. Contaminació i canvis químics atmosfèrics: O₃, NH₃

L'ozó (O₃) és un gas atmosfèric que si es troba a l'estratosfera té un efecte protector de la radiació ultraviolada sobre els éssers vius, però que a les parts baixes de l'atmosfera exerceix un efecte tòxic elevat sobre plantes i animals. L'ozó, a més, interacciona amb el CO₂, tot reduint l'efecte estimulador del creixement que aquest gas té sobre els boscos (Kamosky et al., 2003). La sensibilitat a l'ozó és molt variable a nivell espacial i depèn de les espècies considerades (Peñuelas et al., 1999; Inclán et al., 1999).

L'ús de combustibles fòssils, particularment a altes temperatures, produeix una elevada emissió d'òxids de nitrogen i la seva deposició posterior. L'amoni i els òxids de sofre i de nitrogen són els tres grans contaminants atmosfèrics responsables de la formació d'aerosols, els quals contribueixen a la formació de la pluja àcida. Aquests aerosols tenen una vida mitjana molt llarga i poden ser transportats a molta distància. Disminueixen la qualitat de l'aire i, en dipositar-se, causen eutrofització i l'acidificació dels ecosistemes. S'espera que les emissions de compostos d'N augmentin com a conseqüència de l'augment en el consum de combustibles fòssils i de fertilitzants de nitrogen a nivell global i, particularment, a Àsia i Àfrica. La deposició de grans quantitats d'N (de l'ordre de 20-100 kg N per hectàrea i any al centre d'Europa i a Escandinàvia) ha produït una saturació de la capacitat d'absorció per la vegetació i ha contribuït a la mort de molts boscos de coníferes europees.

Darrerament s'està reconeixent la importància de l'amoniac (NH₃) com a gas contaminant, amb un gran impacte en la química atmosfèrica i en l'estabilitat i la biodiversitat dels ecosistemes terrestres i aquàtics (Bobbink et al., 1998). L'NH₃

emès reacciona amb àcids atmosfèrics per formar aerosols que contenen amoni (NH₄). Diversos projectes d'investigació finançats per la UE (EXAMINE i GRAMINAE) han intentat estimar els fluxos d'NH₃ dels diferents ecosistemes per tal de fonamentar directives i protocols legals per al seu control (National Emissions Ceilings Directive; Multi-pollutant, Multi-effect Protocol).

La font principal d'aquest contaminant atmosfèric és la ramaderia intensiva i, concretament, l'aplicació de purins a la superfície del sòl. Seguir les recomanacions segons les quals s'han d'aplicar els purins a l'interior del sòl reduiria notablement les emissions. En canvi, la contribució als balanços locals i globals de les emissions procedents de la vegetació natural o dels conreus és més incerta. La vegetació pot actuar com a font o com a embornal d'NH₃. El sentit dels fluxos i la seva magnitud depèn d'un gran nombre de factors, com la temperatura, la humitat, la intensitat de la llum, el grau de fertilització d'N, el tipus de cultiu, la fenologia de la planta i el tipus de gestió.

Els fluxos d'NH₃ poden variar de forma important a diferents escales de temps, des de minuts a mesos, tot dificultant la seva mesura i integració per llargs períodes (Sutton et al., 2001). Així, s'han mesurat petites emissions, de l'ordre d'1-2 kg N-NH₃ ha⁻¹ i estació, en conreus de civada (Schjoerring et al., 1993), mentre que també s'han mesurat emissions elevades, de l'ordre de 15 kg N-NH₃ ha⁻¹ per estació, quan les mesures es concentren en els dies posteriors a la fertilització i durant el període entre l'inici de la floració i la collita (Harper et al., 1987). Sembla, doncs, que les emissions d'NH₃ poden ser importants després de la fertilització i en determinades etapes fenològiques del cultiu.

Els canvis en l'ús del sòl i el canvi climàtic afectaran els fluxos d'NH₃, però encara no es disposa dels models necessaris per analitzar els efectes a escala regional (Sutton et al., 2001). Sembla

clar que un augment de la intensificació ramadera o dels conreus augmenta les emissions d' NH_3 . També s'ha demostrat que la pràctica habitual de fertilitzar els conreus farratgers just després de la collita, quan hi ha un excés de nitrogen al sòl, s'hauria de canviar, i que deixar passar unes setmanes reduiria les emissions. Un escalfament del clima tendirà a augmentar les emissions.

B5.2.5. El context socioeconòmic

Els canvis previstos en el clima i d'altres condicionants del medi físic s'han de posar necessàriament en el context d'altres canvis culturals que s'estan produint simultàniament i que afecten l'ús del sòl. La població humana està creixent a un ritme d'uns 90 milions de persones per any. Conseqüentment, els ecosistemes naturals estant essent ràpidament reemplaçats per sistemes agrícoles i els sistemes existents s'estan gestionant més intensament per tal de fer front a la demanda creixent d'aliment i d'altres béns. La FAO estima que al voltant de 78 milions d'hectàrees de terra s'hauran convertit en agrícoles l'any 2010 a Amèrica del Sud, Àfrica i Àsia. No obstant això, tant a Europa com a Nord Amèrica, la proporció de terres agrícoles ha davallat al voltant d'un 0,50%, amb un decreixement exponencial (Sombroek i Gomme, 1997). El canvi en l'ús del sòl a la conca mediterrània en general, i a Catalunya en particular, es presenta com un escenari complex (de Bello et al., 2002). Alguns autors proposen que a les terres catalanes els canvis en l'ús del sòl poden tenir efectes tant o més importants que el canvi climàtic. En el cas de les activitats agropecuàries i silvícoles, aquests canvis es centren, d'una banda, en la roturació i la sobrepastura de la forest (Suárez et al., 1992) i, de l'altra, en un abandonament de les terres marginals de més difícil accés i complicada mecanització (Sebastià i Cañas, 1985). La transformació de les zones forestals en terres de conreu produeix un flux net del C contingut en la biomassa i en la matèria orgànica del sòl cap a l'atmosfera en forma de CO_2 .

L'homogeneïtzació del paisatge produïda per l'abandonament de les terres marginals, en aug-

mentar la quantitat de combustible i la seva continuïtat, és una de les causes de la gran extensió d'alguns incendis (Vélez, 2000). Així, una part important dels incendis a la conca mediterrània afecta camps abandonats durant la segona meitat del segle xx (Vallejo, 1997). Paral·lelament, en els darrers decennis s'ha produït una intensificació de les activitats agropecuàries, amb una concentració en determinades zones de topografia suau i bona xarxa de comunicació. Això comporta un desequilibri territorial i l'aparició de problemes de contaminació, acumulació de residus, etc. A Catalunya, l'abandonament de terres i la intensificació de determinats usos en certes zones són els problemes més importants relacionats amb els canvis d'usos del sòl.

Els canvis en les condicions socioeconòmiques catalanes pel que fa a l'agricultura i la silvicultura no són independents de les modificacions que es produeixen en les condicions socioeconòmiques dels països veïns com a conseqüència del canvi climàtic. La suavització de les temperatures en els països centre i nord europeus portarà a una millora de les condicions productives d'aquests països, molts dels quals actualment són importadors de productes agrícoles catalans, i augmentarà la competència amb els mercats tradicionals. Això pot portar a un abandonament addicional de terres agrícoles, particularment de secà, com a conseqüència de la reducció de la rendibilitat de les explotacions.

Un darrer perill per a les zones agrícoles relacionat amb els canvis d'ús del sòl és la urbanització. Les ciutats es desenvolupen a prop de zones planes on hi ha una bona disponibilitat d'aigua i la demanda de sòl per a usos urbans o industrials a expenses del sòl agrícola és molt forta. Així, moltes de les terres properes als rius, que sovint tenen els sòls adequats per a l'agricultura i amb més facilitat per al reg, han estat o estan sent urbanitzades. Hi ha nombrosos exemples a tota la conca mediterrània. En el cas de Catalunya són patents a la ribera del mitjà i baix Segre, al Prat del Llobregat, al Maresme, etc. Aquest fet con-

trasta amb la implantació de nous regs a zones cada cop més allunyades dels rius.

B5.3. Impactes del canvi climàtic sobre l'agricultura i la silvicultura

B5.3.1. Productivitat dels sistemes agrícoles i silvícoles

La temperatura, l'aigua, els nutrients i el CO₂ es troben entre els factors de producció més importants. Els models disponibles preveuen que tots quatre elements experimentaran modificacions importants en els propers anys. Alguns dels canvis poden disminuir l'efecte limitant de la producció que en l'actualitat exerceixen alguns d'aquests factors. No obstant, s'ha vist que l'efecte que pot produir cadascun dels elements del canvi climàtic a nivell individual no permet predir, necessàriament, el seu efecte quan actuen conjuntament. Les interaccions entre els diferents elements productius són complexes i estan regulades per processos de retroacció positius i negatius. Per exemple, l'efecte beneficiós sobre la producció vegetal que la fertilització per CO₂ té per a moltes plantes conreades pot desaparèixer si hi ha una reducció de la disponibilitat hídrica o una manca de nutrients. Al mateix temps, s'ha vist que un increment del CO₂ a l'atmosfera millora les relacions hídriques de les plantes, però el balanç total pot dependre de canvis en altres factors climàtics.

B5.3.2. Erosió i cicle hidrològic

Si en una zona determinada s'incrementen els períodes de sequera extrema i d'escalfament de manera persistent, l'equilibri de l'ecosistema pot trencar-se i augmentar perillosament el risc de desertització, especialment si a més es superposen activitats humanes de degradació o sobrepastura (Gates, 1993). Si la coberta vegetal es redueix sota aquestes condicions, per exemple, per una disminució de la productivitat, l'albedo incrementa i s'entra en un procés de retroacció positiva que amplifica el fenomen erosiu i la desertificació. El fenomen erosiu pot veure's amplificat per l'augment de la freqüència de pluges torrencials després d'un estiu calorós.

Al Sahel s'han trobat correlacions entre la quantitat de pols produïda a la primavera i les pluges reduïdes de l'any anterior (Brooks i Legrand, 2000), que mostren una possible dependència entre la climatologia àrida i l'erosió. A Catalunya, aquesta pols arriba en quantitats cada cop més significatives (Ávila et al., 1998) i pot tenir efectes positius sobre el creixement dels boscos i en l'esmoreïment de la pluja àcida (Ávila i Peñuelas, 1999), però també constitueix un recordatori dels perills que amenacen el país.

B5.3.3. Els cicles del carboni, del nitrogen i d'altres nutrients

Les prediccions sobre els efectes del canvi climàtic en els cicles biogeoquímics i com aquests, al seu torn, poden incidir sobre el canvi climàtic són difícils, ja que els escenaris futurs no estan del tot definits. El cicle del carboni està íntimament lligat al cicle dels altres nutrients, particularment al del nitrogen. Una disponibilitat baixa d'aigua o de nutrients limitarà la capacitat dels ecosistemes per assimilar carboni (vegeu Alcañiz et al., capítol B10 d'aquest llibre). A Catalunya, molts ecosistemes forestals i agraris es troben limitats pel fòsfor (P). A escala biològica, la disponibilitat de P està associada a la descomposició de la fullaraca i de la matèria orgànica del sòl. A escala de temps pedogenètica, en canvi, està controlada, en últim terme, per la meteorització dels minerals primaris. Els factors que controlen la descomposició de la matèria orgànica seran determinants en la disponibilitat de fòsfor per a les plantes.

La deposició d'N atmosfèric procedent de la contaminació atmosfèrica va comportar l'augment de la producció de molts boscos europeus que estaven limitats per aquest nutrient, tot i que també va provocar la mortalitat d'algunes masses forestals per desequilibris nutricionals i lesions a les fulles i branques fines. A Catalunya, diversos grups estan fent mesures força acurades de la deposició d'N en diferents ecosistemes forestals i aquàtics (CREAF, CEAM-CTFC, CRAM-UB-CSIC). La deposició total d'N s'ha estimat en uns

15-21 kg per hectàrea i any en alguns alzinars del Montseny (Rodà et al., 2002) i de 4,0 i 2,9 kg, en forma d'amoni i de nitrat respectivament, els anys 1997-2001, a la conca del Redon (Viella, Pirineu central, Mosello et al., 2002). Si els nivells de deposició al Montseny es mantenen tan elevats cal esperar un augment de la producció dels boscos, però a llarg termini els efectes poden ser perjudicials (Rodà et al., 2002).

Entendre com els possibles escenaris afectaran les interrelacions entre els diferents nutrients és difícil. Les respostes dels ecosistemes a un canvi climàtic només poden ser experimentades a curt termini. A més llarg termini, les prediccions s'obtenen a partir de models de simulació. Així que, a llarg termini, les incerteses sobre com s'afectarà el funcionament de l'ecosistema són molt grans i fan referència a com s'adaptaran les plantes i els organismes a un determinat canvi climàtic (Arp et al., 1997). Una concentració elevada de CO₂ produeix, a curt termini, un creixement més gran de les plantes. La capacitat de mantenir una productivitat més elevada dependrà de com les plantes interaccionen amb altres factors, com la disponibilitat de nutrients i d'aigua. La relativa eficiència en el seu ús per les diferents espècies pot determinar l'èxit competitiu d'aquestes i modificar la composició futura d'espècies. Les plantes crescudes en condicions de CO₂ elevat tenen una concentració d'N més petita i una relació C/N més alta (Bottner i Couteaux, 1991). Això disminueix la seva qualitat i en redueix la taxa de descomposició. No obstant això, l'augment del C pot ser degut en bona part a una acumulació de midó, que té un efecte diferent a si l'augment es produeix en un compost de C més recalitrant (Arp et al., 1997). A més, un augment de la temperatura produeix un augment de la taxa de descomposició. A llarg termini, una concentració de CO₂ més elevada pot afectar la capacitat de retirar els nutrients de les fulles abans no es desprenguin o augmentar l'absorció de nitrogen i que l'efecte sobre la qualitat de la fullaraca sigui menys important (Arp et al., 1997). Així, la resposta de les plantes a un esce-

nari complex d'augment de la concentració de CO₂ dependrà d'un conjunt d'interaccions amb factors biòtics i abiòtics, on la disponibilitat d'N serà determinant.

B5.3.4. Embornals de carboni

Després dels acords de Kyoto, s'estan fent bastants esforços per quantificar el contingut de carboni dels diferents ecosistemes i per entendre els mecanismes que intervenen en els intercanvis de carboni entre els diferents compartiments d'un mateix ecosistema. Deixant de banda el factors antròpics, el balanç net de CO₂ a l'atmosfera és el resultat de la diferència entre la sortida per via de l'assimilació fotosintètica de C i l'entrada com a resultat de la respiració i la descomposició. En funció de la intensitat d'aquests processos, un sistema determinat actuarà com a font de C cap a l'atmosfera o com a embornal, sostraint C de l'atmosfera.

El contingut orgànic d'un sòl és el resultat d'un equilibri entre la vegetació, la precipitació i la temperatura. L'assimilació de C per la vegetació presenta una resposta positiva i instantània a un augment de la concentració de CO₂, quan les altres necessitats de la planta es poden satisfer. En canvi, el procés de descomposició presenta una resposta més lenta i indirecta, generada a partir dels canvis de temperatura, humitat i qualitat de la matèria orgànica resultat d'un canvi sostingut en la concentració de CO₂. L'augment de la respiració també és un resultat indirecte i augmenta exponencialment amb l'augment de la temperatura. En un futur escenari de canvi climàtic, caracteritzat per un augment de la temperatura i de la concentració de CO₂, es prediu, a un termini mitjà, una disminució de la taxa d'assimilació de CO₂, mentre que les taxes de respiració i descomposició seguiran augmentant. Així, sembla que l'absorció de C des de l'atmosfera serà difícil de mantenir. Com efecte afegit, la transformació d'ecosistemes naturals en terres de conreu a escala global no es reduirà i, per tant, el balanç net per a l'atmosfera a llarg termini serà un augment de la concentració de CO₂. Els sòls

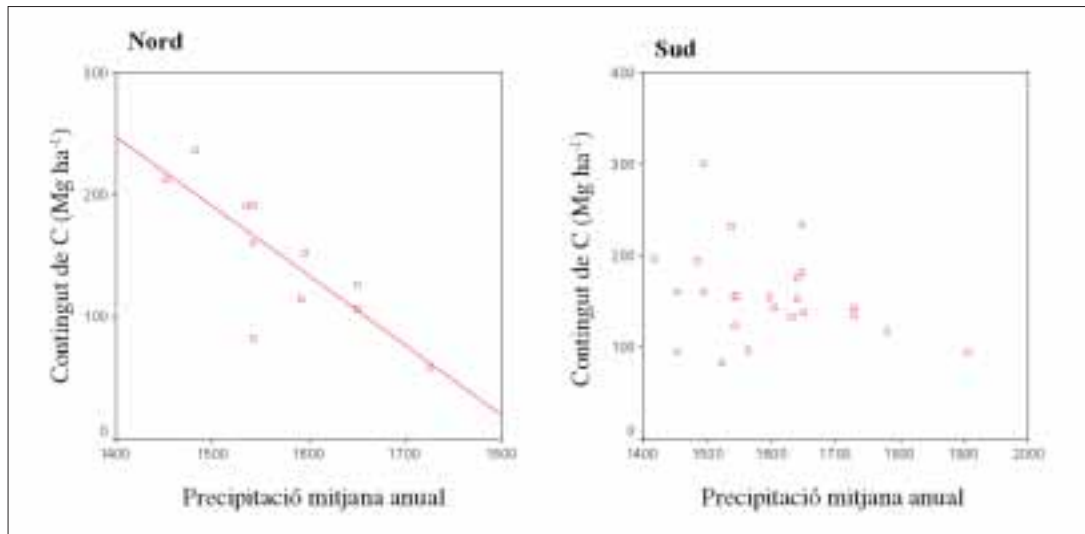


Figura B5.5. Variacions en el contingut de carboni al sòl en pastures pirinenques, en funció de la precipitació anual de cada localitat mostrejada per a dues orientacions, (nord i sud).

Font: Garcia-Pausas et al. 2003.

constitueixen el compartiment dels ecosistemes terrestres amb més C acumulat i, a més, es considera que poden ser un embornal net de C (vegeu Alcañiz et al., capítol B10 d'aquest llibre, on s'estima el C emmagatzemat al sòls de Catalunya). No obstant això, la repetició de l'inventari nacional de sòls que s'havia realitzat entre els anys 1978 i 1981 a Anglaterra i Gal·les ha permès constatar una disminució del contingut de carboni orgànic dels sòls agrícoles i de les pastures permanents (Bellamy et al., 2003). La disminució en els sòls agrícoles es pot explicar si es relaciona amb un augment del llaurat i de la fertilització del sòls. En canvi, la disminució del contingut de C en els sòls de les pastures permanents és més sorprenent i controvertit.

Una altra característica dels boscos i prats que podria contribuir a la llarga a l'economia de les zones rurals i constituir un valor afegit de les activitats agràries és la seva capacitat com a embornals de carboni. Els prats i altres ecosistemes pastorals sembla que acumulen una bona quantitat de carboni al sòl, però la capacitat com a embornal de carboni sembla dependre del tipus

de maneig (Guo et al., 2002). En un estudi preliminar fet als Pirineus, es trobà que el contingut de carboni al sòl en pastures subalpines i alpines variava des de 60 fins a 300 tones de C per hectàrea. Aquesta variació es relacionava de manera complexa amb alguns tipus de litologia, la fondària del sòl i la precipitació, però en aquests dos darrers casos la relació depenia de l'orientació (Garcia Pausas et al., 2003, figura B5.5). Tot i així, quedava una gran part de la variabilitat sense explicar, i la hipòtesi és que la biomassa de la pastura i el tipus de maneig poden ajudar a explicar una bona part d'aquesta variabilitat. Per tal de comprovar-ho, s'està desenvolupant el projecte CARBOPAS, coordinat des del Centre Tecnològic Forestal de Catalunya, en què també participen la Universitat de Barcelona, la Universitat Autònoma de Barcelona i la Universidad Pública de Navarra. Els resultats preliminars d'aquest projecte, a partir d'un mostreig extensiu de sòls de pastura dels Pirineus, apunten que els sòls de les zones pasturades tenen més C que els sòls de les zones sense pasturar (Casals et al., 2004).

Aquests resultats concorden amb els resultats preliminars dels projectes CARBOMONT i GREENGRASS, finançats per la Comunitat Europea, que estimen l'intercanvi net de C entre l'atmosfera i l'ecosistema mitjançant la tècnica de la covariància turbulenta (*Eddy covariance*). Segons aquests estudis, els ecosistemes pastorals europeus tenen un lleuger paper d'embornal de C (Sanz et al., 2003), tot i que es necessiten més dades. A la vall d'Alinyà, al Pirineu de Lleida, una de les localitats estudiades en el primer projecte, s'està fent un seguiment del balanç net del carboni pel mètode de la covariància turbulenta (*Eddy covariance*), analitzant el flux de CO₂ atmosfèric al llarg del temps en un prat de transició entre l'estatge subalpí i altimontà, fortament pasturat tot l'estiu i fins ben entrada la tardor. Els resultats mostren que l'any 2002 el prat va ser una font de C durant l'estiu, coincidint amb les temperatures altes i la pastura intensa, i un embornal durant la tardor (figura B5.6). En conjunt, entre el 13 de juny i el 30 de setembre del 2002 l'ecosistema va tenir una acumulació total de 13,7 g C m⁻² (Sanz et al., 2003), però anàlisis preliminars de les dades del 2003 apunten una compensació entre entrades i sortides.

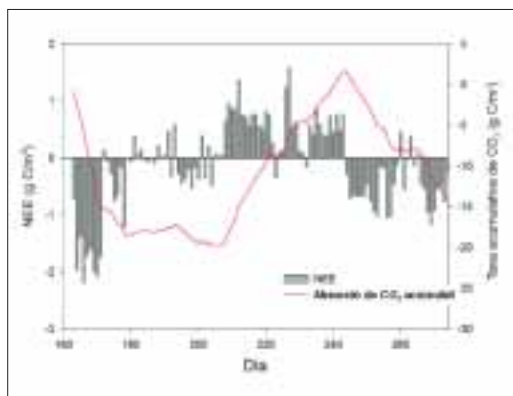


Figura B5.6. Intercanvi net del l'ecosistema (NEE) i CO₂ absorbit acumulat, mesurats pel mètode de l'*Eddy covariance* a la parcel·la de mostreig del projecte CARBOMONT a la vall d'Alinyà durant el període de creixement del 2002.

Font: Sanz et al. 2003.

La majoria dels escenaris de canvi climàtic previstos comportaran un canvi en l'ús del sòl i aquest, al seu torn, repercutirà sobre el canvi climàtic. El contingut orgànic d'un sòl és resultat d'un equilibri entre la vegetació, la precipitació i la temperatura, a més de la textura. Un canvi en l'ús de la terra afectarà aquest equilibri i el sòl esdevindrà una font o un embornal de C fins que s'arribi a una nova situació d'equilibri. El C acumulat en un sòl disminueix de forma important quan un bosc o una pastura es converteix en conreu (més del 50% del contingut inicial, segons Guo i Gifford, 2002). El procés contrari també és molt significatiu. La regeneració d'un conreu per vegetació natural o la plantació d'arbres produeix una acumulació de matèria orgànica al sòl. Romanyà et al. (2000) van estimar increments de l'ordre de 100 kg de C per ha i any en el sòl en plantacions de *Pinus radiata* a Catalunya fetes sobre vinyes i camps de cereal. Tanmateix, el pas de pastura a plantació pot significar la pèrdua de C al sòl (Guo i Gifford, 2002).

B5.3.5. Capacitat d'invasió, malalties i plagues

Totes les plantes utilitzen els mateixos recursos bàsics i, per tant, competeixen per tal d'obtenir-los. Malgrat que algunes espècies semblen més competitives que altres en l'obtenció d'aquests recursos, no hi ha pràcticament cap superfície de la Terra ocupada per una sola espècie de planta i, en la majoria dels llocs, coexisteixen diverses espècies de forma natural. Els agroecosistemes no en són una excepció, i els pagesos gasten molts recursos per tal de reduir el nombre d'espècies invasores i adventícies dels cultius. Generalment, la prevenció de totes les pèrdues produïdes per herbes no desitjades no és econòmicament rendible, atès el cost de la despesa en herbicides, mà d'obra, combustible i maquinària necessària per combatre-les. En països industrialitzats, s'ha estimat una pèrdua de la producció d'un 7% per als conreus més importants amb les millors pràctiques agrícoles, xifra que arribaria fins a un 35% si no s'apliquessin herbicides (Bunce i Ziska, cap. 15,

Reddy i Hodges, 2000). En condicions de canvi climàtic, s'ha especulat que es podria produir un increment de les pèrdues de producció en els conreus a causa de les males herbes, per les causes següents:

- Una plasticitat i una variabilitat genètiques més elevades a les males herbes que als cultius.
- L'ampliació cap al nord, a l'hemisferi nord, de l'àrea de distribució d'algunes males herbes molt agressives, les quals actualment tenen llur distribució limitada a regions molt càlides per la seva sensibilitat a baixes temperatures.
- Un hipotètic increment de les dificultats per combatre les males herbes mecànicament i química com a conseqüència dels canvis fisiològics originats per un increment de CO₂ a l'atmosfera (Bunce i Ziska, 2000).

Algunes herbes no desitjades tenen via metabòlica C₄, la qual cosa les fa molt competitives en ambients càlids. Tanmateix, quan l'atmosfera té una elevada concentració en CO₂, l'avantatge de la via C₄ sobre la C₃ desapareix. Per tant, aquest factor dependrà del cultiu concret que es consideri i de les males herbes més freqüents en aquest cultiu. Una atmosfera enriquida en CO₂ podria representar un avantatge per a cultius C₃ amb males herbes C₄ (Bunce & Ziska, 2000).

Pel que fa a les plagues animals, l'increment de C sota una atmosfera amb CO₂ elevat pot portar a l'increment de la concentració de metabòlits secundaris a les plantes, els quals actuen com a mecanismes de defensa contra els herbívors. Aquest increment podria dependre de l'espècie considerada, i Peñuelas et al. (1996) trobaren un rang de respostes dins de diverses espècies d'interès agrícola i forestal, decreixent a pins, sense canvis a tarongers i creixent a blat sota dos tractaments, ben irrigat i amb deficiències hídriques. També l'estrès hídric fa que les plantes tinguin més compostos secundaris de tipus fenol, terpens que els protegeixen, al mateix temps, de les plagues.

La reducció en la proporció d'N a les plantes produeix un desenvolupament més llarg en alguns insectes que les consumeixen, un augment del consum d'aliment, un descens en l'eficiència del processament de l'aliment i una reducció general del desenvolupament (Roth i Lindroth, 1995). Tot i que no es disposa de gaires dades, l'augment de CO₂ podria inhibir el desenvolupament de l'escarabat de la patata (Miglietta et al., 2000). En canvi, un augment de les temperatures podria portar a la introducció de plagues en zones on no es troben actualment. Molts organismes tenen limitada llur distribució geogràfica a causa de les baixes temperatures i el risc de gelades a altituds elevades i a regions més septentrionals. La processionària del pi, per exemple, sembla haver augmentat el seu rang altitudinal a Catalunya. S'ha predit que temperatures hivernals més càlides tindran efectes significatius en les poblacions de moltes plagues d'insectes, limitades per la temperatura, en organismes tan diversos com el mosquit verd de la patata, la tinya del gira-sol o el taladre del blat de moro (Gates, 1993).

Canvis en el clima poden tenir conseqüències desproporcionades per a l'aparició de plagues. L'extensió d'una plaga a partir de nombres reduïts d'organismes molt sovint està relacionada amb la concurrència d'unes condicions climatològiques favorables determinades (Gutierrez, 2000). Dades preliminars semblen indicar que sota aquestes condicions es necessitaran nous agents de control biològic (Gutierrez, 2000). En determinats casos, com els conreus farratgers, la barreja d'espècies farratgeres podria dotar el conreu d'una major capacitat de resposta davant de plagues, males herbes o alteracions climàtiques com sequera o gelades primerenques en comparació amb els monocultius, sense disminuir ni la producció ni la qualitat bromatològica (Sebastià et al., 2004a).

B5.4. Vulnerabilitat i adaptació dels principals sistemes agrícoles i silvícoles a Catalunya

B5.4.1. Cereals

La situació dels cultius a Catalunya amb relació al canvi climàtic pot ser molt diferent, segons es considerin zones de regadiu o zones de secà. En general, a Catalunya les zones de regadiu es nodreixen de l'aigua dels embassaments. Si disminueix la quantitat de precipitació a les zones de muntanya i, en particular, la quantitat de neu que s'acumula a l'hivern a les parts més elevades, les zones de reg poden veure's amenaçades. Però, si es garanteix la disponibilitat d'aigua per al reg, la productivitat d'aquestes zones probablement no ha de veure's minvada. Un altre aspecte és el relatiu a la pujada de les temperatures: els efectes poden ser molt diferents en funció del cultiu i de com es produeixi l'increment de la temperatura.

Amb l'augment de la temperatura, s'ha estimat una reducció de la durada dels conreus de cereals (Deudron, 2001) i, si aquesta pujada es produeix a l'hivern, una manca de vernalització en varietats de blat amb aquests requeriments (Guereña et al., 2001). Un tipus de conreu de secà que podria presentar problemes amb l'escalfament i l'increment de l'aridesa del clima serien els cereals de secà, com la civada, el blat o l'ordi. El blat proporciona aproximadament el 20% de l'energia i el 25% de les necessitats proteiques de la població humana mundial (Lawlor i Mitchel, 2000). El cultiu de cereals, com el de lleguminoses, ha experimentat un creixement important a Europa en anys anteriors (Sombroek i Gomme, 1997).

La Unió Europea és un dels principals exportadors de blat al mercat mundial, però els darrers anys ha experimentat, globalment, una reducció de la productivitat i una davallada de la superfície cultivada de blat, per la qual cosa les recomanacions generals són garantir una inversió en producció de blat per cobrir les demandes d'una població en augment i contrarestar els possibles

efectes del canvi climàtic (Lawlor i Mitchell, 2000). El blat és una de les espècies que mostra una resposta més gran a l'augment de CO₂ en presència de nutrients i d'aigua, i s'ha predit un augment en la producció de blat sota aquestes condicions no limitants d'entre el 7 i l'11% (Lawlor i Mitchell, 2000; taula B5.2). En canvi, l'increment de CO₂ pot reduir en part els efectes negatius de la sequera (Lawlor i Mitchell, 2000) i portar a l'augment del rendiment dels cereals d'hivern de tota Europa (Deudron, 2001).

Actualment, els cereals de secà són molt importants en zones de Catalunya ja força àrides, com la Segarra, de manera que la disminució de la precipitació en aquestes zones i l'augment de les temperatures podria conduir a una situació crítica. En canvi, el seu cultiu es podria mantenir i estendre en àrees de secà més humit, com ara el Berguedà i altres comarques de muntanya (taula B5.2). Les comarques més frescals i més muntanyenques del nord de Catalunya podrien experimentar canvis importants amb un augment de l'aridesa. Actualment, aquestes zones poden produir, sense reg, conreus típics de zones temperades fredes, gràcies a unes temperatures frescals i una precipitació suficientment elevada. L'escalfament comportaria la necessitat d'introduir sistemes de reg per tal de mantenir els cultius actuals en determinades zones o un canvi cap a conreus de secà més càlid. L'augment de CO₂ pot fer disminuir les necessitats de reg dels cereals en les zones de regadiu (Guereña et al., 2001).

B5.4.2. Conreus hortícoles i en hivernacle

A diferència dels altres grups de conreus, a Catalunya es cultiva una gran diversitat d'hortalisses, amb moltes espècies diferents. Per altra banda, aquestes hortalisses es cultiven en una gran diversitat de sistemes de producció: des d'un cultiu semiextensiu de ceba a les comarques de Lleida fins a un cultiu en hivernacle amb els últims avenços tecnològics al litoral català (al Marèsme, al Baix Llobregat i al litoral tarragoní). Aquesta gran diversitat de cultius i de sistemes

	Respostes biològiques	Vulnerabilitat regional	Solucions tecnològiques	Condicionaments socioeconòmics	Oportunitats
Cereals	Resposta positiva al CO ₂ en plantes C ₃ . Resposta positiva a la temperatura en plantes C ₄ . Escurçament del cicle.	Zones de secà meridionals molt vulnerables. Possibilitats d'incrementar la superfície a les zones més septentrionals	Disponibilitat de varietats resistents a la sequera. Canvi dates de sembra. Canvi a varietats de cicle curt.	Reducció o desaparició, en alguns llocs, dels cereals de secà actuals.	En alguns indrets, increment del sorgo, mill i blat de moro.
Hortalisses	Respostes diverses al CO ₂ . Efectes més aviat negatius a l'augment de la temperatura. Elevada sensibilitat a l'estrés hídric.	Augment de la necessitat d'aigua de reg. Increment de plagues.	Grans possibilitats de resposta amb canvis varietals, de tipus de conreu, de tècniques de cultiu, etc. Estratègies per augmentar l'eficiència en l'ús de l'aigua: encoixinats del sòl, tallavents, gota a gota, etc.	Vulnerabilitat dels petits productors amb capacitat de resposta limitada per adaptar-se als canvis tècnics necessaris. Pèrdua de superfície de conreu per increment de zones urbanes.	Cultiu de varietats precoces. Substitució de cultius menys rendibles per cultius hortícoles adaptats. Nous cultius.
Cultius en hivernacle		Augment de la necessitat d'aigua de reg. Increment de plagues.	Estratègies per augmentar l'eficiència en l'ús de l'aigua: encoixinats del sòl, tallavents, gota a gota, captació d'aigua per la coberta d'hivernacle, recirculació de l'aigua de reg, increment dels cultius en sense sòl etc.	Pèrdua de superfície de conreu per increment de zones urbanes i per l'adopció d'altres tècniques de protecció. Increment en zones periurbanes.	Reducció de despeses de calefacció i combustibles fòssils i d'adobat amb CO ₂ . En canvi, increment de despesa per a refrigeració estival. Cultius d'origen més càlid, hortícoles o ornamentals.
Cultius llenyosos	Necessitat d'un nombre determinat d'hores de fred per floració alta i regulari qualitat adequat. Pèrdua de qualitat de la fruita amb temperatura alta.	A zones fredes, augment de risc de pèrdues per avançament de floració, seguit de gelades. Més demanda de reg.	Canvis varietals i, fins i tot, d'espècies. Augment de l'eficiència de l'ús de l'aigua.		Introducció de nous cultius sensibles a gelades, com el hesperer. Introducció de varietats més primerenques de preu de venda més alt. Introducció i ampliació de la superfície de cítrics.
Farratgeres	Resposta positiva al CO ₂ en lleguminoses i altres. Augment del cicle productiu (alfals).	Zones fredes vulnerables segons disponibilitat d'aigua.	Introducció de barreges. Canvis varietals i d'espècies.		Increment del nombre de dalls en zones de regadiu. Allargament de l'estació de creixement.
Prats de muntanya	Pèrdua de biodiversitat. Canvis d'espècies amb possible disminució de les bones farratgeres. Ràpida mineralització inicial, amb risc de pèrdua posterior de fertilitat al sòl.	Molt vulnerables a tota la zona de distribució. Possibilitats de moviments altitudinals fins on sigui possible, altrament extinció. Sistemes alpins especialment vulnerables.	Difícil pel que fa al canvi climàtic. Desbrossament i cremes controlades per mantenir les superfícies de pastura. Ajuts a la ramaderia extensiva.	Fortes interaccions amb canvis en l'ús del sòl per abandonament. Ajuts a sistemes extensius de la UE.	Increment inicial de la productivitat.
Pastures mediterrànies		Capacitat de desplaçament de les espècies en altitud.	Desbrossament i cremes controlades per mantenir les superfícies de pastura. Ajuts a ramaderia extensiva.	Urbanització i infraestructures dificulten l'ús del desplaçament. Pèrdua de superfície per abandonament de pastures.	Augment de la superfície per abandonament de conreus.

Taula B5.2. Comparació de les possibles respostes dels diferents tipus de conreu i pastures davant del canvi climàtic.

productius hauria de conferir a l'horticultura una major capacitat de resposta front als canvis climàtics. De fet, en horticultura s'utilitzen tècniques de modificació climàtica per produir cultius específics. El preu de mercat dels productes hortícoles, més elevat en comparació amb altres conreus, permet aplicar tecnologies de control dels sistemes productius de més impacte que en altres sistemes de cultiu.

Des del punt de vista productiu, l'augment de la temperatura ambiental comportarà efectes molt diferents depenent del cultiu que es tracti. En general, l'augment tèrmic tindrà efectes sobre els cicles de cultiu, escurçant-los. Això pot donar lloc a alguns avantatges econòmics, en permetre produccions més primerenques, amb un valor en el mercat més elevat. Serà necessària, doncs, una adaptació dels cultius i, sobretot, de les varietats cultivades a les diferents zones climàtiques i en alguns casos també de les espècies conreades. Una alternativa seria desplaçar el cultiu a una zona climàtica diferent o de més altitud. No obstant això, si es volgués seguir conreant les mateixes varietats en la mateixa zona climàtica afectada per un increment tèrmic considerable, en la majoria dels casos comportaria probablement una lleugera disminució de la producció, en escurçar-se el cicle, però, sobretot, una pèrdua de qualitat dels productes hortícoles (taula B5.2).

Són prou coneguts els efectes negatius que tenen les altes temperatures sobre la qualitat de moltes verdures. L'espinaç i la col-i-flor, per exemple, no resisteixen temperatures gaire altes (Llebot, 1997), com els enciams i la majoria de cultius d'arrel, com la pastanaga (Peet i Wolfe, 2000). Segons dades de Wien, recopilades a Peet i Wolfe (2000), en el cas dels espàrrecs i les mongetes es produeix un augment del teixit fibrós, a la col i als enciams es produeix la necrosi de les parts apicals, (particularment si, a més, es produeix sequera), a les pastanagues es redueix el contingut en carotens, etcètera. Per als productors de verdures fresques, fins i tot, petites

faltes poden fer invendibles els seus productes. Sens dubte, les conseqüències seran més importants per als petits productors, per als quals les condicions es faran més difícils ja que tenen menys capacitat de sobreviure a rebuigs temporals del mercat i d'adaptar-se i canviar a un cultiu diferent, que requereix una tecnologia nova (Peet i Wolfe, 2000). No obstant això, el canvi climàtic obre les portes a d'altres oportunitats en matèria d'hortícoles, com es pot veure a Almeria i Múrcia, actualment amb condicions climàtiques més càlides.

Els cultius d'estació freda probablement es podran seguir conreant a les zones interiors de Catalunya, però se'n podrà avançar l'inici del cultiu. Aquests cultius, que molt sovint tenen necessitats de vernalització (com, per exemple, la col-i-flor i el bròquil), s'hauran d'adaptar, utilitzant les varietats adequades, si es volen seguir conreant al litoral. Ara bé, en el cas d'alguns cultius per als quals la vernalització suposa una pèrdua de valor comercial en induir una floració precoçment (ex: api, pastanaga i cols), l'increment tèrmic seria beneficiós. En zones interiors de Catalunya es podrà plantejar la realització d'altres cultius mitjanament resistent al fred que són difícils de portar a terme perquè no suporten tardors i hiverns massa freds i èpoques llargues amb risc de glaçades. Alguns cultius, com la patata, baixarien clarament la seva productivitat al ser inhibida la tuberculització en incrementar-se les temperatures.

En zones interiors, l'estiu podrà esdevenir més càlid encara del que ja és actualment. Això comportarà una preferència pels cultius d'estació càlida més resistent a altes temperatures. Probablement s'hi puguin introduir nous cultius procedents de zones climàtiques més càlides. Al litoral, on la presència del mar amortirà una mica més l'efecte d'increment tèrmic, es podran avançar encara més les dates de plantació, i es podran portar a terme produccions més primerenques, amb el conseqüent augment del seu valor de mercat (taula B5.2). En els casos en què el

cultiu s'ha de fer necessàriament en hivernacle, se'n podrà plantejar el cultiu amb sistemes de semiforçat menys sofisticats o, fins i tot, dependent de la magnitud del canvi tèrmic, a l'aire lliure, tot reduint els costos de producció.

A l'hivern es preveu reduir la despesa en sistemes de calefacció i combustibles fòssils en els hivernacles. En canvi, a l'estiu l'excés de temperatura, que ja actualment és limitant, probablement esdevindrà crític per a la producció, a menys que s'implementin sistemes de refrigeració eficients, fet que podria comportar un increment de la despesa energètica. En aquestes circumstàncies es podran realitzar cultius d'origens climàtics més càlids, ja sigui hortícoles o ornamentals (com les espècies CAM: cactàcies, etc.), que actualment són més difícils de realitzar (taula B5.2).

En els cultius d'estació càlida (majoria de cultius de fruit) l'increment tèrmic podria suposar una millora de la qualitat. En horticoltura protegida és habitual, a la primavera i a l'estiu, combatre l'excés de temperatura, ja sigui al sòl o a l'aire, mitjançant tècniques diverses (ombreig dels cultius, utilització d'encoixinats reflectants en sòl, maneig de la ventilació i utilització de sistemes de refrigeració, etc.). En canvi, un efecte negatiu de l'increment tèrmic serà l'augment de plagues en els conreus hortícoles, especialment a la primavera i a l'estiu. S'hauran d'aplicar, doncs, nous sistemes d'escapament i de control d'aquestes plagues.

Com que els cultius hortícoles són, bàsicament, plantes C_3 , l'augment de la concentració de CO_2 ambiental per se té una resposta productiva positiva. De fet, en horticoltura s'utilitza des de fa anys la tècnica de l'adobat carbònic en el cultiu en hivernacle. El CO_2 que s'introdueix en els hivernacles pot procedir de diverses fonts, com els gasos de combustió dels sistemes de calefacció de les pròpies explotacions i del subministrament d'empreses productores de gas. En aquest últim cas, aquestes empreses poden obtenir el gas d'indústries que alliberen CO_2 a l'ambient

com a subproducte dels seus processos industrials. Segons això, els cultius en hivernacle podrien actuar com a fixadors del CO_2 d'origen industrial, actuant, doncs, de forma beneficiosa en el control del canvi climàtic. El cultiu en hivernacle també podria contribuir a combatre la variabilitat i la incertesa del clima que pot incrementar els riscos de pèrdues de producció.

Tots els factors positius que s'acaben de citar, relacionats amb un increment tèrmic, estan subjectes a la disponibilitat d'una aportació hídrica no limitant per als cultius. Per tant, és molt important millorar l'aprofitament de l'aigua. Un augment tèrmic comportaria un increment de la transpiració del cultiu i de l'evaporació d'aigua del sòl. Aquest fet suposaria incrementar l'aportació hídrica per a aquests cultius. Els hortícoles són bastant més sensibles a l'estress hídric que altres grups de cultius. La majoria d'espècies hortícoles no són tolerants —o ho són molt poc— a la sequera (McKersie i Leshem, 1994). No és casualitat que dues zones típicament hortícoles a Catalunya siguin les zones humides del delta de l'Ebre i del delta del Llobregat. Moltes de les estratègies dels cultius per afrontar una situació de sequera comporten la disminució de l'àrea foliar, que en termes productius significa una disminució de la productivitat potencial.

Des del punt de vista hídric, el canvi climàtic podria ser molt perjudicial. Si el canvi tèrmic va acompanyat pel desplaçament dels cultius a zones tèrmiques similars a les actuals, i en aquestes últimes es manté el règim hídric, no es requeria un increment de l'aportació hídrica. Els sistemes hortícoles disposen de diverses estratègies per combatre la sequera, augmentar l'eficiència hídrica dels cultius i reduir globalment el consum d'aigua (per exemple, encoixinats del sòl, tallavents, hivernacles, sistemes de reg gota a gota, control de les necessitats hídriques utilitzant sensors, etc.).

El delta de l'Ebre i el delta del Llobregat són dues zones típicament hortícoles. A part del

canvi climàtic, hi ha una altra amenaça per a l'agricultura relacionada amb el canvi en l'ús del sòl: la urbanització. Les millors zones hortícoles es troben sovint a prop de nuclis urbans importants, que en el cas del delta del Llobregat és la ciutat de Barcelona. El creixement de la ciutat i la millora de les seves infraestructures de comunicació es fa en detriment de les millors terres agrícoles. D'altra banda, aquesta proximitat amb els nuclis urbans fa que la competència pels recursos hídrics (entre altres recursos) sigui més important entre l'horticultura i altres sectors (domèstic, industrial i turístic) que en el cas d'altres sistemes de cultius. En aquest sentit, si es vol augmentar l'eficiència en la utilització de l'aigua, sembla important estudiar la viabilitat de l'ús d'aigües residuals de les grans ciutats tractades, per poder ser utilitzades per al reg dels cultius hortícoles periurbans.

Com a exemple d'interacció entre tots aquests factors del canvi climàtic i la generació de possibles estratègies de resposta, es poden analitzar els resultats obtinguts en diversos experiments i models sobre la patata, incloent-hi el model NPOTATO, desenvolupat en un experiment finançat per la Comunitat Europea. El cultiu de la patata és molt sensible a les elevades temperatures, ja que la tuberculització es veu inhibida per les temperatures altes i es fa molt irregular en condicions d'estrès hídric. La formació dels grills de la patata també es veu estimulada per les altes temperatures. Tanmateix, la resposta a les temperatures elevades presenta una elevada variabilitat genètica, essent les varietats primerenques menys vulnerables a l'escalfament (Peet i Wolfe, 2000). S'ha observat que l'augment de CO₂ atmosfèric podria incrementar la producció de la patata fins a gairebé un 30%, però les altes temperatures reduirien aquest efecte.

Al sud d'Europa, la variabilitat en la producció de la patata augmentaria sota diversos escenaris de canvi climàtic i sense irrigació. La mateixa productivitat de la patata podria variar entre petits augments en zones no irrigades fins a petites

disminucions en zones irrigades, segons els diferents escenaris climàtics (Miglietta et al., 2000). Tanmateix, dos factors podrien fer variar aquesta situació, el tipus de varietat i la data de plantació (Miglietta et al., 2000). Les varietats més primerenques tenen un canvi en la producció més positiu, o un descens menys negatiu, sota condicions de canvi climàtic, amb i sense irrigació, ja que s'evita el període més calent de l'estiu (Miglietta et al., 2000). També una època de plantació més primerenca té un efecte positiu sobre la producció en aquestes condicions. En els experiments esmentats, tant la utilització de varietats primerenques de patata com l'avançament en l'època de plantació varen reduir considerablement els requeriments d'irrigació (Miglietta et al., 2000).

B5.4.3. Cultius llenyosos

Alguns dels cultius llenyosos que tenen més importància a Catalunya, com la pomera, la perera, el cirerer i el presseguer, necessiten un nombre determinat d'hores de fred. Quan el nombre d'hores de fred no és suficient, la floració és més baixa, irregular, estesa en el temps i amb un qualitat més petit i, per tant, comporta una reducció de la producció (taula B5.2). Si la reducció d'hores de fred és prou elevada, algunes varietats de pomes i peres que es cultiven actualment poden esdevenir inviàbles. En canvi, en alguns cultius, com el presseguer, aquesta alteració es pot solucionar amb un canvi de varietat.

L'augment de les temperatures a l'hivern i a la primavera pot produir un avançament de les dates de floració, que poden augmentar el risc de patir els efectes de les gelades si no va acompanyat per un increment de les temperatures mínimes en aquest període de temps (Cannell i Smith, 1986). Si l'increment de les temperatures mínimes a l'hivern ve acompanyat per una reducció del risc de gelades, seria possible introduir nous cultius llenyosos en zones com la Plana de Lleida, com, per exemple, el cultiu del nesprer o la introducció de noves varietats d'albercoquers o de presseguers que necessiten menys hores de fred per tal

de desenvolupar llurs fruits. Es tracta de varietats més primerenques, en algun cas de qualitat i producció més baixes, però de preu de venda més alt.

Una altra oportunitat que arribaria amb un descens del risc de gelades és l'ampliació de les zones de cultius de cítrics. En el cas de la taronja, la producció de la qual es fa bàsicament a la zona de Tortosa, es tracta d'una producció de qualitat molt sensible a les gelades, fet que explica que en alguns anys la producció hagi disminuït. L'augment de les temperatures i la disminució del risc de gelada, si es pot assegurar la disponibilitat d'aigua, permetria la consecució d'una collita més regular i la possibilitat d'estendre el seu conreu, el qual en els darrers 20 anys ha augmentat la seva superfície, al generar-se bones perspectives per a aquest cultiu. A més de les taronges, la disminució del risc de gelades també permetria la introducció a Catalunya d'altres cítrics molt més sensibles al fred, com la mandarina i el limoner.

L'increment de temperatures a l'estiu i, especialment abans de la recol·lecció, pot produir una davallada important de la qualitat de la fruita (per exemple, per la pèrdua de color de les pomes roges o bicolors o per un augment de l'anomenat cop de sol). L'allargament del període de creixement (Peñuelas et al., 2002) pot permetre un avançament de la collita i, en el cas d'alguns cultius, probablement també l'increment dels períodes anuals de recol·lecció (Reilly, 1997). Ara bé, el risc de pèrdues de la producció pot augmentar si l'avançament de la floració implica una superposició més àmplia amb el període de risc de gelades. L'augment de la variabilitat del clima predita pot fer augmentar el risc de pèrdues.

En el cas de conreus llenyosos, mentre temperatures molt baixes a començaments de la primavera afecten la flor, fortes glaçades a l'hivern perjudiquen l'arbre. La gran quantitat de pèrdues produïdes amb les fortes glaçades degudes a

temperatures de -20°C l'hivern del 2002 es traduï, en zones com Les Garrigues, en una elevada mortalitat de les oliveres i la necessitat de replantar molts arbres. En aquesta zona, on el risc real de gelades fortes amb una periodicitat potser d'almenys una cada vint anys és ben real, la reducció del risc de gelades hivernals portaria a la presència d'oliveres més velles, amb una reducció del risc de pèrdues de collita i una necessitat més baixa de reposició.

Ara bé, un factor molt limitant en aquestes zones de secà és la manca d'aigua. En els terrenys de secà o amb regs deficitaris, la reducció de pluges i l'augment de la seva irregularitat i de les temperatures a l'estiu incrementaria l'estrès hídric i reduiria la producció en cultius com l'olivera, l'ametller o l'avellaner. El conreu de la vinya (bàsicament en secà) també veuria reduït el seu potencial productiu per la reducció de la pluvio-metria. També s'ha predit un desplaçament cap al nord de les zones més favorables per al cultiu d'aquesta planta (Iglesias, 2000; Pascual, com. personal). L'augment de temperatures, però, podria incidir positivament en la qualitat. És difícil avaluar com el canvi climàtic afectaria la qualitat del vi, ja que s'hauria d'avaluar el microclima de cada zona en particular (humitats, pluges, règim de temperatures, etc.). S'ha trobat una forta dependència entre la qualitat vitícola i el clima, i la gran qualitat del vi els darrers 30 anys s'ha relacionat amb fenòmens d'El Niño (Rodó i Comin, 2000). Un avantatge seria la disminució del risc de gelades que afecten algunes zones productores, però aquest efecte queda supeditat a la variació de l'època de brotada (com ja s'ha esmentat anteriorment).

B5.4.4. Farratgeres

Al nord de les comarques interiors catalanes, com l'Alt Berguedà, l'Alt Urgell i el Solsonès, les espècies farratgeres com l'alfals o la trepadella es nodreixen principalment de l'aigua de les pluges, mentre que a comarques més meridionals com l'Osona, el Segrià i el Pla d'Urgell, els cal el reg. La forta sequera patida l'estiu del 2003 ha

fet disminuir el nombre de dalls obtinguts de les farratgeres a les zones de muntanya, en comarques tan variades com el Berguedà i l'Alta Ribagorça, entre d'altres. Mentre el darrer dall s'ha perdut per a fenc o ensitjat, els pagesos l'han donat com a pastura al bestiar mitjançant pastura. De manera habitual, els cicles anuals dall-pastura experimenten força variacions segons la climatologia concreta de cada any, com és d'esperar en zones amb influència mediterrània. Anys particularment humits i frescals permeten 2-3 aprofitaments mitjançant dall i un cicle de pastura a l'hivern o la primavera. Ara bé, anys més secs només permeten 1-2 aprofitaments per dall. Un augment en la freqüència dels anys secs reduiria la rendibilitat general de l'explotació i portaria a la cerca d'alternatives que permetessin el seu manteniment, com ara la introducció del reg en els casos en què fos viable, o directament a l'abandonament de les explotacions, què és un perill ben present a les zones de muntanya. D'altra banda, l'augment del CO₂ a l'atmosfera podria pal·liar, en part, els efectes negatius de la sequera, augmentant-ne la tolerància de les plantes, com s'ha vist en el cas de l'alfals (De Luis, 2000).

Si s'aconsegueix una bona disponibilitat hídrica, les zones més fredes de Catalunya podrien augmentar llur productivitat global gràcies als efectes estimuladors de les temperatures més altes (taula B5.2). La productivitat a les zones fredes sembla estar limitada principalment per les baixes temperatures. Ara bé, una davallada en les precipitacions en les zones de muntanya pirinenques (Martín-Vide, capítol A3 d'aquest llibre) amenaça un factor en el qual aquestes zones basen gran part de la seva riquesa productiva: la disponibilitat d'aigua.

Una de les lleguminoses farratgeres d'interès és la trepadella (*Onobrychis viciifolia*), cultivada freqüentment en algunes zones del Prepirineu. Tot i l'elevada qualitat d'aquesta espècie farratgera, els pagesos sovint la releguen a favor de l'alfals, més productiu. Amb tot, aquesta espècie pot ser

prometedora en zones de muntanya si les condicions esdevenen més seques i el reg es fa difícil, però s'ha produït la desaparició de moltes de les varietats i hi ha molta confusió sobre les que encara queden.

En el cas de l'alfals, actualment es produeixen dues situacions diferents. A més de ser conreada en zones climàticament humides i frescals de les nostres muntanyes, a Catalunya l'alfals és molt important en zones càlides amb reg. Un exemple representatiu es troba al Segrià i a l'Urgell. Si es manté el subministrament d'aigua, l'increment de temperatures permetria el manteniment de la productivitat i, fins i tot, un forçament del sistema amb l'obtenció d'un nombre màxim mitjà d'aprofitaments per sobre de l'actual. Aquest forçament, però, podria comportar també la necessitat d'entrada de més fertilitzants, bàsicament fòsfor i potassi, amb un augment dels residus i del risc de contaminació de les aigües. La mateixa situació és aplicable al blat de moro, una planta molt cultivada com a farratgera en territori català, en aquest cas amb l'agregant d'una necessitat de fertilitzants nitrogenats. Com a conseqüència de la preocupació sobre la necessitat d'innovar en el conreu de farratgeres per tal que, sense una pèrdua de producció, es minimitzin els efectes ambientals, resulta interessant esmentar una iniciativa desenvolupada dins d'una acció integrada europea sobre el cultiu de les lleguminoses farratgeres (l'acció COST 852). Un dels objectius d'aquesta acció consisteix en trobar la barreja de gramínies i lleguminoses que faci òptim el rendiment i minimitzi els efectes ambientals.

El blat de moro és un cultiu molt important, tant a Catalunya (on es cultiva com a planta farratgera en regadiu) com en el marc de la Unió Europea, i ha esdevingut el tercer cultiu a escala mundial, després del blat i de l'arròs, en termes de font d'energia i proteïna per a la nutrició humana. La proporció total de terres dedicades al cultiu del blat de moro ha augmentat mundialment al voltant d'un 40% durant els darrers 40

anys (Young i Long, 2000). Cultivada al món sota un ventall ampli de condicions climàtiques, aquesta planta no resisteix bé els climes semiàrids ni els ambients massa freds. És poc clar que l'increment del CO₂ atmosfèric pugui tenir un efecte beneficiós sobre la fotosíntesi d'aquesta planta C₄, però sembla que hi ha avantatges sobre la respiració (Drake et al., 1999). A la Unió Europea s'han predit impactes sobre el rendiment entre un -30% i un canvi a l'alça. Aquestes variacions depenen dels possibles escenaris climàtics considerats, els llocs concrets dins d'una mateixa regió, i la percepció en la capacitat d'adaptació de l'agricultor a varietats més adequades a les noves condicions (Reilly, 1995). En estius molt calorosos, com el del 2000, la producció mitjana de blat de moro per a gra ha baixat un 15-20% (Jaume Lloveras, comunicació personal).

B5.4.5. Prats de muntanya

Els prats seminaturalmentals de les zones fredes i temperades són ecosistemes de gran valor ecològic, paisatgístic i cultural. Aquests ecosistemes constitueixen un reservori de la biodiversitat, mantingut per les poblacions locals mitjançant un maneig extensiu tradicional que, en algunes parts del planeta, data dels temps prehistòrics. Es tracta d'ecosistemes sostenibles que proporcionen una font d'aliment renovable, natural i econòmic per al bestiar i al voltant dels quals s'estructura una gran proporció de les activitats agropecuàries de les zones de muntanya. A Catalunya, aquests prats comparteixen moltes similituds en termes de flora, vegetació i ecologia amb els de les zones fred-temperades de la resta d'Europa (Sebastià et al., 1998; Sebastià, en premsa) i es desenvolupen en àrees de precipitació relativament elevada, sovint superior als 1000 mm, una gran part de la qual es produeix a l'estiu, quan les temperatures són més elevades. Tanmateix, alguns anys mostren el període de sequera estival típica de la Mediterrània, indicant el caràcter transicional d'aquests ecosistemes, que en aquestes àrees es troben en el límit de la distribució climàtica del bioma. Juntament

amb la vegetació mediterrània, els prats seminaturalmentals constitueixen un dels ecosistemes més amenaçats pel canvi climàtic des del punt de vista de la biodiversitat (Sala et al., 2000). Els canvis en el règim de precipitacions i de temperatura habituals i un augment en la freqüència dels fenòmens climàtics extrems (Houghton et al., 2001) podrien fer que aquests ecosistemes es tornessin molt vulnerables (Sebastià et al., 2004b, taula B5.2).

A Catalunya, aquests prats es troben distribuïts principalment en zones de muntanya (especialment al Pirineu, però també al Montseny i en altres serralades prelitorals catalanes, i arriben fins a la terra baixa mediterrània en àrees localment més humides i frescals. Àmplies zones de muntanya de Catalunya, com les pirinenques, presenten un gran risc d'experimentar canvis en el règim de precipitacions, a més dels canvis en la temperatura, i podrien veure disminuïda la quantitat d'aigua que reben anualment (Martín-Vide, capítol A3 d'aquest llibre). Mentre l'aigua es considera el principal factor limitant de la productivitat en els ecosistemes mediterranis, en els ecosistemes freds, com els prats seminaturalmentals europeus, la productivitat sembla estar limitada per la temperatura i, en aquest sentit, molts experiments han mostrat una estimulació del rendiment amb l'escalfament (Rustad et al., 2001). Aquesta estimulació ha estat atribuïda, en part, a l'efecte directe de l'augment de la temperatura, ja que la major part dels processos metabòlics es veuen accelerats amb l'escalfament, dins dels límits de funcionament dels sistemes biològics. Per una altra part, però, també ha estat atribuït a l'increment de la mineralització de la matèria orgànica i la major disponibilitat de nutrients resultant (Epstein et al., 2000; Shaver et al., 2000).

A Catalunya s'han desenvolupat experiments centrats en les conseqüències del canvi climàtic sobre l'estructura, el funcionalisme i l'aprofitament dels prats de muntanya, realitzats des del Centre Tecnològic Forestal de Catalunya (Sebas-

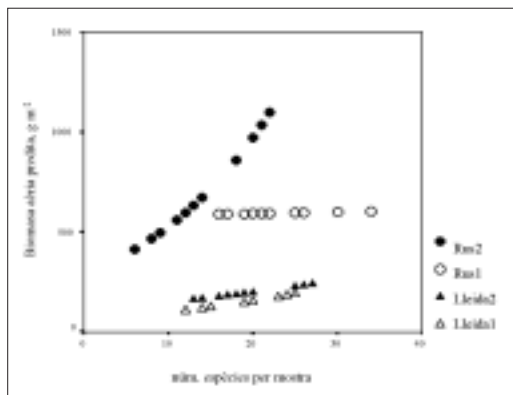


Figura B5.7. Variacions en la biomassa predita per mostra en funció de la riquesa florística mesurada com a nombre d'espècies per mostra als monòlits intactes de prat subalpí situats a la muntanya (Rus) i al campus de l'ETSEA (Lleida), per a dos dalls diferents. El primer va realitzar-se a finals de juliol (1) i el segon a mitjans de setembre (2). Font: elaboració pròpia.

tes, mostres de pastures subalpines incrementen llur productivitat i disminueixen el nombre d'espècies (figura B5.7). El patró de vulnerabilitat de les espècies mostra que hi ha una davallada no tan sols quantitativa de la biodiversitat, sinó també qualitativa (sensu Canals i Sebastià, 2000a). Les plantes rares van desaparèixer del sistema, mentre fòrbies de rang altitudinal ample, que es poden trobar des de prop del mar fins a l'alta muntanya, i de qualitat ramadera mediocre o nul·la, varen augmentar llur abundància relativa, a expenses sobretot de gramínies típiques de l'alta muntanya, de rangs altitudinals restringits (Sebastià et al., 2004b). Per això, tot i l'augment de biomassa a les mostres sotmeses a escalfament, no es produí un clar augment del valor pastoral d'aquestes (figura B5.8).

tià et al., 2004b). En aquests experiments s'observa una forta resposta dels ecosistemes pastorals de l'alta muntanya a l'augment de la temperatura, però no a la disminució d'aigua (Sebastià et al., 2004b). Trasplantades a zones més calen-

En un altre experiment de trasplantament de pastures subalpines pirinenques es trobà una resposta positiva a l'addició de fòsfor a les mostres que romangueren a la muntanya, però no a les que van ser trasplantades a altituds més baixes, la qual cosa apunta un augment de la mine-

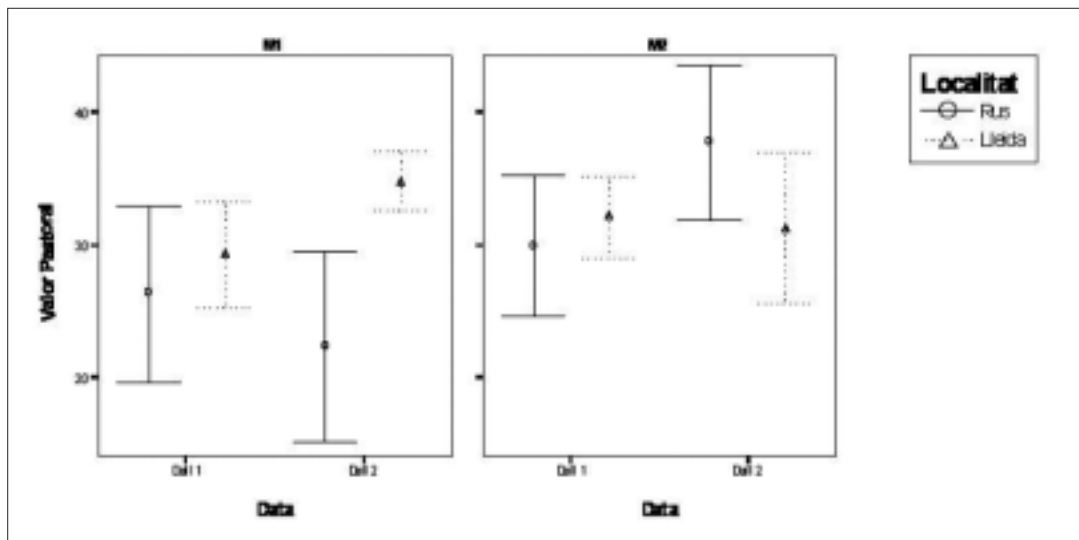


Figura B5.8. Canvis en el valor pastoral mitjà de dos prats subalpins del Pla de Rus (M1 i M2), a finals de juliol (dall 1) i mitjans de setembre (dall 2), en el conjunt de monòlits intactes de prats trasplantats a Lleida (triangles) i en els que es deixaren al prat a Rus (cercles). Es mostren els intervals de confiança del 95%. Font: Sebastià, inèdit.

ralització de la matèria orgànica acumulada al sòl i la mobilització del reservori de nutrients sota condicions d'escalfament (Sebastià et al., 2004b), la qual cosa podria ser responsable de l'augment de la productivitat a curt termini. Preveure'n les conseqüències a llarg termini és molt més difícil i requereix elaborar més estudis, però les tendències observades permeten preveure la pèrdua d'una part important de la biodiversitat de les pastures, sobretot de les espècies més típiques i específiques d'aquests ecosistemes, amb un augment de la dominància d'espècies de distribució ampla i una disminució de la qualitat de les pastures. D'altra banda, l'augment de la productivitat observat podria ser transitori, produint-se l'efecte contrari un cop consumits els nutrients mobilitzats (taula B5.2). Canvis en la disponibilitat de nutrients com a conseqüència de perturbacions locals poden determinar canvis importants en la composició florística, fins i tot a escala local (Canals i Sebastià, 2000b; Canals et al., 2003).

A les zones de muntanya el cicle agro-pastoral tanca amb els prats de dall i el conreu de farratgeres, en monocultiu o cultivades en barreges. Els prats de dall comparteixen moltes de les característiques dels prats seminatural, tot i que acostumen a estar més artificialitzats i presenten més entrades externes d'adobs, irrigació, etc. El descens de la disponibilitat hídrica en zones de muntanya pot posar en perill la supervivència d'aquests sistemes. En algunes zones limítrofes, com el Montseny, cal irrigació per als prats de dall, mentre que en d'altres zones dels Pirineus centrals i orientals n'hi ha prou amb l'aportació de les precipitacions i de l'aigua freàtica. En un projecte que el Centre Tecnològic i Forestal de Catalunya (CTFC) i el Centre de Desenvolupament Rural Integrat de Catalunya (CEDRICAT) han fet a l'Alta Ribagorça es posà de manifest que el segon dall només està assegurat quan es disposa de reg. En cas contrari el segon dall representa, com a molt, una quarta part de la producció del primer.

La producció dels prats de dall constitueix l'element clau per al manteniment del bestiar durant l'hivern i actualment és el coll d'ampolla que determina la producció i la qualitat de la ramaderia a les comarques del Pirineu (Taüll et al., 2004). Una incorporació de sistemes d'irrigació o una millora dels existents que permetin un reg de suport esdevé necessari. En els escenaris de canvi climàtic, es pot preveure un increment en les demandes d'irrigació. Aquest increment en els requeriments hídrics es pot cobrir en moltes d'aquestes zones amb petits canvis en les infraestructures existents. Altrament, l'efecte final pot ser fàcilment un augment encara més gran de la despoblació i l'abandonament de les activitats agropecuàries, amb pèrdua de biodiversitat i de qualitat del paisatge. Pel que fa a les farratgeres cultivades acoblament amb la ramaderia extensiva en zones de muntanya, la situació seria similar a la descrita per als prats de dall.

B5.4.6. Altres sistemes pastorals

A les zones mediterrànies, a més dels prats relativament esponerosos desenvolupats en algunes zones més humides i arrecerades, de caràcter de transició i relacionats amb els anteriors, els sistemes d'interès pastoral representen una barreja de comunitats heterogènia, tant pel que fa a fisonomia com a funcionament. Comprenen un conjunt d'ecosistemes que van des dels prats secs i els llistonars dominats per *Brachypodium retusum*, sovint en mosaic amb la garriga de *Quercus coccifera* i d'altres llenyoses esclerofil·les, els matollars dominats per labiades i cistàcies o per ericàcies, la pròpia garriga, els guarets i els rostolls i, en zones continentals estèpiques de l'interior, els espartars.

La situació actual de la ramaderia extensiva a zones de la Mediterrània septentrional és complexa i, fins i tot, contradictòria (de Bello et al., 2002, taula 11.2). D'una banda, a zones àrides de la depressió de l'Ebre s'ha observat sobrepastura en zones incultes, com a conseqüència de la llaurada i la sembra de més terres de cultiu en

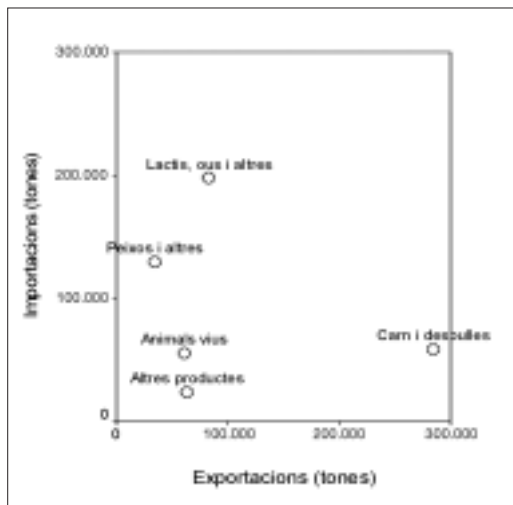


Figura B5.9. Relació entre les exportacions i les importacions a Catalunya l'any 2000 dels principals productes relacionats amb les activitats pecuàries.

Font: Institut d'Estadística de Catalunya.

àrees tradicionalment dedicades a la pastura, la qual cosa contribueix de manera important a la degradació de la flora i a la denudació del sòl (Delgado et al., 1995). Pel contrari, a les zones

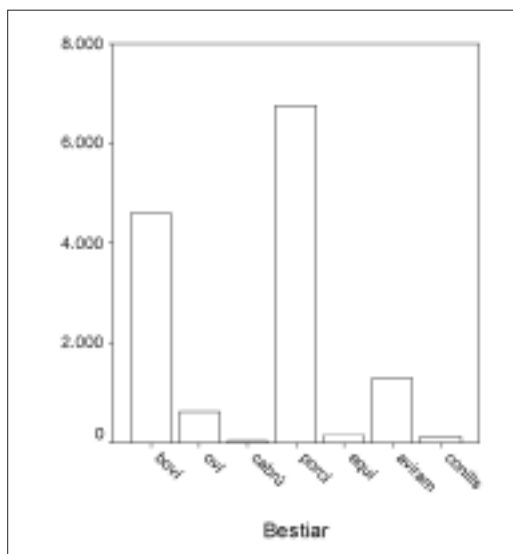


Figura B5.10. Producció de fens a Catalunya l'any 2000 (en milers de tones), per tipus de bestiar.

Font: Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Generalitat de Catalunya.

rurals la professió de pastor tendeix a desaparèixer, i s'hi produeix un abandonament i una proliferació d'espècies arbustives a causa d'una càrrega animal més baixa (Delgado et al., 1997) o d'una distribució de la càrrega inadequada per sobreexplotació de les àrees més fàcilment accessibles i l'abandonament de les zones amb accessibilitat més difícil. Això porta a una acumulació de la biomassa en moltes zones i, possiblement, a una disminució de la presència de les espècies lligades a la pastura (Sebastià et al., 1998). Aquest abandonament de les pastures i posterior augment de la coberta arbustiva pot fer incrementar el risc d'incendi, el qual es pot veure agreujat durant l'hivern per una pujada de la cota de neu com a conseqüència de una menor innivació i de les temperatures més altes, la qual cosa dona lloc a una major superfície de pastures i matollars assecats pel fred. Els incendis poden provocar també una pèrdua de fertilitat dels sòls de les pastures i un augment del risc d'erosió.

Un altre efecte de l'abandonament podria ser la disminució de la diversitat d'espècies vegetals, tal com s'observà al llarg d'un transecte altitudinal i climàtic sobre el qual se superposava un gradient de pressió pastoral (de Bello et al., 2002). A les zones amb més pastura per ovelles es trobà una diversitat més elevada que a les zones abandonades, en termes de riquesa d'espècies i d'equitat en les abundàncies d'aquestes espècies (Guardiola et al., 2004). Al Pirineu, el tipus de maneig pastoral que es practica té unes repercussions decisives sobre la diversitat, la vegetació i la productivitat dels ecosistemes pastorals (Taüll i Sebastià, 2002). Si es vol conservar aquests ecosistemes, tant des del punt de vista dels seus valors naturals com socioeconòmics, cal conèixer a fons la relació entre maneig pastoral i ecologia. Finalment, el manteniment de les àrees protegides ocupades per aquests sistemes, com són els parcs naturals o els espais de la xarxa Natura 2000, requereix una gestió apropiada.

B5.4.7. Ramaderia

Una part significativa de la dieta humana actual procedeix de productes animals carnis, lactis i ous. Factors climàtics com la temperatura, la precipitació i la humitat tenen efectes importants sobre la producció animal. L'estrès tèrmic i la sequera poden tenir efectes negatius sobre els animals domèstics tan variats com la reducció de la fertilitat, l'augment de la mortalitat dels nadons, la pèrdua de pes dels animals adults, la reducció de la producció d'ous i de llet, així com la mateixa supervivència del bestiar (Gates, 1993). Això podria implicar necessitats energètiques més grans en ventilació.

La renda generada per les activitats ramaderes és molt elevada en el context de totes les activitats agropecuàries que es realitzen a Catalunya (figura B5.2). L'any 2000, Catalunya va ser un exportador net de molts productes carnis importants (figura B5.9). Ara bé, el problema és la gestió que es fa dels residus que aquestes activitats agropecuàries generen (figura B5.10) i, especialment, com s'evita la seva contribució a la contaminació de les terres i dels aqüífers. Aquest problema es veu agreujat pel procés actual de concentració del bestiar en menys explotacions, però cada vegada més grans (figura B5.11).

A Europa, l'augment de la cabana de remugants ha estat moderat en el període entre 1961 i 1990, amb un increment del 33% (Sombroek i Gommès, 1997). A Catalunya, l'augment d'unitats ramaderes (UR) de remugants entre els anys 1982 i 1999 tingué una taxa de 0,45. La concentració d'animals que resulta dels mètodes moderns de cria de bestiar produeix certa preocupació entre l'opinió pública a causa d'olors indesitjables, la contaminació de les aigües i l'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle procedents de les femtes (Reddy i Hodges, 2000). Pel que fa a aquest darrer punt, però, s'ha afirmat que la contribució dels residus ramaders a aquest tipus d'emissions és, probablement, relativament petita (Reddy i Hodges, 2000).

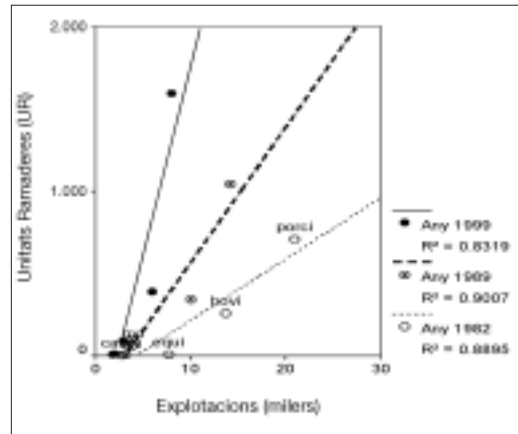


Figura B5.11. Evolució temporal de la relació entre el nombre de milers d'unitats ramaderes (UR) i el nombre de milers d'explotacions ramaderes a Catalunya, els anys 1982, 1989 i 1999. El tipus de bestiar està indicat en cada cas.

Font: Cens agrari. Institut d'Estadística de Catalunya.

El canvi climàtic també pot tenir un efecte significatiu sobre les malalties dels animals, moltes de les quals actualment estan limitades per restriccions climàtiques sobre els seus vectors o sobre els propis agents i el seu ambient. L'augment de la mobilitat de persones i animals també permetrà la introducció i la ràpida expansió de malalties entre països diferents, com s'ha vist recentment en el cas de la febre aftosa.

B5.4.8. Pesqueries

Els canvis en la temperatura de l'aigua, associades als canvis en els corrents marins comportaran modificacions importants en la distribució i la quantitat dels productes marins (Sombroek i Gommès, 1997). L'any 2000 a Catalunya es van obtenir un total de 44.673 tones de productes procedents de la pesca, sobretot peixos ossis. Catalunya és un importador net d'aquest tipus de productes, i va comprar a fora gairebé quatre cops més que el que es va obtenir localment aquell mateix any (figura B5.9).

A les costes catalanes, els desplaçaments d'espècies marines capturades habitualment al litoral cap a zones més profundes seguint temperatures

més frescals comencen a dificultar la pesca. També es comencen a detectar moviments nord-sud de les espècies piscícoles marines. Com a resultat d'aquestes tendències, per exemple, sembla que les captures d'anxova disminueixen, mentre es detecta l'arribada de peixos tropicals a les nostres costes.

B5.4.9. Silvicultura

Tot i que les respostes dels boscos al canvi climàtic s'analitzen amb més deteniment en un altre capítol d'aquest volum (vegeu Peñuelas et al. al capítol B9), en aquest apartat es tenen en compte alguns aspectes que poden ser rellevants de cara al desenvolupament d'una silvicultura sota condicions de canvi. Dues peculiaritats caracteritzen els boscos a Catalunya a l'hora de discutir la seva gestió silvícola i el canvi climàtic. En primer lloc, el règim de tinença, ja que més del 85% dels nostres boscos són de propietat privada (ICONA, 1994). En segon lloc, el fet que els nostres boscos són extraordinàriament productius en serveis que no tenen un valor econòmic directe en el

mercat, com la biodiversitat, la protecció enfront dels riscos naturals i la regulació del règim hídric.

La gran paradoxa del bosc mediterrani és que és extraordinàriament ric en externalitats (Domínguez i Plana, 2002), però la seva contribució directa a la producció final agrària és molt reduïda en comparació amb les altres activitats agràries (figura B5.2). Un altre aspecte important a tenir en compte és que, a més dels variats serveis sense mercat i les externalitats que els boscos de Catalunya proporcionen, aquests també són extraordinàriament multifuncionals en els seus productes de mercat i els productes no fusters sovint proporcionen un volum econòmic gens menyspreable.

La situació de l'aprofitament d'aquests productes silvícoles que no són fusta és heterogènia i sovint està poc regulada. Així, mentre l'aprofitament del suro és una activitat netament comercial (figura B5.12), la recollida de bolets, espàrrecs i pinyons és una activitat mixta, de vegades comercial, de vegades recreacional (Domínguez i Plana, 2002). A més, el baix nivell de regulació d'aquestes activitats fa que de vegades siguin una font de conflictes. En canvi, els productes fusters dels boscos catalans són, en general, de baixa qualitat comercial, hi ha poca producció i, a més, no són competitiu en comparació amb altres mercats europeus, principalment del nord d'Europa (taula B5.3, figura B5.12). Així ho mostra el fet que la producció interior només cobreix un 29,5% de la fusta serrada, mentre que la fusta destinada a trituració va tenir un superàvit del 44,9% sobre el consum, considerant dades del 1996 (DGMN a Raddi, 1998).

L'ampla escala temporal amb què es gestionen els boscos, amb torns de 80-120 anys segons l'espècie i la zona, implica que els efectes del canvi climàtic es produiran, en general, en les masses arbòries que hi ha en aquests moments (Kellomäki et al., 2000). Sota escenaris de canvi climàtic, la competitivitat de la fusta catalana només pot disminuir en comparació amb els

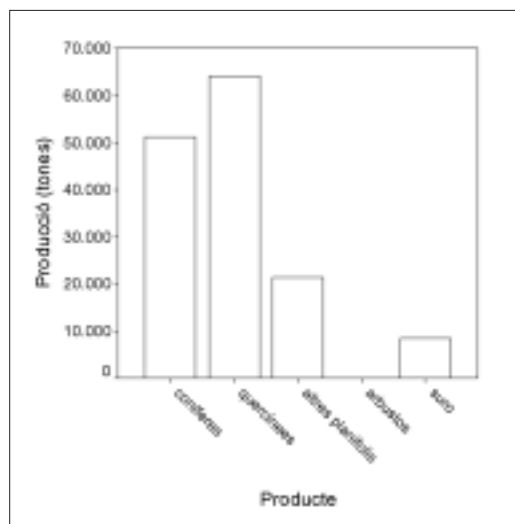


Figura B5.12. Producció de fusta, en tones, de diverses espècies (any 2000): coníferes, quercínies (alzines i roures), altres planifolis i arbusts, i producció de suro.

Font: Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Generalitat de Catalunya.

	Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona	CATALUNYA
Coníferes (resinoses)					
Avet	44	17	801	-	862
Pi blanc	60.791	21.828	3.907	5.386	91.912
Pi insigne	2.432	10.378	-	-	12.810
Pi negre	5.290	2.135	3.472	-	10.897
Pi pinyer	14.492	20.369	-	52	34.913
Pi roig	97.845	28.960	23.925	797	151.527
Pinassa	38.294	3.925	62.931	1.126	106.276
Pinastre	3.282	18.136	-	39	21.457
Altres espècies	278	3.282	-	-	3.560
Total coníferes	222.748	109.030	95.036	7.400	434.214
Planifolis (frondoses)					
Alzines i roures	4.054	3.350	610	377	8.391
Castanyer	1.335	14.222	-	-	15.557
Eucaliptus	238	6.476	-	-	6.714
Faig	1.820	8.896	-	615	11.331
Freixe	169	487	84	-	740
Pollancre	8.168	32.819	1.862	-	42.849
Vern	569	827	205	-	1.601
Altres espècies	2.901	9.822	73	-	12.796
Total planifolis	19.254	76.899	2.834	992	99.979
TOTAL	242.002	185.929	97.870	8.392	534.193

(1) Dades referides als aprofitaments autoritzats.

Taula B5.3. Producció de fusta⁽¹⁾ el 2000, per espècies i províncies, en metres cúbics amb escorça
Font: Generalitat de Catalunya. Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca. Direcció de Serveis.

bosc europeus situats més al nord, els quals augmentaran la seva productivitat per efecte de l'escalfament i la fertilització en materials nitrogenats (Kellomäki et al, 2000).

La reducció en la rendibilitat dels productes forestals directament consumits pel mercat no pot sinó agreujar la desatenció dels nostres boscos, amb una tendència encara més acusada a l'abandonament de llur gestió. Si l'aplicació de la gestió dels boscos depèn únicament de la fusta i no s'apliquen mesures correctores que la fomentin, l'abandonament de la gestió dels boscos per part dels seus propietaris per manca de competitivitat sota escenaris de canvi climàtic pot tenir re-

percussions indesitjables en termes de la seva protecció, i de l'increment del risc d'incendi. A aquest efecte s'afegeix un previsible augment de les zones boscoses a causa de l'abandonament de les activitats agrícoles de secà, amb un augment de la massa de bosc jove més vulnerable, i unes condicions climàtiques més càlides, amb un increment de l'evapotranspiració, fins i tot amb pluviositat comparable.

Convé analitzar la situació dels boscos a Catalunya diferenciant el bosc mediterrani (basal i montà) del bosc d'altitud (altimontà i subalpí) (taula B5.4). En general, els boscos són sistemes dominats per plantes perennes de vida llarga, i

	Superfície	Creixement de fusta	Aprofitaments forestals	Diversitat biològica	Productes secundaris	Usos recreatius i paisatgístics	Riscos naturals (incendis)	Embomal de carboni
BOSQUE MUNTANYA (àltimontà i subalpí)	Increment per pujada del límit altitudinal del bosc i colonització de les zones de neus perpètuas, però decrement del límit inferior del bosc. Globalment decreix.	S'allargarà el període vegetatiu, ara limitat per la temperatura. Si la temperatura s'incrementés molt podria disminuir per sequera estival.	Decrement per manca de rendibilitat de l'exploració (si puja l'altitud del bosc, també puja el pendent i es dificulta el treball d'extracció).	Desaparició d'espècies, particularment les d'altitud.	Decrement de la producció micològica per manca d'aigua, però allargament de l'estació si no hi hagués sequera.	Manteniment o possible augment per allargament de l'estació favorable per dur a terme activitats a l'aire lliure. O decrement per perdua de mosaic paisatgístic i interès micològic	Probabilitat més elevada per possible disminució de la precipitació a les zones de muntanya. Mediterrantització d'algunes zones.	Decrement de la capacitat d'embomal de carboni.
BOSQUE MEDITERRANI (montà i inferior)	Increment per pujada del límit altitudinal superior (substitució dels boscos subalpíns) i també per abandonament de l'agricultura.	Decrement per sequera estival.	Decrement per manca de rendibilitat de la fusta i competència de la fusta d'altres països que tindran millors creixements.	El principal factor limitant s'extrema. Decrement per manca d'aigua i aridesa.	Decrement de la producció micològica. Augment de la qualitat de les plantes aromàtiques. Augment potencial dels productes apicoles.	Manteniment	Risc d'incendi més elevat a causa de: Augment de la superfície total Augment de la superfície insuficientment gestionada Més abandonament rural per manca de viabilitat agrícola Boscos més joves, amb fusta més prima.	Manteniment de la capacitat d'embomal de carboni.

Taula B5.4. Comparació dels canvis proposats per als boscos mediterranis i de muntanya catalans sota el supòsit de pujada de temperatures i manteniment de la pluviometria.
Font: elaboració pròpia.

presenten una resistència superior a d'altres sistemes dominats per espècies de cycle de vida curt i talla reduïda. Sota el dosser del bosc es produeix un microclima dulcificat en comparació amb les condicions externes. Dins d'aquest ambient, les plantes joves poden créixer sota condicions relativament arrecerades. No obstant, la desaparició brusca d'aquest sistema (per un incendi de gran extensió, com els de l'any 1994 al Berguedà o l'any 1998 al Solsonès) pot fer perillar la pròpia regeneració del bosc i dificultar la tornada a unes condicions originals sota un clima general que ara és poc favorable (tret que hi dominin les espècies rebrotadores, cas freqüent a Catalunya). De fet, s'ha dit que el bosc mediterrani dominat per quercínies és un relict de climes passats i que les condicions climàtiques actuals afavoririen comunitats arbustives dominades per ericàcies, cistàcies i labiades resistents a les condicions de sequera (Herrera, 1984). A llarg termini, aquesta transició cap a sistemes arbustius probablement s'intensificarà a les zones baixes i amb microclimes més secs i calents, mentre que el bosc mediterrani tendirà a ascendir per les nostres muntanyes.

L'orografia complexa de Catalunya permetrà el manteniment del bosc mediterrani i dels béns i serveis que aquest proporciona a altituds més elevades. A canvi, però, la supervivència dels boscos de muntanya es veurà amenaçada. Tot i que es preveu una pujada del límit altitudinal del bosc subalpí de pi negre (*Pinus uncinata*) i del bosc altimontà de pi roig (*Pinus sylvestris*) per invasió de les zones alpines i les congeses, el límit inferior del bosc es reduirà, especialment a les zones on el bosc creix en condicions molt severes (Gracia et al., 2001), amb la qual cosa la superfície total decreixerà globalment. Alguns estudis duts a terme al Montseny semblen indicar que la substitució de les espècies montanes per espècies mediterrànies ja podria estar en marxa (Peñuelas i Boada, 2003).

Un efecte que pot actuar a favor de l'extensió de les zones boscoses és l'abandonament de terres

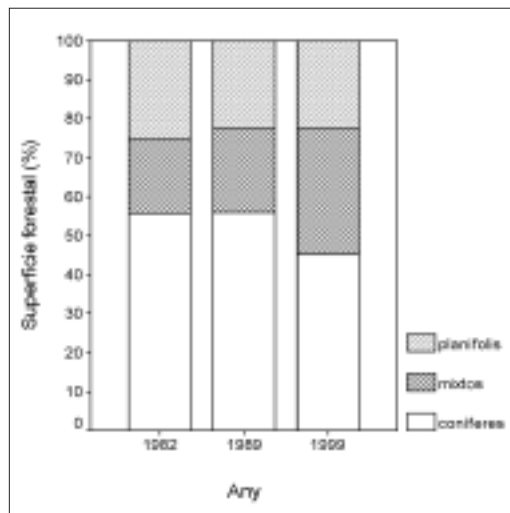


Figura B5.13. Variació al llarg del temps de la proporció de superfície forestal arbrada ocupada per coníferes, planifolis i boscos mixtos. Font: Institut d'Estadística de Catalunya. Cens agrari.

agrícoles. De fet, l'anàlisi de l'evolució de la proporció de terres ocupades per diferents tipus de bosc durant les dues darreres dècades mostren un decreixement relatiu de les coníferes i un increment dels planifolis i, particularment, dels boscos mixtos, la qual cosa podria suggerir processos de successió (figura B5.13).

El creixement dels boscos d'alta muntanya i la producció de fusta s'espera que serà més gran a causa de les temperatures més favorables per al creixement vegetal, però les diferències entre localitats es faran més evidents, particularment en funció del règim hidrològic local (Tardif et al., 2003). S'ha observat un augment de la variabilitat interanual en el creixement dels boscos d'altitud pirinencs en els darrers anys, probablement relacionat amb l'increment de la variabilitat climàtica associada amb el canvi climàtic (Tardif et al., 2003).

D'altra banda l'abandonament de terres agrícoles en zones de muntanya, generalment situades en localitzacions microtopogràfiques més planes dins de l'orografia complexa de les nostres

muntanyes, pot afavorir el desenvolupament dels arbres i facilitar-ne l'extracció (Bayfield et al., 2003). Tanmateix, la davallada en la disponibilitat hídrica amb l'escalfament pot reduir de manera marcada el creixement de les plantes del bosc mediterrani (Ogaya et al., 2003). Tant per al bosc mediterrani com per al de muntanya, es preveu una disminució dels aprofitaments forestals fustaners per manca de la rendibilitat de la fusta per l'augment de costos d'extracció en molts casos, reducció del creixement si augmenta la freqüència de sequera estival, i competència amb d'altres països amb creixements i regeneració millorades a causa del canvi climàtic, com poden ser els boreals (Kulls i Tullus, 2002; Broekke, 2002).

Alguns productes forestals no fusters de gran importància en els boscos mediterranis també poden ser amenaçats pel canvi climàtic. La producció de bolets dels boscos catalans pot minvar per episodis més o menys continuats de sequera. En canvi, es podria produir un augment en la qualitat de les plantes aromàtiques i en la producció de mel i altres productes apícoles si augmenten les brolles mediterrànies, molt riques en espècies mel·líferes de qualitat, com el romaní, la farigola, l'espígol, la botja, el bruc, etc. (Bonet et al., 1985).

Els ecosistemes mediterranis es troben entre els més diversos del món i també són dels més amenaçats des del punt de vista de pèrdua de biodiversitat (Sala et al., 2000). No totes les espècies d'una comunitat reaccionen de manera similar enfront dels mateixos factors ambientals, i aquestes diferències poden portar a canvis en les interaccions entre les espècies i modificacions profundes en la seva composició i estructura. Per exemple, la disponibilitat hídrica sembla ser un dels factors més importants en les relacions de competència entre les plantes dels ecosistemes mediterranis (Vilà i Sardans, 1999). Es calcula que una reducció del 10% de les precipitacions pot portar a una reducció de la reserva hídrica com a conseqüència de l'augment de la

taxa de transpiració dels arbres i a la major evaporació (Gracia et al., 2001). Diferències en la resistència a la sequera entre espècies del bosc mediterrani poden portar a canvis importants en la distribució de plantes (Martínez-Vilalta et al., 2002) i moltes espècies podrien desaparèixer sota les noves condicions (Bakkenes et al., 2002). Per tant, s'espera l'extinció d'espècies en els boscos mediterranis.

Molt més vulnerables encara són els nostres boscos de muntanya, sobretot les espècies de més altitud, les quals poden desaparèixer fàcilment si no disposen de zones a altituds superiors cap a les quals migrar. Les migracions al llarg del gradient altitudinal, fins i tot quan són possibles, són més fàcils per a algunes espècies, sobretot les que mostren més mobilitat, com és el cas de molts animals, i més complicat per a d'altres, com és el cas dels organismes sèssils com els vegetals. Fins i tot dins dels organismes vegetals se sap que hi ha diferències en la capacitat de migració, i això ha portat a grans canvis al llarg del temps en la vegetació dels boscos.

Pel que fa als usos recreatius i paisatgístics dels boscos catalans, les potencialitats per a l'ús recreatiu, tal i com es produeix actualment, seran les mateixes, i se'n podrà augmentar la utilització si s'allarga l'estació favorable per a les activitats a l'aire lliure, o disminuirà si es produeix la davallada esperada de turisme en les àrees mediterrànies, o es perd part de l'ambient nemoral que els fa atractius o l'oportunitat de recollir-hi bolets. La diversificació del paisatge, però, podria disminuir, per exemple si es produeix l'abandonament de les activitats agropecuàries en les zones rurals amb un increment de la superfície de bosc, o si es produeixen grans incendis que afecten superfícies de moltes hectàrees.

Quant als riscos naturals, l'amenaça principal dels boscos catalans és el foc. Tot i que cal no oblidar que el factor antròpic és clau en el tema dels incendis, un augment de la sequera com a conseqüència del canvi climàtic portarà a un

augment del risc d'incendi en les zones mediterrànies (Scarascia-Mugnosa et al., 2000) i un desplaçament del risc cap a zones geogràfiques i èpoques de l'any on ara és baix. De fet, els grans incendis ocorreguts a Catalunya les darreres dècades han tingut lloc en escenaris de mitja muntanya on no eren habituals. Tot i que la seva causalitat és complexa, el paper de la sequera és palès. Si la cota de les neus de l'alta muntanya catalana puja d'altitud per una disminució de la innivació o un augment de la temperatura, durant l'hivern hi haurà més superfície de matollars assecats pel fred que augmentaran el risc d'incendi a l'alta muntanya.

L'augment de la recurrència de focs en les zones on no són habituals fa que tant les conseqüències ecològiques com les econòmiques dels incendis siguin més greus. Els incendis en zones de mitja muntanya pot comportar la desaparició d'algunes espècies, tant vegetals com animals, i la pèrdua de fertilitat dels sòls. Així, després dels focs del Solsonès s'ha fet palesa la manca de regeneració de la pinassa (*Pinus nigra* ssp. *salzmannii*), espècie que no és rebrotadora i el reclutament de la qual és molt reduït o nul després del foc (Retana et al., 2002), a diferència d'espècies més típicament mediterrànies com el pi blanc (*P. halepensis*) o el pinastre (*P. pinaster*).

L'augment del risc d'incendi en aquestes zones de mitja muntanya pot ser un factor addicional més als causats pel canvi climàtic (disminució de la producció, plagues, etc.) que facin perillar la sostenibilitat econòmica dels aprofitaments forestals a Catalunya. Cal recordar que a les zones de muntanya pirinenques s'ha predit una possible reducció de les precipitacions, la qual s'afegiria a l'ambient general de sequera causada per l'augment de les temperatures (Martín-Vide, capítol A3 d'aquest informe).

A l'escenari de sequera s'hi afegeix la previsió de boscos joves i densos amb arbres de diàmetre de tronc petit i baixada del grau d'aprofitament i de gestió per la disminució de la rendibilitat econò-

mica dels aprofitaments fustaners. Tot plegat fa que es pugui preveure un escenari de major risc i vulnerabilitat dels boscos enfront dels incendis forestals i d'altres perturbacions. Aquest fet es lliga també amb una disminució de la fragmentació dels espais agroforestals per transformació del sòl agrícola cap a forestal com a conseqüència de l'abandonament del territori, la qual cosa pot fer més complicada l'extinció dels incendis. A Catalunya s'han desenvolupat models de predicció dels riscos d'incendis basats en el contingut d'humitat d'espècies vegetals com *Cistus monspeliensis* amb bon resultat (Castro et al., 2003). Aquests i altres models poden proporcionar una eina prometedora en la detecció de les situacions de risc.

Pel que fa a la protecció del bosc, s'espera que augmentin les malalties i les plagues per invasió d'organismes desconeguts fins ara en certes àrees, els quals es troben restringits pels períodes de fred hivernal. Un exemple n'és l'esmentada processonària del pi.

Els boscos proporcionen altres béns i serveis a la societat (vegeu Peñuelas et al., capítol B9 d'aquest llibre). Per exemple, ajuden a regular l'escorrentia en moments de molta pluja. A més, els sòls forestals constitueixen el principal magatzem de CO₂ dels ecosistemes terrestres. Quan la disponibilitat d'aigua no és limitant per a la descomposició, un augment de la temperatura produeix un augment de la mineralització de la matèria orgànica del sòl i, conseqüentment, un flux de CO₂ del sòl cap a l'atmosfera. En un transecte latitudinal des de Suècia fins al País Valencià (Projecte VAMOS, EU DGXII), on s'estudiava la mineralització de la matèria orgànica sotmesa a un escalfament (simulat mitjançant un trasplantament de cilindres de sòls a una latitud inferior a la original) es va apuntar que els ecosistemes nòrdics constituïrien una font de CO₂ en el marc d'un escalfament, mentre que els mediterranis en serien un embornal (Coûteaux et al., 2001). No obstant això, cal tenir en compte l'efecte que podria fer un canvi en el règim de precipitació.

Així, en un altre estudi realitzat a la depressió de l'Ebre es va constatar un augment del flux de CO₂ des del sòl a l'estiu, quan coincidien temperatures i disponibilitat d'aigua elevades, com per exemple després d'una tempesta d'estiu (Casals et al., 2000). No obstant, l'escala rellevant d'anàlisi d'aquests processos és l'escala anual.

Els incendis forestals tenen efectes directes sobre el CO₂ acumulat als boscos i indirectes pel canvi d'ús que sovint comporten. Així, després dels incendis del Berguedà i del Solsonès, moltes zones forestals s'han convertit en zones agrícoles, de tal manera que ha disminuït la capacitat d'acumular C, entre altres funcions ecològiques. Un altre efecte a tenir en compte és la reducció de la vida mitjana de les fulles en espècies perennifòlies, la qual cosa implica una major despesa del carboni en el manteniment de la capçada i una reducció en l'assignació de carboni en els altres òrgans. A més, cal considerar que la fullaraca que hi ha al terra farà augmentar la respiració del bosc (Gracia et al., 2001).

B5.5. Observacions finals: reptes i oportunitats per a l'agricultura i la silvicultura catalanes en el context del canvi climàtic

A Catalunya, l'impacte del canvi climàtic sobre l'agricultura i la silvicultura depèn sobretot de la disponibilitat hídrica. Si hi ha bona disponibilitat hídrica, per exemple mitjançant una bona distribució i la racionalització en el seu ús, la productivitat pot veure's afavorida. L'aigua és un bé escàs i, amb el canvi climàtic, encara ho serà més. A més, l'ús de l'aigua per a l'agricultura ha de competir amb altres usos, com el domèstic, l'industrial o els cabals ecològics, i la creació de grans infraestructures és excessivament costosa per a aquests aprofitaments. Per tant, és molt important fer-ne un bon ús, millorant-ne la distribució i racionalitzant els sistemes de reg, utilitzant aquells que són més eficients i minimitzen les pèrdues.

La introducció de nous regadius s'ha de realitzar amb molta precaució, i les decisions s'han de

prendre amb molta cura si no es vol posar en perill la conservació del territori i dels seus valors naturals. Per exemple, l'ampliació de les zones de regadiu al pla de Lleida amenaça directament la supervivència d'espècies d'aus estèpiques, com ara el sisó, la ganga o la xurra i, per tant, calen estudis que permetin establir mesures correctores que minimitzin l'impacte i en garanteixin la conservació (Bota et al., inèdit).

Si s'aconsegueix resoldre el problema de l'aigua, l'agricultura catalana pot aprofitar l'efecte estimulador de la productivitat que tenen d'altres elements del canvi climàtic, com ara són l'activació del creixement per la temperatura i la fertilització pel CO₂. Però aquest mateix efecte podria portar a un augment de la demanda d'aigua per a l'agricultura en un moment en què es preveu una reducció en la seva disponibilitat. Ara bé, a causa de la complexa orografia del nostre territori, l'impacte del clima i la capacitat de resposta dels sistemes agrícoles dependrà molt de les condicions locals.

L'agricultura pot contribuir a la mitigació del canvi climàtic si s'adopten tècniques que promoguin la funció del sòl com a embornal del CO₂ (per exemple, mitjançant pràctiques agrícoles que afavoreixin l'acumulació de matèria orgànica, com els sistemes de conreu reduït o la utilització d'adobs orgànics). La reducció del consum de combustible també podria mitigar els efectes del canvi climàtic, tot i que aquesta darrera activitat representa una proporció petita en comparació amb la reducció que s'obtidria en d'altres sectors (Reicosky et al., 2000).

La capacitat d'adaptació depèn de factors polítics, tecnològics i socioeconòmics (Reilly, 1997). Una gran part de les plantes cultivades presenten una base genètica àmplia. S'estan assajant contínuament noves varietats de plantes de cultiu i races de bestiar arreu del món en diverses condicions de climes i sòls. És molt important tenir uns bons models predictors dels canvis climàtics, que permetin anticipar quins cultius

creixeran millor (i a on) i quines varietats seran més adients en els escenaris climàtics futurs. També és molt important comparar amb situacions que ara tenen un clima més càlid. Ara bé, no totes les espècies tenen la mateixa capacitat d'adaptació. A més, la resposta al canvi climàtic requereix ajustaments tecnològics. Aquests ajustaments s'han de fer en camps tan diversos com la millora genètica, la incorporació de recursos genètics nous, l'adopció de les tècniques agròniques més adients per a les noves condicions i, probablement, els canvis en les àrees de producció (Lawlor i Mitchell, 2000; Peet i Wolfe, 2000). L'exemple esmentat de la patata n'és un cas representatiu. El canvi en la utilització de varietats més primerenques i la modificació de les tècniques de maneig, amb un avançament de la plantació, sembla que permeten combatre amb eficàcia els efectes perjudicials de les elevades temperatures i estalvien a més en ús d'aigua (Miglietta et al., 2000).

Un altre factor en l'adaptació al canvi climàtic és la capacitat socioeconòmica de resposta al canvi. Les explotacions agrícoles catalanes són de mida petita, la qual cosa pot representar dificultats a l'hora d'introduir els ajustaments demandats. En el cens agrari de l'any 1999, el 44% de les explotacions catalanes eren més petites de 5 ha i el 75% més petites de 20 ha. En qualsevol cas, la Política Agrària Europea pot ser un instrument determinant per guiar l'adaptació a les noves condicions i esmorteir els efectes del clima. Ara bé, també pot limitar les opcions de resposta dels sistemes agrícoles, de manera que és fonamental que les noves polítiques europees considerin l'adaptació a situacions d'estrès climàtic (Iglesias, 2000).

En resum, l'adaptació de l'agricultura al canvi climàtic passa per la planificació d'una política de l'aigua que sigui racional i coherent amb les condicions de canvi climàtic locals, la potenciació de sistemes d'irrigació més eficients, el canvi en la gestió dels cultius, afavorint un tipus de producció adaptat a les noves condicions, el canvi de dates de plantació i de les pràctiques de

cultiu, i la selecció de cultius adaptats a les noves pràctiques (Deudon, 2001; Iglesias, 2000).

La situació és molt diferent pel que fa a la silvicultura. En general, les zones d'interès silvícola es troben en zones no irrigables i sotmeses a relativament poques entrades externes. L'efecte fertilitzant del CO₂ podria fer augmentar la productivitat dels boscos catalans, però la reducció de la disponibilitat hídrica continuaria sent un factor molt limitant. Els recursos fusters continuaran sent poc competitius en comparació amb els països del nord d'Europa, però la riquesa dels nostres de Catalunya rau, sobretot, en els productes secundaris i en les externalitats, sovint sense valor de mercat. Els boscos necessiten nous models i eines de política forestal que constitueixin un incentiu i, a l'hora, garanteixin la gestió dels espais forestals, malgrat que l'explotació de la fusta no sigui rendible i l'estructura dels nous espais forestals compliqui la seva gestió tradicional. Caldrà, doncs, fomentar una gestió orientada a disminuir la vulnerabilitat dels boscos davant dels incendis.

B5.6. Agraïments

Aquest capítol s'ha beneficiat de l'amabilitat i inestimable experiència de diversos col·legues i amics. Els autors volen agrair especialment la revisió de Josep Peñuelas, Jaume Lloveras i Ferran Rodà. També han estat valuosos els comentaris d'Eduard Plana, Carlos Colinas i Miquel Pascual. Els autors volen fer esment especial a les persones que han contribuït als projectes desenvolupats des de l'Àrea d'Ecologia Vegetal i Botànica Forestal del CTFC, particularment José M. Arenas, Francesco de Bello, Jordi García Pausas i Blas Mola. Maria Iniesta i Maria Valverde han contribuït en l'edició d'aquest capítol. Aquest treball ha estat possible gràcies al suport de diverses institucions i projectes, principalment la Xarxa Temàtica Catalana sobre Canvi Climàtic i el projecte CARBOCAT de la Generalitat de Catalunya, el CEAM de la Comunitat Autònoma Valenciana i els projectes CARBOMONT del Ve

Programa Marc de la Unió Europea i CarboEurope del VIè Programa Marc, el projecte CARBOPAS del Ministerio de Ciencia y Tecnología, la Fundació Territori i Paisatge, La Paeria de Lleida, el Centre Tecnològic Forestal de Catalunya i la Universitat de Lleida.

Referències bibliogràfiques

ALCAÑIZ, J.M.; BOIXADERA, J.; FELIPÓ, M.T.; ORTIZ, O.; POCH, R.M. *El sol i el canvi climàtic: el paper dels sòls de Catalunya en el canvi climàtic*. Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya, 2004.

ALMARZA, C. «Variaciones climáticas en España. Época instrumental». Servicio de Estudios BBVA, El Campo, núm. 137 (2000), p. 69-88.

ALLEN Jr., L. H.; BAKER, J. T.; BOOTE, K. J. «L'effet fertilisant du CO₂: production et rétention accrues d'hydrate de carbone en termes de rendement en biomasse et en grain». A: BAZZAZ, F. A.; SOMBROEK, W. G. *Changes du climat et production agricole*. Roma-París: FAO, Polytechnica, 1997.

ARP, W.J.; KUIKMAN, P.J.; GORISSEN, A. «Climate change: the potential to affect ecosystem functions through changes in amount and quality of litter». A: G. CADISH; K.E. GILLER (eds). *Driven by Nature: Plant litter quality and decomposition*. CAB International, 1997.

ÁVILA, A.; ALARCÓN, M.; QUERALT-MITJANS, I. «The chemical composition of dust transported in red rains - its contribution to the biogeochemical cycle of a holm oak forest in Catalonia (Spain)». *Atmos. Environ.*, núm. 32 (1998), p. 179-191.

ÁVILA, A.; PEÑUELAS, J. «Increasing frequency of Saharan rains over northeastern Spain and its ecological consequences». *The Science of the Total Environment*, núm. 228 (1999), p. 15.

BAKKENES, M.; ALKEMADE, J.R.M.; ILHE, F.; LEE-MANS, R.; LATOUR, J.B. «Assessing effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050». *Global Change Biology*, núm. 8 (2002), p. 390-407.

BAYFIELD, N.; SEBASTIÀ, M.T.; DOMÍNGUEZ, G.; CASAMIQUELA, M.; SANZ, M.J. «Stakeholder perception of impacts of EU policy change and mountain landscapes: workshop at Alinyà valley, 11 June 2003». CARBOMONT report (2003)

BELLAMY P.H.; LOVELAND, P.J.; BRADLEY, R.I. «Long term change in soil organic carbon in England and Wa-

les». Cost 627 Meeting at Clermont-Ferrand, September 2003 (2003).

BOBBINK, R.; HORNUNG, M.; ROELOFS, J.G.M. «The effects of air-borne nitrogen pollutants on species diversity in natural and semi-natural European vegetation». *Journal of Ecology*, núm. 86 (1998), p. 717-738.

BONET, A.; RITA, J.; SEBASTIÀ, M.T. «La flora mel-lifera de Barcelona». Barcelona: Diputació de Barcelona, 1985. (Estudis i Monografies, 7).

BOTTNER, P.; COUTEAUX, M.M. «Effect of plant activity on decomposition: soil-plant interactions in response to increasing atmospheric CO₂ concentration». A: van BREEMEN, N. (ed.). *Decomposition and accumulation of organic matter in terrestrial ecosystems: Research priorities and approaches*. The Netherlands: Doorwerth, 1991, p. 39-45.

BOWLES, G. «Facing the inevitable. Plants and increasing atmospheric CO₂». *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, núm. 44 (1993), p. 309-332.

BROEKKE, F.H.; «Norway Country Report». A: KELLOMÄKI, S.; KARJALAINEN, T.; MOHREN, F.; LAPVETELÄINEN, T. (eds.) «Expert assessment of the likely impacts of climate change on forests and forestry in Europe». EFI Proceedings N° 34, 2000.

BROOKS, N.; LEGRAND, M. «Dust variability over northern Africa and rainfall in the Sahel». A: MCLAREN, S.; KNIVETON, D. *Linking Climate Change to Land Surface Change*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000, p. 1-25.

BUNCE, J.A.; ZISKA, L.H. «Crop Ecosystem Responses to Climatic Change: Crop/Weed Interactions». A: REDDY, K. R.; HODGES, H. F. *Climate Change and Global Crop Productivity*. Oxon: CABI Publishing, 2000.

CANALS, R.M.; SEBASTIÀ, M.T. «Analyzing mechanisms regulating diversity in rangelands through comparative studies: a case in the southwestern Pyrenees». *Biodiversity and Conservation*, núm. 9 (2000a), p. 965-984.

CANALS, R.M.; SEBASTIÀ, M.T. «Soil nutrient fluxes and vegetation changes on molehills». *Journal of Vegetation Science*, núm. 11 (2000b), p. 23-30.

CANALS, R.M.; HERMAN, D.J.; FIRESTONE, M.K. «How disturbance by fossorial mammals alters N cycling in a California annual grassland». *Ecology*, núm. 4 (2003), p. 875 - 881.

CANNELL, M.G.R.; SMITH, R.I. «Climatic warming, spring budburst and frost damage on trees». *Journal of Applied Ecology*, núm. 23 (1986), p. 177-191.

- CASALS, P.; GARCIA PAUSAS, J.; ROMANYÀ, J.; SANZ, M.J.; CAMARERO, L.; SEBASTIÀ, M.T. «Effects of livestock management effects on carbon stocks and fluxes in grassland ecosystems in the Pyrenees». A: LÜSCHER, A.; JEANGROS, B.; KESSLER, W.; HUGHENIN, O.; LOBLIGER, M.; MILLAR, M.; SUTER, D. (eds.) «Land use Systems in Grassland dominated Regions». *Grassland Science in Europe*, vol. 9 (2004), p. 136-138.
- CASALS, P.; ROMANYÀ, J.; CORTINA, J.; BOTTNER, P.; COÛTEAUX, M.M.; VALLEJO, V.R. «CO₂ efflux from a Mediterranean semi-arid forest soil. I Seasonality and effects of stoniness». *Biogeochemistry*, núm. 48, (2000) p. 261-282.
- CASTRO, F. X.; TUDELA, A.; SEBASTIÀ, M.T. «Modeling moisture content in shrubs to predict fire risk in Catalonia (Spain)». *Agricultural and Forest Meteorology*, núm. 116 (2003) p. 49-59.
- COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS. «El cambio climático. Hacia una estrategia post-Kioto». Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo. Bruselas, 03 de junio de 1998.
- COÛTEAUX, M.M.; BOTTNER, P.; ANDERSON, J.M.; BERG, B.; BOLGER, T.; CASALS, P.; ROMANYÀ, J.; THIÉRY, J.; VALLEJO, V.R. «Decomposition of ¹³C-labelled standard plant material in a latitudinal transect of European coniferous forests: Differential impact of climate on the decomposition of soil organic matter compartments». *Biogeochemistry*, núm. 54 (2001) p. 147-170.
- CRUTZEN, P.J. «Atmospheric chemical processes of the oxides of nitrogen including nitrous oxide». A: DELWICHE, C.C. (ed.). *Denitrification, nitrification, and atmospheric nitrous oxide*. New York: Wiley, 1991, p. 17-44.
- De BELLO, F.; TORRIGIANI, T.; SEBASTIÀ, M.T. «Influencia del pastoreo en la composición de la vegetación a lo largo de un gradiente climático». *Actas de la XLII Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos* (2002), p. 123-127.
- DELGADO, I.; ALBIOL, A.; OCHOA, M. J.; MUÑOZ, F. «Encuesta a pastores sobre valoración forrajera de la flora autóctona en Monegros». *ITEA*, vol. 18, núm. 1 (1997), p. 245-247.
- DELGADO, I.; OCHOA, M. J.; ALBIOL, A.; LUNA, L.; MUÑOZ, F. «Descripción y evaluación de la fitomasa presente en áreas no cultivadas de la comarca de Monegros». *PASTOS*, vol. 25, núm. 1 (1995), p. 87-97.
- DE LUIS, I. «Efectos del aumento de la concentración de CO₂ atmosférico en plantas de alfalfa fijadoras de nitrógeno bajo condiciones de estrés». Pamplona: Universidad de Navarra, 2000.
- DEUDON, O. «Changements climatiques. Quelles conséquences pour l'agriculture?». *Perspectives agricoles*, núm. 266 (2001), p. 44-61.
- DIJKSTRA, P.; SCHAPENDONK, A.H.C.M.; GROENWOLD, K. «Effects of CO₂ enrichment on canopy photosynthesis, carbon economy and productivity of wheat and faba bean under field conditions». A: VAN DE GEIJN, S.C.; GOUDRIAAN, J.; BERENDSE, F. *Climate change; crops and terrestrial ecosystems (Agrobiologische Thema's, 9)*. Wageningen: cabo-dlo, 1993.
- DOMÍNGUEZ, G.; PLANA, E. «The paradox of Mediterranean forests; between economic profitability and social demands. The Catalan case». A: WIERSUM, K.F.; ELANDS, B.H.M. *The changing role of forestry in Europe: perspectives for rural development*. Wageningen: Forest and Nature Conservation Policy Group, Wageningen University, 2002.
- DRAKE, B.G.; AZCÓN-BIETO, J.; BERRY, J.; BUNCE, J.; DIJKSTRA, P.; FARRAR, J.; GIFFORD, R.M.; GONZÁLEZ-MELER, M.A.; KOCH, G.; LAMBERS, H.; SIEDOW, J.; WULLSCHLEGER, S. «Does elevated CO₂ concentration inhibit mitochondrial respiration in green plants?». *Plant, Cell and Environment*, núm. 22 (1999), p. 649-657.
- EPSTEIN, H.E.; WALKER, M.D.; CHAPIN III, F.S.; STARFIELD, A.M. «A transient, nutrient-based model of Arctic plant community response to climate warming». *Ecological Applications*, núm. 10 (2000), p. 824-841.
- EVANS, T.E. «Les effets des changements dans le cycle hydrologique mondial sur la disponibilité des ressources en eau». A: BAZZAZ, Fakhri A.; SOMBROEK, Wim G. *Changements du climat et production agricole*. Roma-Paris: FAO, Polytechnica, 1997.
- GARCIA-PAUSAS, J.; CASALS, P.; CAMARERO, L.; HUGUET, C.; ROMANYÀ, J. «Contenido de carbono edáfico en sistemas praterenses de montaña de los Pirineos». *VII Congreso Nacional de la Asociación Española de Ecología Terrestre. España ante los compromisos del protocolo de Kyoto: sistemas naturales y cambio climático. Barcelona, 2-3 julio* (2003), p. 39.
- GATES, D. M. *Climate change and its biological consequences*. Sunderland: Sinauer Associates, Inc., 1993.
- GRACIA, C.; SABATÉ, S.; SÁNCHEZ, A. «El cambio climático y la reducción de la reserva de agua en el bosque mediterráneo». *Actas del III Congreso Forestal Español*. Sociedad Española de Ciencia Forestales, 2001.
- GUARDIOLA, M.; de BELLO, F.; TAULL, M.; SEBASTIÀ, M.T. «Spatio-temporal changes in structural patterns in subalpine grasslands under different environmental conditions and management regimes». A:

- LÜSCHER, A.; JEANGROS, B.; KESSLER, W.; HUGHENIN, O.; LOBIGER, M.; MILLAR, M.; SUTER, D. (eds.) «Land use Systems in Grassland dominated Regions». *Grassland Science in Europe*, vol. 9 (2004), p. 296-298.
- GUEREÑA, L.B.; RUIZ-RAMOS, M.; DÍAZ-AMBRONA, C.H., CONDE, J.R.; MÍNGUEZ, M.I. «Assessment of climate change and agriculture in Spain using climate models». *Agron. Journal*, núm. 93 (2001), p. 237-249.
- GUO, L.B.; GIFFORD, R.M. «Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis». *Global Change Biology*, núm. 8 (2002), p. 345-360.
- GUTIERREZ, A. P. «Crop Ecosystem Responses to Climatic Change: Pests and Population Dynamics». A: REDDY, K. Raja; HODGES, Harry F. *Climate Change and Global Crop Productivity*. Oxon: CABI Publishing, 2000.
- HARPER, L.A.; SHARPE, R.R.; LANGDALE, G.W.; GIDDENS, J.E. «Nitrogen cycling in a wheat crop: Soil plant and aerial nitrogen transport». *Agron. Journal*, núm. 79 (1987), p. 965-973.
- HERRERA, C. M. «Tipos morfológicos y funcionales en plantas leñosas del matorral mediterráneo del sur de España». *Studia Oecologica*, núm 5 (1984), p. 7-34.
- HOUGHTON, J.T.; DING, Y.; GRIGGS, D.J.; NOGUER, M.; van der LINDEN, P.J.; DAY, X.; MASKELL, K.; JOHNSON, C.A. *Climate Change, 2001. The scientific basis*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- ICONA «II Inventario Forestal Nacional 1986-1994. Cataluña». Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1994.
- IGLESIAS, A. «Impacto del cambio climático en la agricultura: escenarios para la producción de cultivos en España». Servicio de Estudios BBVA, (2000), p. 183-199. (El Campo, 137).
- INCLÁN, R.; RIBAS, A.; PEÑUELAS, J.; GIMENO, B.S. «The relative sensitivity of different Mediterranean plant species to ozone exposure». *Water, Air, and Soil Pollution*, núm. 116 (1999), p. 273-277.
- KAMOSKY, D.F.; ZAK, D.R.; PREGITZER, K.S.; AW-MACK, C.S.; BOCKHEIM, J.G.; DICKSON, R.E.; HENDREY, G.R.; HOST, G.E.; KING, J.S.; KOPPER, B.J.; KRUGER, E.L.; KUBISKE, M.E.; LINDROTH, R.L.; MATTSON, W.J.; McDONALD, E.P.; NOORMETS, A.; OKSANEN, E.; PARSONS, W.F.J.; PERCY, K.E.; PODILA, G.K.; RIEMENSCHNEIDER, D.E.; SHARMA, P.; THAKUR, R.; SÖBER, A.; SÖBER, J.; JONES, W.S.; ANTONEN, S.; VAPAAVUORI, E.; MANKOVSKA, B.; HEILMAN, W.; ISEBRANDS, J.G. «Tropospheric O₃ moderates responses of temperate hardwood forests to elevated CO₂: a synthesis of molecular to ecosystem results from the Aspen FACE project». *Functional Ecology*, vol. 17, núm. 3 (2003), p. 289-304.
- KELLOMÄKI, S.; KARJALAINEN, T.; MOHREN, F.; LAPVETELÄINEN, T. (eds.) «Expert assessment of the likely impacts of climate change on forests and forestry in Europe». EFI Proceedings N° 34, 2000.
- KULL, O.; TULLUS, H.; «Estonia Country Report». A: KELLOMÄKI, S.; KARJALAINEN, T.; MOHREN, F.; LAPVETELÄINEN, T. (eds.) «Expert assessment of the likely impacts of climate change on forests and forestry in Europe». EFI Proceedings N° 34, 2000.
- KUKLA; KARL, G. «Nighttime Warming, and the Greenhouse Effect». *Environmental Science and Technology*, vol. 27, núm. 8 (1993), p. 1.468-1.474.
- LAWLOR, D. W.; MITCHELL, R. A.C. «Crop Ecosystem Responses to Climatic Change: Wheat». A: REDDY, K. R.; HODGES, H. F. *Climate Change and Global Crop Productivity*. Oxon: CABI Publishing, 2000.
- LLEBOT, J. E. *El canvi climàtic*. Barcelona: Rubes Editorial SL-Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya, 1997.
- MARTÍN-VIDE, J. *La situació climàtica de Catalunya*. Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya, 2004.
- MARTÍNEZ-VILALTA, J.; PIÑOL, J.; BEVEN, K. «A hydraulic model to predict drought-induced mortality in woody plants: an application to climate change in the Mediterranean». *Ecological Modelling*, núm. 155 (2002), p. 127-147.
- McKERSIE B.D.; LESHEM, Y.Y. *Stress and Stress Coping in Cultivated Plants*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1994, p. 256
- MIGLIETTA, F.; BINDI, M.; VACCARI, F. P.; SCHAPENDONK, Ad. H.C.M.; WOLF, J.; BUTTERFIELD, R. E. «Crop Ecosystem Responses to Climatic Change: Root and Tuberous Crops». A: REDDY, K. R.; HODGES, H. F. *Climate Change and Global Crop Productivity*. Oxon: CABI Publishing, 2000.
- MOSELLO, R.; LAMI, A.; MARCHETTO, A.; ROGORA, M.; WATHNE, B.; LIEN, L.; CATALAN, J.; CAMARERO, L.; VENTURA, M.; PSENNER, R.; KOINIG, K.; THIES, H.; SOMMARUGA-WÖGRATH, S.; NICKUS, U.; TAIT, D.; THALER, B.; BARBIERI, A.; HARRIMAN, R. 2002. «Trends in the chemical composition of high altitude lakes selected for the MOLAR project». *Water Air and Soil Pollution. Focus*, núm 2 (2002), p. 75-89.
- OGAYA, R.; PEÑUELAS, J.; MARTÍNEZ-VILALTA, J.; MANGIRÓN, M. «Effect of drought on diameter incre-

- ment of *Quercus ilex*, *Phillyrea latifolia*, and *Arbutus unedo* in a holm oak forest of NE Spain». *Forest Ecology and Management*, núm. 180 (2003), p. 175-184.
- PEET, M. M.; WOLFE, D. W. «Crop Ecosystem Responses to Climatic Change: Vegetable Crops». A: REDDY, K. Raja; HODGES, Harry F. *Climate Change and Global Crop Productivity*. Oxon: CABI Publishing, 2000.
- PEÑUELAS, J.; BIEL, C.; ESTIARTE, M. «Growth, biomass allocation, and phenology responses of pepper to elevated CO₂ concentrations and different water and nitrogen supply». *Photosynthetica*, vol. 31, núm. 1 (1995), p. 91-99.
- PEÑUELAS, J.; ESTIARTE, M.; KIMBAL, B.A.; IDSO, S.B.; PINTER Jr, P.J.; WALL, G.W.; GARCIA, R.L.; HANSAKER, D.J.; LaMORTE, R.L.; HENDRIX, D.L. «Variety of responses of plant phenolic concentration to CO₂ enrichment». *Journal of Experimental Botany*, vol. 47, núm. 302 (1996), p. 1.463-1.467.
- PEÑUELAS, J.; RIBAS, A.; GIMENO, B.S.; FILELLA, I. «Dependence of ozone biomonitoring on meteorological conditions of different sites in Catalonia (NE Spain)». *Environmental Monitoring and Assessment*, núm. 56 (1999), p. 221-224.
- PEÑUELAS, J.; FILELLA, I.; COMAS, P. «Changed plant and animal life cycles from 1952 to 2000 in the Mediterranean region». *Global Change Biology*, núm. 8 (2002), p. 531-544.
- PEÑUELAS, J.; FILELLA, I.; SABATÉ, S.; GRACIA, C. *Sistemes naturals: ecosistemes terrestres*. Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya, 2004.
- PEÑUELAS, J.; BOADA, M. «A global change-induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain)». *Global Change Biology*, núm. 9 (2003), p. 131-140.
- RADDI, A. *El mercat dels productes forestals a Catalunya*. Barcelona: Diputació de Barcelona, 1998.
- REDDY, K. R.; HODGES, H. F. «Climate Change and Global Crop Productivity: an Overview». A: REDDY, K. R.; HODGES, H. F. *Climate Change and Global Crop Productivity*. Oxon: CABI Publishing, 2000.
- REICOSKY, D. C.; HATFIELD, J. L.; SASS, R. L. «Agricultural Contributions to Greenhouse Gas Emissions». A: REDDY, K. R.; HODGES, H. F. *Climate Change and Global Crop Productivity*. Oxon: CABI Publishing, 2000.
- REILLY, J. «Changement de climat, agriculture globale et vulnérabilité régionale». A: BAZZAZ, Fakhri A.; SOMBROEK, Wim G. *Changements du climat et production agricole*. Roma-Paris: FAO, Polytechnica, 1995.
- RETANA, J.; ESPELTA, J.M.; HABROUK, A.; ORDÓÑEZ, J.L.; SOLÀ-MORALES, F. «Regeneration patterns of three Mediterranean pines and forest changes after a large wildfire in NE Spain». *Ecoscience*, núm. 9 (2002), p. 89-97.
- RODÀ F.; AVILA A.; RODRIGO A. «Nitrogen deposition in Mediterranean forests». *Environmental Pollution*, núm. 118 (2002), p. 205-213.
- RODO, X.; COMIN, F.A. «Links between Large-Scale Anomalies, Rainfall and Wine Quality in the Iberian Peninsula during the Last Three Decades». *Global Change Biology*, núm. 6 (2000).
- ROMANYÀ, J.; CORTINA, J.; FALLOON, P.; COLEMAN, K.; SMITH, P. «Modelling changes in soil organic matter after planting fast-growing *Pinus radiata* on Mediterranean agricultural soils». *European Journal of Soil Science*, núm. 51 (2000), p. 627-641.
- ROTH, S.K.; LINDROTH, R.L. «Elevated atmospheric CO₂: effects of phytochemistry, insect performance and insect-parasitoid interactions». *Global Change Biology*, núm. 1 (1995), p. 173-182.
- RUSTAD, L.E.; CAMPBELL, J.L.; MARION, G.M.; NORBY, R.J.; MICHELL, M.J.; HARTLEY, A.E.; CORNELISSEN, J.H.C.; GUREVITCH; GCTE-NEWS. «A meta-analysis of the response of soil respiration, net nitrogen mineralization, and aboveground plant growth to experimental ecosystem warming». *Oecologia*, núm. 126 (2001), p. 543-562.
- SALA, O.; CHAPIN III, F.S.; ARMESTO, J.J.; BERLOW, E.; BLOOMFIELD, J.; DIRZO, R.; HUBER-SANWALD, E.; HUENNEKE, L.F.; JACKSON, R.B.; KINZIG, A.; LEMANS, R.; LODGE, D.M.; MOONEY, H.A.; OESTERHELD, M.; N.L. POFF; SYKES, M.T.; WALKER, B.H.; WALKER, M.; WALL, D.H. «Global biodiversity scenarios for the year 2010». *Science*, núm. 287 (2000), p. 1.770-1.774.
- SANZ, M.J., COSÍN, S., BORONAT, M., LÓPEZ, R., GIMENO, C., GARCIA-PAUSAS, J., SEBASTIÀ, M.T. «Carbon fluxes from a grassland in the Pyrenees». Lisbon: *CarboEurope project meetings, 17-19 March, 2003 and CarboEurope Conference 'The continental carbon cycle', 19-21 March, 2003, 2003*.
- SCARASCIA-MUGNOZZA, G.; MATTEUCCI, G.; MANGANI, F., BORGHETTI, M.; «Italy, Malta, Greece and Albania Country Report». A: KELLOMÄKI, S.; KARJALAINEN, T.; MOHREN, F.; LAPVETELÄINEN, T. (eds.) *Expert assessment of the likely impacts of climate change on forests and forestry in Europe*. EFI Proceedings N° 34, 2000.

- SCHJOERRING, J.K.; MATTSON, M. «Quantification of ammonia exchange between agricultural cropland and the atmosphere: Measurements over two complete growth cycles of oilseed rape, wheat, barley and pea». *Plant and Soil*, núm 228 (1993), p. 105-115.
- SEBASTIÀ, M.T. «The role of topography and soils in the structuring of subalpine grasslands vegetation in the Pyrenees at the landscape and the community scales». *Basic and Applied Ecology*, núm. 5 (2004).
- SEBASTIÀ, M.T.; CANALS, R.M.; GAMARRA, J.G.P. «After sigmatism: what we learned about spatiotemporal changes in grassland communities after 10 years». *Acta Botanica Barcinonensis*, núm. 45 (1998), p. 587-602.
- SEBASTIÀ, M. T.; CAÑAS, J. *Les pastures de la muntanya mitjana catalana. Estudis ecològics i agronòmics de les pastures del Catllarà i Sant Jaume de Frontanyà (Alt Berguedà, Barcelona)*. Barcelona: Diputació de Barcelona, 1985.
- SEBASTIÀ, M.T.; LÜSCHER, A.; CONNOLLY, J.; COLLINS, R.; DELGADO, I.; DE VliegHER, A.; EVANS, P.; FRANKOW-LINDBERG, B.; HELGADÓTTIR, A.; ILIADIS, C.; JØRGENSEN, M.; KAD IULIENE, Z.; NISINEN, O.; NYFELER, D.; PORQUEDDU, C. «Higher yield and fewer weeds in grass/legume mixtures than in monocultures – 12 sites of COST action 852». A: LÜSCHER, A.; JEANGROS, B.; KESSLER, W.; HUGHENIN, O.; LOBINGER, M.; MILLAR, M.; SUTER, D. (eds.) «Land use Systems in Grassland dominated Regions». *Grassland Science in Europe*, vol. 9 (2004), p. 483-485.
- SEBASTIÀ, M.T.; MOLA, B.; ARENAS, J.M.; CASALS, P. «Biomass responses of subalpine grasslands in the Pyrenees under warming conditions». A: LÜSCHER, A.; JEANGROS, B.; KESSLER, W.; HUGHENIN, O.; LOBINGER, M.; MILLAR, M.; SUTER, D. (eds.) «Land use Systems in Grassland dominated Regions». *Grassland Science in Europe*, vol. 9 (2004), p. 290-292.
- SHAVER, G.R.; CANADELL, J.; CHAPIN III, F.S.; GUREVITCH, J.; HARTE, J.; HENRY, G.; INESON, P.; JONASSON, S.; MELILLO, J.; PITELKA, L.; RUSTAD, L. «Global warming and terrestrial ecosystems: A conceptual framework for analysis». *Bioscience*, núm. 10 (2000), p. 871-882.
- SOMBROEK, W. G.; GOMMES, R. «L'énigme: changement de climat-agriculture». A: BAZZAZ, F. A.; SOMBROEK, W. G. *Changements du climat et production agricole*. Roma-Paris: FAO, Polytechnica, 1997.
- SUÁREZ, F.; SAINZ, H.; SANTOS, T.; GONZÁLEZ, F. *Las estepas ibéricas*. Madrid: Ministerio de Obras Públicas y Transporte, 1992.
- SUTTON M.A.; MILFORD, C.; NEMITZ, E.; THEOBALD, M.R. et al. «Biosphere-atmosphere interactions of ammonia with grasslands: Experimental strategy and results from a new European initiative». *Plant and Soil*, núm. 228 (2001) p. 131-145.
- TARDIF, J.; CAMARERO, J. J.; RIBAS, M.; GUTIÉRREZ, E. «Spatiotemporal variability in tree growth in the Central Pyrenees: climatic and site influences». *Ecological Monographs*, vol. 73, núm. 2 (2003), p. 241-257.
- TAÜLL, M.; SEBASTIÀ, M.T. «Estructura y productividad de diversas comunidades en el Pirineo Central según el tipo de pastoreo». Actas de la XLII Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos (2002), p. 183-188.
- TAÜLL, M.; CASALS, P.; SEBASTIÀ, M.T. «Valoración de los recursos pastorales de la comarca de la Alta Ribagorça (Pirineos Centrales): Repercusión sobre el proceso de conversión a agricultura ecológica». Actas de la XLIV Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos (2004).
- VALLEJO, V. R. (ed.). *La restauración de la cubierta vegetal en la comunidad Valenciana*. Valencia: Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM), 1997.
- VÉLEZ, R. «Líneas de actuación del gobierno español en la prevención de los incendios forestales». A: *I forum sobre prevención de incendios forestales*. Barcelona: Diputació de Barcelona, 2000. (Quaderns d'informació tècnica).
- VILÀ, M.; SARDANS, J. «Plant competition in mediterranean-type vegetation». *Journal of Vegetation Science*, núm. 10 (1999), p. 281-294.
- YOUNG, K. J.; LONG, S. P. «Crop Ecosystem Responses to Climatic Change: Maize and Sorghum». A: REDDY, K. R.; HODGES, H. F. *Climate Change and Global Crop Productivity*. Oxon: CABI Publishing, 2000.

B6. Residus

Dra. Teresa Vicent

Departament d'Enginyeria Química i Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals. Universitat Autònoma de Barcelona.

Dr. Xavier Gabarrell

Departament d'Enginyeria Química i Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals. Universitat Autònoma de Barcelona.

Teresa Vicent i Huguet (Borriana, la Plana Baixa, 1953) és llicenciada en Ciències Químiques (Química Industrial) per la Universitat de València i doctora en Ciències Químiques per la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB). Ha estat professora al Col·legi Universitari de Girona i actualment és professora titular d'Enginyeria Química a la UAB i investigadora de l'Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals (ICTA) de la mateixa universitat.

S'ha especialitzat en docència i en recerca en l'àmbit de l'enginyeria ambiental. Va realitzar la seva tesi doctoral sobre depuració d'efluents industrials per digestió aneròbia (any 1984) i ha continuat la recerca en depuració biològica d'efluents industrials (digestió anaeròbia, tractament d'aigües residuals tòxiques, etc.), gestió i tractament de residus i en ecologia industrial.

És investigadora principal en diversos projectes de recerca i forma part del Centre de Referència en Biotecnologia de la Generalitat de Catalunya. Ha assessorat diverses administracions i empreses sobre planificació i gestió de residus.

Xavier Gabarrell Durany (Barcelona, 1965) és llicenciat en Ciències Químiques (Química Industrial) per la Universitat Autònoma de Barcelona i doctor pel Programa de Biotecnologia de la mateixa universitat (any 1995). Actualment és professor titular d'Enginyeria Química i director de l'Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals (ICTA) de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB).

S'ha especialitzat en docència i recerca en l'àmbit de l'enginyeria ambiental, en el marc de les titulacions de Ciències Ambientals i d'Enginyeria Química, així com en els programes de doctorat de qualitat de Tecnologia i Ciències Ambientals de la UAB i de la IGSOE. La seva recerca al Departament d'Enginyeria Química i a l'ICTA de la UAB durant els darrers 10 anys s'ha centrat en la biotecnologia ambiental (tractament de residus mitjançant fongs, etc.), així com en la gestió de residus i l'avaluació ambiental a l'empresa.

És coordinador de la Xarxa Temàtica d'Ecologia Industrial i forma part del Centre de Referència en Biotecnologia de la Generalitat de Catalunya.

Síntesi	417
B6.1. Introducció	419
B6.2. Abocadors	420
B6.2.1. Emissions generades	
B6.2.2. Quantificació a Catalunya	
B6.2.3. Accions de mitigació	
B6.3. Digestió anaeròbia	427
B6.3.1. Processos anaerobis i producció de biogàs	
B6.3.2. Quantificació de la producció i consum de biogàs a Catalunya	
B6.3.3. Accions de mitigació	
B6.4. El compostatge	434
B6.5. Les aigües residuals	434
B6.5.1. Emissions generades	
B6.5.2. Quantificació de les emissions de les EDAR a Catalunya	
B6.5.3. Accions de mitigació	
B6.6. Residus ramaders	438
B6.7. Conclusions i escenaris	439
B6.7.1. Generació de RSU i objectius del PROGEMIC els anys 2003 i 2006	
B6.7.2. Purins	
Referències bibliogràfiques	445
Pàgines web	446

Síntesi

De tots els residus generats a Catalunya, els que contenen una part més important de matèria orgànica són els residus sòlids urbans (RSU) i els ramaders, dels quals es generen 3,5 i 13 milions de tones anuals, respectivament. En el cas dels RSU, és a dir, el conjunt de residus produïts a les llars, als comerços, a les oficines i al sector serveis, així com els procedents de la neteja de carrers, parcs i jardins, la seva producció ha augmentat un 50% durant l'última dècada.

El destí dels diferents tipus de residus generats a Catalunya són els abocadors, les estacions depuradores d'aigües residuals (EDAR), les plantes de metanització, les plantes incineradores i les plantes de compostatge. Pel que fa als residus sòlids urbans, actualment l'abocament controlat és la via més utilitzada. Actualment hi ha més de 32 dipòsits en funcionament al llarg de la geografia catalana.

A l'abocador, la matèria orgànica que no ha estat estabilitzada prèviament sofreix una descomposició anaeròbia, molt lenta, que genera biogàs i un lixiviat. El biogàs està constituït, a grans trets, per CO_2 (40%) i CH_4 (60%).

El volum de gasos amb efecte d'hivernacle emesos pels residus dels abocadors es pot estimar a través de diverses metodologies i a partir de dos criteris diferents:

- a) Emissions totals de CO_2 i CH_4 aportades pels residus durant tot el període d'estada a l'abocador, comptabilitzades o imputades en el moment d'introduir el residu a l'abocador. Aquestes emissions segueixen la mateixa evolució que la quantitat de residus que s'introdueix a l'abocador.
- b) Emissions de CO_2 i CH_4 generades pels residus dipositats a l'abocador i que evolucionen durant 10-20 anys, com també ho fan els resi-

us. S'ha estimat l'evolució de les emissions generades pels abocadors en el període 1998-2002 a partir de les entrades de residus des de l'any 1992, segons el model triangular i segons el model LandGen.

Aquestes dues metodologies s'han utilitzat per preveure l'escenari futur fixat pel Programa de Gestió de Residus Municipals 2003-2006 (PROGREMIC).

Els residus que més contribueixen a les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle són els RSU que es gestionen a través d'abocador (75% de les emissions totals dels residus), els RSU que es gestionen a través d'incineració (23%) i les aigües residuals tractades en EDAR (2%). Cal esperar que la normativa europea i la planificació del PROGREMIC contribueixin, en el futur, a fer disminuir aquestes emissions.

Les mesures de mitigació proposades fàcilment s'aplicaran als abocadors de nova construcció, però s'haurà de fer un esforç suplementari per aplicar-les als abocadors als que ja els queda poc temps de vida útil. De la mateixa manera, caldrà fer un seguiment acurat dels abocadors que s'han anat tancant en aquests darrers anys.

Els purins són un altre grup de residus que, en el futur, experimentaran canvis en el seu model de gestió. Per aquest motiu, en aquest capítol s'ha analitzat un escenari teòric, en què tots els purins serien gestionats mitjançant tractament anaerobi, i s'ha comparat amb les previsions que l'Institut Català d'Energia (ICAEN) fa per a aquest mateix tipus de residu en l'horitzó de l'any 2010.

Utilitzant les dades de producció de residus a partir de les quals es podria obtenir biogàs, es pot estimar la «producció màxima» d'aquest producte que es podria obtenir a Catalunya a

partir d'aquests substrats. Les previsions de cara a l'any 2010 suposen menys d'un 10% del que es podria aprofitar.

Les projeccions futures apunten un increment moderat de la generació de residus, que anirà acompanyat d'un fort augment de la seva valorització material i, per tant, es pot produir una disminució en la quantitat i la concentració de matèria orgànica que es diposita als abocadors. Al mateix temps, es millorarà la gestió de les deixalles i, molt especialment, les plantes de tractament i disposició final.

Finalment, la implantació de la metanització permetrà reduir considerablement els efectes de les emissions de CH₄. Malgrat això, aquestes millores només generaran reduccions a un termini mitjà, i si es recull el biogàs generat als abocadors (tant els actuals com els que es construeixin de cara al futur) se'n recuperarà una part. L'any 2006 només es valoritzarà el 55% de la matèria orgànica i, per tant, encara hi haurà una fracció molt important que tindrà com a destí final l'abocador.

El temps necessari per implantar les noves instal·lacions i millorar les actuals fa preveure que les principals reduccions es produiran a partir de l'any 2006. La planificació del PROGEMIC és adequada per reduir les emissions, encara que podria arribar a plantejar objectius més ambiciosos pel que fa a instal·lacions. Ara bé, no

està clar que aquests objectius s'assoleixin l'any 2006.

Per reduir les emissions, la millor alternativa (descartada la no generació) seria la producció de biogàs amb aprofitament energètic d'aquest.

Finalment, s'apunten algunes propostes per tal de reduir la contribució dels residus a les emissions totals de gasos amb efecte d'hivernacle. Són les següents:

- Requerir obligatòriament l'aprofitament del biogàs generat als abocadors, digestors de fangs en EDAR i plantes de metanització.
- Afavorir la implantació de plantes de metanització de RSU, de purins, de fangs de depuradora, etc., i aconseguir percentatges més elevats de valorització de matèria orgànica.
- Incloure com un dels criteris per a la planificació de la gestió dels fangs d'EDAR les emissions generades en el tractament d'aquests, i aprofundir en l'estudi de la seva producció i d'alternatives de gestió.
- Millorar la recollida selectiva de matèria orgànica, ja que a partir dels percentatges de recollida actual es preveu que sigui difícil complir els objectius del PROGEMIC. D'altra banda, però, uns objectius més ambiciosos que els fixats actualment en aquest programa permetrien reduir substancialment les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle generades pels residus.

B6.1. Introducció

L'anàlisi de la contribució dels residus al canvi climàtic s'ha fet dins un marc conceptual reduït. S'ha considerat només les emissions que els residus poden generar o generaran fins arribar a la seva descomposició i, al mateix temps, només es considera els principals gasos que contribueixen al canvi climàtic. Per tant, no es té en compte la possible contribució anterior al fet d'esdevenir un producte o una substància en residu; ni tampoc es tindrà en compte les emissions generades per substàncies i productes el posseïdor dels quals se'n desprèn però que no són gestionades com a residus

En un sistema com l'actual, un producte és el resultat d'un procés en el qual intervenen tot un seguit de matèries primeres i d'energia. Per obtenir aquestes matèries primeres i la mateixa energia s'ha requerit un conjunt d'operacions que han generat emissions, però que queden fora de l'abast d'aquest apartat. Al mateix temps, una vegada es té el producte, aquest és utilitzat i, finalment, esdevé un residu. Convertit ja en residu (o classificat com a tal) és gestionat fins que, amb el temps, es degrada. És aquesta darrera etapa la que ha estat objecte d'anàlisi en aquest capítol: les emissions generades pel residu i la seva contribució al canvi climàtic.

L'anàlisi s'ha dut a terme en funció del tractament que rep el residu i, més concretament, l'estudi s'ha centrat en els tres processos que poden

tenir més incidència en el canvi climàtic: la deposició en abocadors, la metanització i el tractament biològic d'aigües residuals.

Els dos gasos que més contribueixen a l'efecte d'hivernacle són el CO_2 i el CH_4 , l'emissió dels quals es produeix, principalment, en degradar-se la matèria orgànica. Un altre factor important, que no s'analitza en aquest capítol, és la contribució generada pel transport dels residus, que depèn molt de l'emplaçament de les diferents infraestructures de gestió de residus (abocadors, incineradors, plantes de transferència, etc.).

Per entendre bé l'origen i el causant de les emissions que contribueixen al canvi climàtic, s'han de conèixer els processos que poden experimentar els residus, com la digestió anaeròbia, que és el procés natural de degradació de la matèria orgànica.

El tractament de la matèria orgànica es pot dur a terme per diferents vies:

1) Degradació biològica

- a) **Aeròbia.** En oxidar-se la matèria orgànica s'obté, finalment, CO_2 i aigua. Pel que fa al nitrogen es poden produir diferents òxids de nitrogen en els processos de nitrificació.
- b) **Anaeròbia.** La metanització dels compostos de carboni genera, principalment, CO_2 i CH_4 , a més de COV i H_2S . Pel que fa al nitrogen es

poden produir diferents processos de desnitrificació i es poden generar òxids de nitrogen en petites quantitats. De la mateixa manera, caldria tenir en compte possibles processos d'amonificació de matèria nitrogenada complexa, que posteriorment podrien arribar a la desnitrificació.

2) Processos físico-químics

Addició de reactius específics per produir un precipitat. En general no hi ha una contribució rellevant al canvi climàtic.

3) Processos tèrmics

En oxidar-se la matèria orgànica s'obté, finalment, CO_2 i aigua. Pel que fa al nitrogen es poden produir diferents processos de generació d'òxids de nitrogen. Bàsicament s'han descrit dues rutes per a la formació dels NO_x : NO_x del combustible i NO_x tèrmic. En la primera, els NO_x formats procedeixen de la combustió del nitrogen que hi hauria en els aliments. En la segona es produeix una reacció en la fase gasosa entre el nitrogen i l'oxigen i, per tant, els NO_x produïts estan relacionats amb les concentracions d'oxigen i de nitrogen en la zona de combustió de més temperatura. De forma empírica, s'ha determinat que entre un 10 i un 60% del nitrogen present als aliments pot convertir-se en òxids de nitrogen.

Tipus de residu	Milions de tones generades
Industrials	5,6
Municipals	3,5
Runes	5,5
Ramaders	13,0
Aigües residuals urbanes	> 400
Aigües residuals industrials	> 125

Taula B6.1. Els residus generats a Catalunya l'any 2000
Font: Elaboració pròpia a partir de dades de l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA) i l'Agència de Residus de Catalunya (ARC).

Per poder valorar l'efecte de les emissions dels residus sobre l'efecte d'hivernacle cal conèixer la quantitat de residus que es generen. La taula B6.1 presenta la quantificació dels residus del 2000, que és l'any que es pren com a referència en tot el capítol.

Dels residus generats a Catalunya (taula B6.1) els que contenen la major part de matèria orgànica són els residus municipals i els ramaders. Els industrials inclouen una sèrie de fraccions valoritzables (60%), una part de matèria inorgànica (sals, cendres, salmorres, etc.) i una petita part de matèria orgànica (que es pot estimar en un 20%), que en darrer terme anirà a disposició final en dipòsit controlat, després d'haver estat sotmesa a diferents operacions d'estabilització. No es tindrà en compte, però, la contribució de les runes, ja que són material inert.

A Catalunya, els residus d'origen ramaders tenen una gran importància. Tot i això, actualment aquests residus no acostumen a gestionar-se com a tals, i la pràctica més usual és la seva dispersió en els camps. Així doncs, la major part dels purins s'aboca als sòls. Aquesta és una gestió inadequada per a moltes zones de Catalunya, que compten amb uns sòls contaminats i molt castigats, justament, per aquests abocaments. En el futur immediat, i per tal de complir la normativa actual, una part d'aquests purins hauran d'anar a plantes de tractament. En aquest capítol no s'han quantificat les emissions generades per aquests residus, ja que actualment no es gestionen com a tal. En el cas dels escenaris, es tindrà en compte, la possible gestió en plantes de tractament.

El destí dels residus produïts a Catalunya són els abocadors, les plantes depuradores d'aigües residuals (EDAR), les plantes de metanització, les plantes incineradores i les plantes de compostatge.

B6.2. Abocadors

Actualment, l'abocament controlat dels residus municipals és la via més utilitzada per aquest ti-

pus de residu: l'any 2000, el 65,3% dels residus municipals generats a Catalunya van acabar en aquest tipus de dipòsits controlats (n'hi ha més de 32 en funcionament al llarg de la geografia catalana).

Els abocadors són instal·lacions industrials dissenyades per a la recepció de residus i la seva disposició final de forma controlada. La *Directiva 1999/31/CE del Consell, de 26 d'abril de 1999, relativa a l'abocament de residus*¹ els defineix com un emplaçament d'eliminació de residus que es destina al dipòsit dels residus en superfície o subterrani. Per tal que aquestes instal·lacions funcionin correctament, han de complir unes normes tècniques relacionades amb el residu que poden rebre.

Segons la normativa catalana els abocadors es classifiquen en:

- 1) Dipòsits controlats de classe I (per a residus inerts).
- 2) Dipòsits controlats de classe II (per a residus no especials).
- 3) Dipòsits controlats de classe III (per a residus especials).

A l'abocador, la matèria orgànica que no ha estat estabilitzada prèviament experimenta una descomposició anaeròbia que genera biogàs (constituït principalment per metà i diòxid de carboni) i un lixiviat. Aquesta descomposició és lenta i pot durar dècades, per la qual cosa en l'explotació de l'abocador cal preveure que la seva gestió ha de continuar durant un període de temps suficient després, fins i tot, de la clausura de l'abocador.

Els requisits tècnics mínims que ha de complir cada una d'aquestes instal·lacions són, entre altres, els següents: criteris d'impermeabilització del vas, drenatge de lixiviats i segellament del dipòsit controlat; captació i recollida del biogàs;

Component	Valor típic (% vol)	Màxim valor observat (% vol)
Metà	63,8	88,0
Diòxid de carboni	33,6	89,3
Oxigen	0,16	20,9
Nitrogen	2,4	87,0
Hidrogen	0,05	21,1
Monòxid de carboni	0,001	0,09
Età	0,005	0,0139
Etè	0,018	-
Acetaldehid	0,005	-
Propà	0,002	0,0171
Butà	0,003	0,023
Heli	0,00005	-
Hidrocarburs insaturats	0,009	0,048
Compostos halogenats	0,00002	0,032
Àcid sulfhídric	0,00002	35,0
Organosulfurs	0,00001	0,028
Alcohols	0,00001	0,127
Altres	0,00005	0,023

Taula B6.2. Composició típica del biogàs generat en un abocador
Font: Williams, 1998.

procediments de manteniment i control posteriors a la clausura dels dipòsits controlats.

D'aquests productes, el que pot contribuir al canvi climàtic, si no es recull o no es crema, és el biogàs. A la taula B6.2 es presenta la composició típica del biogàs generat en un abocador. La concentració de metà en el biogàs no només depèn de la fase en què es trobi la degradació. Diferents substrats originen diferents concentracions dels components del biogàs. Malgrat això,

1. DOCE núm. L 182, de 16 de juliol de 1999.

com que els residus són dipositats en capes superposades i més o menys homogènies, el biogàs recuperat a la superfície és barreja dels gasos produïts per residus que van ser abocats en èpoques diferents. En aquesta barreja té més pes relatiu el gas generat pels residus que es troben a la fase metanogènica, ja que en aquesta etapa els cabals de gasos generats són més elevats i tenen una durada més elevada. No obstant això, el biogàs que es recull a la superfície té una composició més o menys constant.

La presència dels components minoritaris com els recollits a la taula B6.2 pot originar problemes de corrosió en les canonades de recollida del biogàs i els seus equips. Els principals responsables d'aquest fet són els compostos orgànics halogenats, el sulfur d'hidrogen i els organosulfurats.

El material que arriba a l'abocador depèn del tipus d'abocador. Està constituït per residus sòlids urbans (RSU) i residus industrials. Els residus sòlids urbans són el conjunt de residus produïts a les llars, comerços, oficines, serveis i també els procedents de la neteja de carrers, parcs i jardins. A Catalunya, la producció de RSU ha augmentat un 50% durant l'última dècada, dels quals se n'han generat més de 3,4 milions de tones l'any 2000 (que corresponen a una mitjana d'1,57 kg per habitant i dia). Bona part d'aquests residus, igual com havia succeït en anys anterior, va ser gestionada com a rebuig.

A la taula B6.3 es presenta la gestió que va tenir el rebuig en el període 1993-2001.

La composició de les escombraries depèn de factors socioeconòmics que influeixen en el tipus d'alimentació i del clima. L'alimentació mediterrània és rica en verdures i fruites, i això fa que en aquesta zona es generin els residus amb més proporció de matèria orgànica fresca de tota la Unió Europea. En xifres absolutes, s'estan generant uns 600 grams per persona i dia, i representa el 45% en pes del total dels residus produïts. Pel que fa a les altres fraccions, el conjunt de les inorgàniques, el paper i el cartró constitueixen la segona fracció dels residus municipals en importància (pel que fa a la quantitat generada), ja que representa entre un 20 i un 25% en pes i experimenta una tendència creixent. La fracció del vidre representa un 8% en pes, la dels metalls al voltant del 4%, on predominen els fèrrics (llautó i acer) sobre els no fèrrics (principalment alumini), i la dels plàstics un 7%, el que equival a un percentatge de 30% en volum, a causa de la seva baixa densitat. La figura B6.1 mostra la proporció en què es troben els diferents residus en una bossa d'escombraries estàndard:

Aquesta composició ha canviat, i segons els estudis de l'Entitat Metropolitana de Serveis Hidràulic i Transport, a l'àrea metropolitana de Barcelona la matèria orgànica (MO) representa un 39 % del residus totals generats. Paradoxalment, però, només una ínfima part (un 5%) rep

Tm	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Abocament controlat	1.482.723	1.603.141	1.911.855	2.009.856	2.035.022	2.127.000	2.275.626	2.277.546	2.285.026
Incineració	504.896	560.815	658.763	675.620	670.228	658.187	687.703	712.609	694.854
No controlada	292.955	214.205	93.938	10.389	6.682				
Total (Tm)	2.280.574	2.378.161	2.664.556	2.695.865	2.711.932	2.785.187	2.963.329	2.990.155	2.979.880

Taula B6.3. Gestió del rebuig a Catalunya (període 1993-2001)
Font: Agència de Residus de Catalunya.

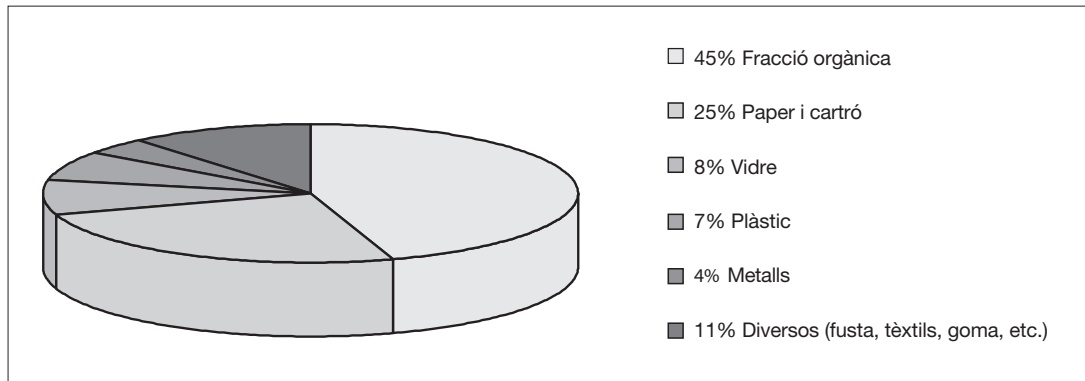


Figura B6.1. Composició (en % en pes) de la bossa d'escombraries a Catalunya l'any 1995.
Font: pàgina web de l'Agència de Residus de Catalunya.

un tractament final adequat, mentre que la resta queda acumulada en abocadors (67%) o es crema (28%), amb què s'originen problemes des del punt de vista ambiental i es malbarata un recurs valuós.

Un estudi encarregat pel Ministeri de Medi Ambient estimava la composició dels residus municipals a Catalunya per zones. La mitjana de Catalunya evidenciava una disminució de la matèria orgànica (estimada en un 38%) i un augment dels plàstics (que representen un 16% dels residus).

L'actual Programa de Gestió dels Residus a Catalunya (PROGEMIC) fixa els següents objectius de valorització material:

	Any 2003	Any 2006
Matèria orgànica	40%	55%
Vidre	60%	75%
Paper i cartró	60%	75%
Envasos lleugers	15%	25%

Si s'aconseguien aquests objectius, la quantitat de matèria orgànica que arribaria als abocadors disminuiria notablement. A més, s'aconseguiria aprofitar una part d'aquesta matèria orgànica

(procés de metanització) i les seves emissions.

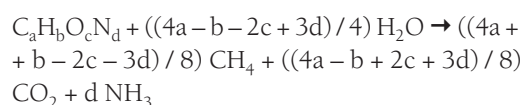
B6.2.1. Emissions generades

Segons l'*Environmental Protection Agency* dels Estats Units d'Amèrica, les emissions de metà en abocadors suposen entre un 6% i un 13% de les emissions totals a escala mundial (naturals i antropogèniques). L'any 1992, el Grup Intergovernamental d'Experts sobre Canvi Climàtic (IPCC) situava aquest interval entre un 8% i un 20%.

El volum de gasos emesos en abocadors es pot estimar per mitjà de diferents metodologies, entre les quals cal destacar el mètode Tchobanoglous (Tchobanoglous, 1994) i el model LandGEM.

1) El Mètode Tchobanoglous

Una de les formes senzilles i simplificades de fer aquesta estimació és suposar que els constituents orgànics individuals trobats en la fracció orgànica dels residus urbans (amb l'excepció dels plàstics) es representen, de forma generalitzada, amb la fórmula $C_aH_bO_cN_d$ (Tchobanoglous, 1994). Per fer l'estimació es pot utilitzar la següent equació, suposant la conversió completa dels residus biodegradables a CO_2 i CH_4 :



Les taxes de descomposició dels materials ràpidament degradables (RD) –que requereixen un màxim de cinc anys per a la seva degradació– i els elements lentament degradables (LD) –de cinc a cinquanta anys per a la seva degradació– segueixen un model triangular de producció de gas on la taxa punta de generació de biogàs es dona el primer i cinquè any després de l'inici de la producció del gas, respectivament. Se suposa que la producció del biogàs s'inicia a finals del primer any de posada en marxa de l'abocador. L'àrea de treball sota el triangle representa la quantitat total de biogàs procedent dels residus col·locats durant un dels anys d'explotació de l'abocador. Segons aquest model triangular es pot determinar la quantitat total de gas que produirà un abocador que s'exploti durant n anys sumant gràficament el gas produït per les porcions de RSU biodegradables ràpidament i lentament que han estat dipositades cada any.

2) Model LandGEM

El model *Landfill Gas Emission Model* de l'*Environmental Protection Agency* dels Estats Units d'Amèrica, recollit en el programari LandGEM, s'utilitza per estimar directament les emissions de biogàs a partir de dades recollides en un gran nombre de dipòsits controlats d'aquest país. A partir del model *Scholl Canyon* (elaborat per Emcon Associates) es parteix d'una simple equació cinètica de primer ordre:

$$\text{Emissions} = L_0 * k * t$$

On:

t : temps

L_0 : capacitat potencial de generació de metà dels RSU

k : velocitat de generació de metà

Com més gran és el valor de k , més ràpidament s'incrementa la producció de gas durant l'abocament i més ràpidament s'exhaureix. El coeficient k és funció de diferents factors (la humitat del residu, la disponibilitat de nutrients per al procés anaerobi, el pH i la temperatura) i el seu va-

lor és més gran en climes humits. La influència de la velocitat de degradació és notòria: el residu emet la mateixa quantitat de gas, però la producció es pot prolongar durant un període de temps més llarg. El valor de la capacitat potencial de generació de metà (L_0) depèn únicament del tipus de residus presents a l'abocador. Així, si el contingut en cel·lulosa és més elevat també ho serà el valor d' L_0 . Els valors d' L_0 reals i màxims oscil·len entre 6,2 i 270 m³/Mg de residu.

El *Pla de Sanejament Atmosfèric de la Regió I de Catalunya*, elaborat pel Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya, utilitza el model LandGEM (versió 2.0) per estimar les emissions de metà i diòxid de carboni. S'ha suposat que la relació entre el metà i el diòxid de carboni emesos és del 60 i del 40%, respectivament. Parteix de les dades d'obertura dels abocadors en aquesta zona de Catalunya, les tones dipositades a final de l'any 1999, el percentatge de matèria orgànica que componen els residus (segons els estudis del *Programa de Gestió de Residus Municipals de Catalunya 1995-2000* o l'estudi realitzat pel Ministeri de Medi Ambient), l'assimilació de la matèria orgànica a cel·lulosa i l'eficiència de la reacció, que només és del 80%. En el *Pla de Sanejament Atmosfèric de la Regió I de Catalunya* s'han considerat uns valors estàndard representatius a partir de les dades facilitades pels abocadors de Vacarisses i del Garraf. Aquest pla aporta les dades d'emissions de CH₄ i CO₂ per a cada abocador de la Regió I de Catalunya, que es presenten a la taula B6.4.

Les emissions generades en els abocadors i les incineradores, procedents dels RSU, es presenten a la taula B6.5 (expressades en tones equivalents de CO₂).

B6.2.2. Quantificació a Catalunya

Es poden aplicar les metodologies descrites anteriorment per estimar les emissions globals de Catalunya, partint de la hipòtesi que tots els abocadors tenen unes mateixes característiques o, dit d'una altra manera, suposant que tota la

Abocador	Emissió de CH ₄ (m ³ /any)	Emissió de CO ₂ (m ³ /any)	Emissió total de gasos (m ³ /any)
Garraf	30.830.000	20.560.000	51.390.000
Rubí	637.500	425.400	1.062.500
Vacarisses	15.110.000	10.080.000	25.190.000
Sta. M. Palautordera	2.317.000	1.545.000	3.862.000
Manresa I (clausurat)	3.044.000	2.029.000	5.073.000
Manresa II *	256.300	170.900	427.200
Hostalets de Pierola	10.040.000	6.693.000	16.733.000

* Dades corresponents a les emissions de l'any 2000 a causa de l'entrada de deixalles l'any 1999.

Taula B6.4. Dades d'emissions d'abocadors segons el Pla de Sanejament Atmosfèric de la Regió I

Font: dades subministrades als autors per la Direcció General de Qualitat Ambiental del Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya.

brossa s'ha gestionat en el mateix abocador, i també considerant que en termes mitjans el biogàs dels abocadors està compost per un 60% de metà i un 40% de diòxid de carboni.

Les emissions s'han estimat utilitzant el model triangular i a partir del model de LandGEM, en el qual s'ha utilitzat els valors estàndard de k i L_0 segons la simulació CAA i AP-42. En fer aquestes estimacions no s'ha tingut en compte les generacions de biogàs procedents dels residus acumulats en els abocadors abans de l'any 1993. Per tant, només s'han considerat els residus de l'any 1993 i posteriors, fins l'any 2001. És per això que només es poden considerar com a significatives les dades d'emissions estimades dels anys 2000, 2001 i 2002.

Les estimacions fetes a partir del model triangular s'han basat en l'adaptació d'un programari específic (Utrera, 2001), dissenyat per a un sol abocador i tenint en compte les suposicions següents:

- Del 27,1% (pes sec) de matèria degradable ràpidament, es pot suposar que un 75% està disponible per a la degradació.

- Del 9,19% (pes sec) de la matèria biodegradable lentament es pot suposar que n'està disponible el 50%.
- Pel que fa a la composició, s'ha considerat la que es mostra a la taula B6.6, elaborada a partir de les dades de composició general i de recollida selectiva.

Les dades de partida són les presentades a la taula B6.3. Els resultats que s'obtenen es presenten a la taula B6.7.

B6.2.3. Accions de mitigació

Tal com s'ha explicat anteriorment, el vas d'un abocador és un gran digestor anaerobi que genera biogàs. Actualment, la major part d'aquest

	Abocadors (2,32 tones equiv CO ₂ / tona RSU)	Incineradores (1,67 tones CO ₂ / tona RSU)
Any 1999	5.275.336,663	1.148.465,012
Any 2000	5.279.206,400	1.653.253,340

Taula B6.5. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a Catalunya durant els anys 1999 i 2000 (en tones de CO₂ equivalent)

Font: Departament de Medi Ambient i Habitatge.

Constituents orgànics ràpidament degradables		Constituents orgànics lentament degradables		Components inerts	
Restes de menjar	12,70 %	Tèxtils	4,28 %	Plàstics	17,56 %
Paper	15,40 %	Goma	0,50 %	Vidre	6,29 %
Cartró	2,70 %	Cuir	0,50 %	Metalls fèrrics	4,04 %
Restes de jardí	15,70 %	Restes de jardí	10,40 %	Metalls no fèrrics	2,86 %
		Fusta	0,24 %	Altres	7,15 %
Total	46,50 %	Total	15,92 %	Total	37,90 %

Taula B6.6. Composició dels constituents dels residus sòlids urbans (RSU).

Font: elaboració pròpia.

biogàs es desapropita, s'emet a l'atmosfera i contribueix al canvi climàtic. Ara bé, aquest biogàs pot ser recollit i se'n pot aprofitar el potencial energètic. Per tant, les accions de mitigació de l'impacte del biogàs hauran d'anar dirigides cap a l'aprofitament del biogàs i a millorar-ne la captació.

La Directiva 1999/31/CE del Consell, de 26 d'abril de 1999, sobre abocament de residus estableix dues directrius bàsiques: la limitació de l'abocament de residus biodegradables i l'establiment de requisits sobre control dels gasos emesos en els dipòsits controlats. El PROGEMIC també estableix objectius per recollida de la matèria or-

Any		1998	1999	2000	2001	2002	2003
Model triangular	Biogàs (m ³)	282.965.000	303.410.000	324.682.000	340.702.000	352.922.000	237.637.000
	Biogàs (tones)	339.557	364.092	389.618	408.843	423.506	285.164
	CO ₂ (tones equiv.)	2.790.937	2.992.595	3.202.401	3.360.413	3.480.940	2.343.862
LandGEM CAA	CH ₄ (m ³)	48.250.000	63.980.000	80.200.000	95.650.000	110.400.000	105.000.000
	CH ₄ (tones)	46.900	56.670	66.820	76.470	85.700	81.520
	CO ₂ (tones)	85.790	10.370	122.200	139.900	156.800	149.100
	CO ₂ (tones equiv.)	107.0690	1.293.770	1.525.420	1.745.770	1.956.500	1.861.020
LandGEM AP-42	CH ₄ (m ³)	33.670.000	40.850.000	48.350.000	55.570.000	62.530.000	60.080.000
	CH ₄ (tones)	22.460	27.260	32.260	37.070	41.720	40.080
	CO ₂ (tones)	41.080	49.850	59.010	67.810	76.310	73.310
	CO ₂ (tones equiv.)	512.740	622.310	736.470	846.280	952.430	914.990

Taula B6.7. Estimació de les emissions dels abocadors (període 1998-2003).

Font: elaboració pròpia.

gànica. La normativa actual ja requereix que els abocadors disposin d'una xarxa de recollida del biogàs. El següent pas és el seu aprofitament per obtenir energia, enlloc de cremar-lo en una torxa. De cara al futur, és important que les xarxes de recollida estiguin ben dissenyades per minimitzar les emissions no recollides.

Actualment, a Catalunya hi ha pocs abocadors que aprofitin aquest biogàs. Els abocadors de Vacarisses, Can Mata (Hostalets de Pierola), Garraf i les Valls (Santa Maria de Palautordera) disposen de motors de cogeneració per l'aprofitament del biogàs resultant de la fermentació dels residus. El primer en instal·lar l'equip necessari per aprofitar el biogàs va ser el de Vacarisses, que disposa de dos motors d'1 MW. A Can Mata es disposa d'un motor d'1 KW. L'any 2002, l'Entitat Metropolitana de Medi Ambient va obrir un concurs públic per l'aprofitament del biogàs de l'abocador del Garraf, amb una producció final d'electricitat prevista de 12 MW. Actualment ja s'aprofita una petita fracció del biogàs format en aquest abocador.

B6.3. Digestió anaeròbia

La utilització de sistemes biològics per eliminar la contaminació present en aigües residuals i residus és un dels processos més coneguts per a la millora del medi ambient. La seva utilització es molt antiga i s'han desenvolupat diverses tecnologies d'eliminació, en funció de les característiques de l'efluent (Henze, M. 1997).

En els tractaments biològics de depuració, els microorganismes utilitzen la matèria orgànica com aliment per portar a terme les reaccions metabòliques (energètiques i de síntesi), i se n'obtenen com a productes finals compostos gasosos (CO_2 , H_2O , CH_4 , N_2 , etc.) i nous microorganismes.

La classificació bàsica dels processos biològics de depuració es fa en funció de la necessitat o no d'aportacions d'oxigen (consum energètic), fet que porta implícit comportaments biològics totalment diferenciats.

	Condicions aeròbies	Condicions anaeròbies
Balanç de carboni	50% passa a biomassa 50% passa a CO_2	5% passa a biomassa 95% passa a biogàs
Balanç d'energia	60% passa a cèl·lules 40% es perd	5-7% passa a cèl·lules 3-5% es perd 90% es recupera en biogàs

Taula B6.8. Balanços de matèria (font de carboni) i energia en els processos de degradació aeròbia i anaeròbia
Font: Vicent, 1995.

El tractament aerobi consisteix en transformar la càrrega orgànica contaminant, principalment en material sòlid biològic (llots) i CO_2 , i necessita la transferència d'oxigen gas al medi de cultiu.

El tractament anaerobi transforma la major part de la càrrega orgànica contaminant en CH_4 i CO_2 i només una petita part en llots, i necessita un ambient reductor, lliure d'oxigen o altres oxidants forts.

En el tractament aerobi, com que els microorganismes obtenen molta energia del procés de respiració, el seu creixement és ràpid i una part important del residu orgànic es converteix en noves cèl·lules. En canvi, en el procés anaerobi la major part de la font de carboni del substrat passa a biogàs (taula B6.8).

B6.3.1. Processos anaerobis i producció de biogàs

La digestió anaeròbia es un procés que en absència d'oxigen permet que els microorganismes transformin la matèria orgànica en CH_4 i CO_2 . El pas d'un substrat complex a CH_4 es caracteritza per un conjunt de reaccions associades al metabolisme de nombrosos microorganismes, que actuen d'intermediaris per transformar la matèria orgànica complexa en substrats assimilables pels bacteris metanògens (figura B6.2).

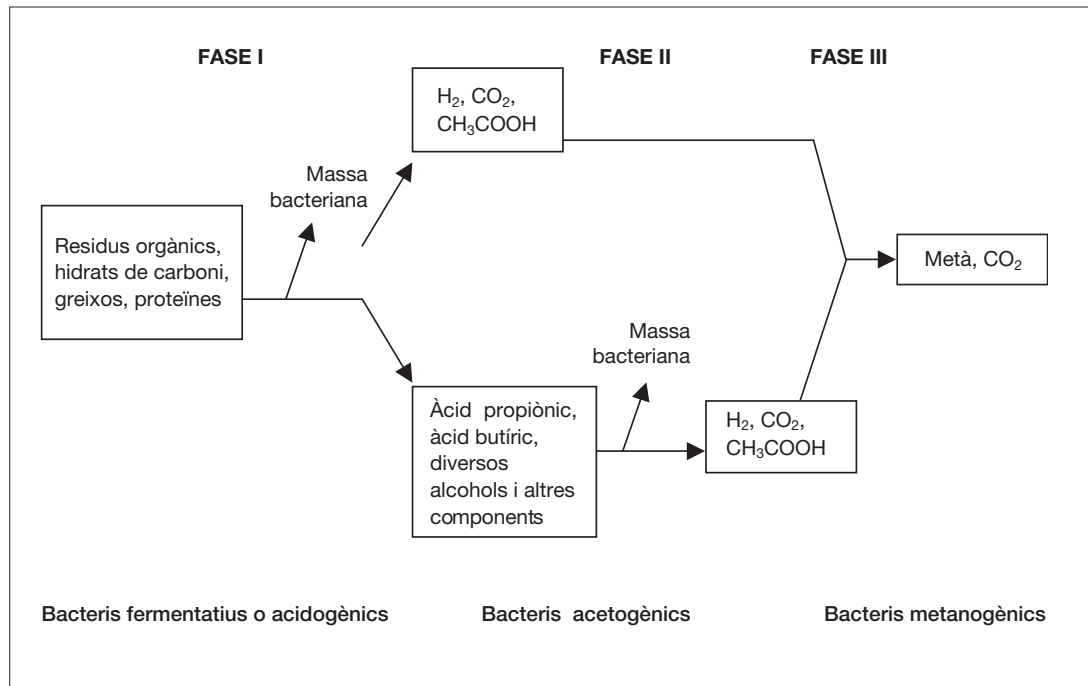


Figura B6.2. Fases de la digestió anaeròbia.
Font: elaboració pròpia.

En el procés global de digestió es poden diferenciar tres fases principals:

1) Fase hidrolítica–acidogènica. En aquesta primera fase la matèria orgànica complexa és hidrolitzada i convertida en molècules més senzilles i solubles, i aquestes són fermentades a àcids orgànics, alcohols, amoníac, hidrogen i diòxid de carboni. Per tant, aquesta fase es podria esquematitzar com la de degradació de la matèria orgànica en àcids grassos volàtils (AGV), alcohols i noves cèl·lules, i en ella l'eliminació de DQO és mínima.

En aquesta etapa actuen els anomenats bacteris hidrolítics, associats a altres espècies bacterianes, que realitzen una fermentació clàssica (làctica, propiònica, etc.). Una característica important d'aquests bacteris és la seva ràpida velocitat de creixement (el temps mínim de doblatge és de 30 minuts).

2) Fase acetogènica. Els compostos intermedis, àcids orgànics (AGV), alcohols, etc. són transformats en acetat pels bacteris acetogènics, productors d'hidrogen, que simultàniament és metabolitzat pels bacteris metanògens consumidors d'hidrogen.

Les reaccions de transformació dels AGV en acetat són termodinàmicament possibles a pressions parcials d'hidrogen baixes. El metabolisme acetogènic es caracteritza per una absoluta dependència de l'eliminació d'hidrogen per part dels bacteris que l'utilitzen, com poden ser els bacteris metanògens hidrogenòfils o els bacteris sulfatoreductors en presència de sulfats.

3) Fase metanogènica. Constitueix la fase final del procés i, en ella, l'acetat, l'H₂-CO₂, el formiat, el metanol i les metilamines són fermentats a metà per part dels bacteris metanògens.

Aquests microorganismes són anaerobis estrictes. En general, els bacteris metanògens han estat trobats en gran quantitat en aquells llocs on el potencial redox presenta valors inferiors a -300mV .

Així doncs, en el procés de digestió anaeròbia actuen diferents grups bacterians en associació sintròfica, per la qual cosa és molt important aconseguir una flora bacteriana variada i equilibrada per portar a terme un procés estable.

Aproximadament el 70% del metà produït s'obté a través de la degradació de l'àcid acètic per part dels bacteris metanògens acetoclàstics i el seu temps mínim de doblatge és de 2 a 3 dies. Aquest temps tant lent respecte als bacteris formadors d'àcids influeix en l'estabilitat del procés.

La cinètica de les principals etapes difereix segons el tipus de residu a tractar. En el cas de residus amb una càrrega orgànica molt soluble, l'etapa limitant del procés acostuma a ser la metanogènica, que és, a més, la més sensible a l'efecte dels tòxics i a les variacions ambientals. En cas de produir-se una inhibició de l'etapa metanogènica es produirà l'acumulació de productes intermedis en el medi, com els àcids grassos volàtils (AGV) i l'hidrogen (que ràpidament passa

a la fase gasosa), i es produeix la desestabilització del procés.

Així doncs, en cas que el procés no fos estable o es veiés interromput per algun factor es podrien produir emissions d'alguns gasos que podrien contribuir al canvi climàtic, com els compostos orgànics volàtils i l'hidrogen.

Els principals productes de la digestió anaeròbia d'un residu són un residu digerit, amb un contingut en matèria orgànica baix, i el biogàs, un gas format bàsicament per metà (CH_4) i diòxid de carboni (CO_2) i que conté traces d'hidrogen (H_2), nitrogen (N_2) i sulfur d'hidrogen (H_2S). Algunes de les característiques principals del biogàs es resumeixen a la taula B6.9, on s'assumeix una composició típica del 60% de CH_4 i el 40% de CO_2 .

La qualitat del biogàs ve determinada sobretot pel contingut en metà (CH_4), combustible i en diòxid de carboni (CO_2), sense cap utilitat des del punt de vista energètic. El diòxid de carboni dilueix el biogàs i fa augmentar els costos, a causa sobretot de l'emmagatzematge del biogàs. És per això que es busca obtenir el contingut més elevat en metà i més baix en diòxid de carboni possible.

Característiques	CH_4	CO_2	H_2	H_2S	Composició (60% CH_4 /40% CO_2)
Fracció (%v/v)	55-70	27-44	1	3	100
Valor calorífic (MJ/m^3)	35,8	-	10,8	22,8	21,5
Rang d'ignició (%volum a l'aire)	5-15	-	4-80	4-45	6-12
Temperatura d'ignició ($^\circ\text{C}$)	650-750	-	585	-	650-750
Pressió crítica (MPa)	4,7	7,5	1,2	8,9	7,5-8,9
Densitat normal (g/l)	162	468	61	349	320
Densitat biogàs/ Densitat aire	0,55	2,5	0,07	1,2	0,83

Taula B6.9. Composició i característiques del biogàs
Font: Arimon, 2002.

La composició del biogàs que s'obté d'un residu es pot calcular si s'esquematitza la transformació en dues reaccions, una de reducció a metà i l'altra d'oxidació a CO_2 (Lema, J. 1992). A partir de les reaccions es pot trobar la relació entre el metà i CO_2 produïts, en funció del número d'oxidació mitjà:

$$\frac{\text{CH}_4}{\text{CO}_2} = \frac{4 - N_{\text{ox.Mitjà}}}{4 + N_{\text{ox.Mitjà}}}$$

On $N_{\text{ox.Mitjà}}$ significa número d'oxidació mitjà

A la pràctica, és difícil avaluar el $N_{\text{ox.Mitjà}}$ dels residus a causa de la seva complexitat, però es pot calcular a partir de paràmetres fàcilment mesurables experimentalment com la Demanda Química de Oxígen (DQO) i el Carboni Orgànic Total (COT), segons l'equació:

$$N_{\text{ox.Mitjà}} = 4 - \left(\frac{3}{2}\right) \left(\frac{\text{DQO}}{\text{COT}}\right)$$

La composició típica del biogàs produït en el tractament de residus complexos està al voltant dels percentatges esmentats: 60% metà i 40% CO_2 .

La quantitat de biogàs obtinguda a partir del substrat pels diferents temps de retenció en el reactor és coneix com a producció de biogàs. Com que s'han de tenir en compte els diferents continguts en aigua del residu, no es pot expressar en cap cas en funció del volum, com per exemple m^3 de reactor o els m^3 de substrat fresc, sinó que és millor expressar-la en funció de la quantitat de sòlids volàtils en el residu que entra al reactor (influent) o de la seva DQO.

La quantitat de metà produït pot calcular-se a partir d'un balanç de DQO del procés (Lema, J. 1992):

$$\text{DQO}_{\text{influent}} = \text{DQO}_{\text{effluent}} + \text{DQO}_{\text{creixement microorganismes}} + \text{DQO}_{\text{biogàs}} + \text{DQO}_{\text{acumulada}}$$

On:

$\text{DQO}_{\text{effluent}}$ = part de la DQO d'entrada que no ha pogut ser degradada.

$\text{DQO}_{\text{creixement microorganismes}}$ = part de la DQO d'entrada que utilitzen els microorganismes per al seu creixement.

$\text{DQO}_{\text{biogàs}}$ = part de la DQO d'entrada que es transforma en biogàs (com que dels components del biogàs només el metà presenta DQO, la DQO del biogàs equival a la DQO del metà).

$\text{DQO}_{\text{acumulada}}$ = DQO acumulada positivament o negativament en el reactor.

Si se suposa que el reactor està en estat estacionari i que el creixement cel·lular és menyspreable, aleshores:

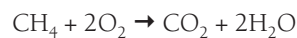
$$\text{DQO}_{\text{creixement microorganismes}} = 0$$

$$\text{DQO}_{\text{acumulada}} = 0$$

Per la qual cosa l'equació de balanç queda de la manera següent:

$$\text{DQO}_{\text{influent}} = \text{DQO}_{\text{effluent}} + \text{DQO}_{\text{metà}}$$

Si es calcula la DQO teòrica del metà a partir de la reacció d'oxidació següent:



Aleshores:

I d'aquí es dedueix que:

$$\text{DQO} = \frac{2\text{MO}_2}{\text{MCH}_4} = \frac{64}{16} = 4$$

$\text{DQO}_{\text{metà}} = 4 \text{ g DQO/g metà}$ o $64 \text{ g DQO/mol de CH}_4$

En condicions estàndard de pressió i temperatura, 1 mol de gas ocupa 22,4 l. Per tant, 1 mol de

CH₄, que equival a 0,064 kg DQO, ocupa 22,4 l, o 1 kg DQO metà ocupa 350 l (0,35 m³).

Del balanç:

$$DQO_{\text{influent}} - DQO_{\text{efluent}} = DQO_{\text{metà}}$$

És a dir, que 1 kg DQO eliminat és igual a 1 kg DQO metà i és igual a 0,35 m³ de metà, i considerant el reactor a 30°C, s'obté **0,38 m³ de metà / kg DQO eliminat**.

La taula B6.10 mostra alguns resultats mitjans de producció de biogàs obtinguts en el tracta-

ment de residus de la indústria agroalimentària, llots de depuradora i fracció orgànica de residus municipals (FORM).

El biogàs té un alt contingut en energia i pot ser utilitzat de moltes maneres amb un elevat rendiment, sobretot per a la producció d'electricitat, per cuinar, escalfar, assecar, etc. El contingut d'energia del biogàs depèn de la quantitat de metà que conté, i presenta uns valors d'entre 5,5 i 7,0 kWh/m³, amb un valor mitjà d'uns 6 kWh/m³. A la taula B6.11 es comparen algunes propietats del biogàs amb les d'altres gasos combustibles amb elevat contingut energètic. Es pot

Tipus	Contingut orgànic	Sòlids volàtils (%)	Producció de biogàs (m ³ /tona de residu)
Intestins + continguts	HC, proteïnes, lípids	15-20	50-70
Fangs de flotació	65-70% proteïnes 30-50% lípids		
Olis de peix	30-50% lípids	80-85	350-600
SÈRUM	75-80% lactosa 20-25% proteïnes	7-10	40-55
SÈRUM concentrat	75-80% lactosa 20-25% proteïnes	18-22	100-130
Hidrolitzats de carn i ossos	70% proteïnes 30% lípids	10-15	70-100
Melmelades	90% sucres, àcids orgànics	50	300
Oli de soja / margarines	90% olis vegetals	90	800-1000
Begudes alcohòliques	40% alcohol	40	240
Llots residuals	HC, lípids, proteïnes	3-4	17-22
Llots residuals concentrats	HC, lípids, proteïnes	15-20	85-110
FORM separada en origen	HC, lípids, proteïnes	20-30	150-240
Residus ramaders + residus indústria agroalimentària			40
Residus ramaders			10-27

Taula B6.10. Producció de biogàs d'alguns residus orgànics.
Font: Flotats, 2001.

observar que el biogàs té un contingut d'energia en relació al volum considerablement més baix que el gas natural, propà i metà, però el doble que el de l'hidrogen.

Amb una densitat d'1,2 kg/m³, el biogàs és una mica més lleuger que l'aire. Aquest fet és molt important, ja que és per això que no es pot concentrar al terra o a profunditats com el propà. En agafar alçada es barreja molt més amb l'aire, per la qual cosa el perill d'incendi o explosió disminueix. La temperatura d'ignició és de 700°C (relativament elevada) i això és favorable des del punt de vista de les mesures de seguretat.

Amb una velocitat màxima de combustió a l'aire de 0,25 m/s, es fa evident l'elevat contingut en elements combustibles, determinat per la quantitat de CO₂. El biogàs té uns límits de combustió molt estrets. Això vol dir que només crema quan el contingut en gas a la barreja de gas i aire es troba entre el 6-12%. En comparació, el propà i, sobretot, l'hidrogen tenen límits de combustió considerablement més amplis, que comporta un risc d'explosió i incendi més elevat.

La necessitat teòrica d'aire per a una combustió completa (contingut estequiomètric) és d'uns 5,7 m³ d'aire per cada m³ de biogàs. A la pràctica, es necessita entre un 20 i un 30% d'excés d'aire, ja que una barreja ideal de gas i aire al

cremador o al motor és pràcticament impossible.

En comparació amb l'energia solar i eòlica, el biogàs té l'avantatge de ser una forma d'energia que flueix d'una forma relativament regular i, per tant, que es pot emmagatzemar.

Al contrari, quan es recull el biogàs en un contenidor hermètic, l'energia química continguda als enllaços es pot guardar durant molt de temps i pot ser utilitzada posteriorment sense pèrdues. Un altre avantatge en relació als combustibles consistents o fluids és l'elevat contingut del metà (CH₄) en hidrogen, les quatre molècules del qual reaccionen amb l'oxigen de l'aire per donar aigua (H₂O), mentre només una molècula de carboni reacciona per donar diòxid de carboni (CO₂). L'inconvenient principal del biogàs és la quantitat d'energia relativament baixa que conté en relació al seu volum. Així, el contingut d'energia d'1m³ de biogàs equival només al de 0,6-0,7 litres de fuel – oil. Per això es requereix un dipòsit d'emmagatzematge de gran volum per poder guardar el gas sense pressió.

El gas que s'obté del sistema de fermentació ha de ser condicionat pel seu ús per tal de permetre una operació automàtica i segura de l'equipament implicat. Tot i que tots els passos del condicionament no sempre són necessaris, sempre

	Unitats	Biogàs	Gas natural	Propà	Metà	Hidrogen
Contingut energètic	KWh/m ³	6	10	26	10	3
Densitat	kg/ m ³	1,2	0,7	2,01	0,72	0,09
Densitat gas/ densitat aire		0,9	0,54	1,51	0,55	0,07
Temperatura d'ignició	°C	700	650	470	650	585
Límit d'ignició del gas a l'aire	%	6-12	5-15	2-10	5-15	4-80

Taula B6.11. Dades tècniques de la combustió del biogàs (Composició: 60% metà, 38% diòxid de carboni, 2% altres gasos) en comparació amb altres gasos combustibles.

Font: Arimon, 2002.

s'han d'incloure provisions per al drenatge de condensats.

El procés de digestió anaeròbia permet tractar un gran nombre de residus: agrícoles i ramaders, industrials orgànics, aigües residuals urbanes i industrials, fangs d'estacions depuradores i la fracció orgànica dels residus sòlids urbans.

La quantitat i qualitat del biogàs produït depèn de la quantitat i la composició del substrat a descompondre. Així, amb material ric en hidrats de carboni i proteïnes, la producció de gas és notablement baixa comparada amb substrats rics en greixos. Les proteïnes i els greixos comporten un elevat contingut en metà al gas final. Amb substrats rics en hidrats de carboni, com els fems de vaca, el blat de moro, etc., la qualitat del gas obtingut és pitjor.

B6.3.2. Quantificació de la producció i consum de biogàs a Catalunya

A Catalunya actualment es produeix i s'utilitza biogàs (entenent com a utilització també la presència de motors de cogeneració amb aquest fi, tot i que no es trobin en funcionament) a dues plantes de metanització de purins, dues instal·lacions de tractament de fangs de depuradora i un ecoparc, a més dels abocadors ja esmentats en l'apartat anterior.

A les depuradores o estacions depuradores d'aigües residuals (EDAR) de Girona i de Reus també es fa digestió anaeròbia dels fangs i s'aprofita el biogàs. En el moment de tancar la redacció d'aquest capítol, estan en construcció les instal·lacions per a l'aprofitament del biogàs a les EDAR de Lleida, Manresa, Gavà i Montornès, i se'n preveu la construcció a les EDAR d'Igualada i de Vilafranca del Penedès.

L'Ecoparc I de la Zona Franca de Barcelona és el primer dels quatre ecoparcos previstos a Catalunya per al tractament integral dels residus i, bàsicament, de la matèria orgànica obtinguda a través de la recollida selectiva. Els seus objectius

són maximitzar la producció de biogàs mitjançant la digestió anaeròbia dels residus orgànics i elaborar compost d'alta qualitat amb el material digerit, per tal de retornar la matèria orgànica al sòl i respectar el seu cicle natural. L'etapa de la digestió anaeròbia es va posar en funcionament a finals de l'any 2001 tractant 1.000 t/d, i els motors de cogeneració treballen des del gener de 2002, a una potència inferior a la dissenyada. L'Ecoparc I està dissenyat per tractar 300.000 t/any de residus orgànics en 4 digestors, 18 túnels de compostatge i diferents línies de selecció dels materials. Cada digestor té una capacitat de 6.700 m³ de capacitat i produirà 14 milions de m³ de biogàs, que els motors de cogeneració transformaran en 22 milions de kWh. El compostatge del material fermentat, juntament amb el compostatge de la matèria orgànica recollida selectivament, permetrà obtenir 55.000 tones anuals de compost. Finalment, quan la instal·lació estigui a ple rendiment s'hi obtindran unes 150.000 tones (50% de l'entrada) d'impropis (materials de rebuig). Durant alguns mesos del primer semestre de l'any 2002 s'ha superat el 50% de rebuig.

Només hi ha tres plantes de tractament de purins amb digestió anaeròbia i aprofitament del biogàs a Catalunya: Mas el Cros (la Garrotxa), Juneda I i Juneda II (Urgell). Mas el Cros és una planta individual de tractament de purins mitjançant digestió anaeròbia, on el biogàs es crema en una caldera per obtenir aigua calenta que es fa servir per escalfar les naus de la granja de porcs. Juneda I, en canvi, és una planta centralitzada de tractament de purins on el biogàs obtingut es barreja amb una quantitat molt important de gas natural per tal d'obtenir electricitat i calor als motors de cogeneració que té instal·lats. La planta de Juneda II és de les mateixes característiques que Juneda I.

Els avantatges de la tecnologia de producció de biogàs no són només la generació d'una energia neutral des del punt de vista d'emissions de CO₂, sinó també la disminució de les olors que

es desprenen del material fermentat, així com l'eliminació de les emissions de metà i d'òxid de nitrogen, la reducció dels patògens, l'estalvi de fertilitzants, la reducció de l'àrea destinada a l'abocament de residus i la protecció de les aigües subterrànies i de l'aire.

B6.3.3 Accions de mitigació

El biogàs dóna energia barata i fàcilment disponible en forma de calor i electricitat, utilitzant residus orgànics que, d'altra banda, i tal com s'ha vist, podrien generar emissions no desitjables a l'atmosfera. Les accions de millora han d'anar dirigides a garantir l'aprofitament del biogàs, molt especialment les EDAR que encara estan cremant (sense aprofitament energètic) el biogàs dels digestors de fangs.

B6.4. El compostatge

El compostatge és un procés aerobi que dóna com a producte final un adob: el compost. Es tracta de la descomposició biològica aeròbica de residus orgànics en condicions controlades, que dóna com a resultats una reducció en el contingut orgànic del material residual i una reducció del seu volum. És important apuntar que la reducció en volum està al voltant del 50%, i la reducció en pes del 40%. Això vol dir que una part important de la matèria orgànica inicial passa a emissions de CO₂, tal com s'ha indicat a la taula B6.8.

El compost és el producte final que resulta de la descomposició aeròbica dels residus orgànics per l'activitat de multitud d'organismes en condicions controlades d'aire, d'humitat i de temperatura. Aquest producte es caracteritza per ser un material ric en humus, semblant a la terra negra del bosc, higienitzat, solt, porós, amb capacitat de retenir la humitat i l'ús del qual pot resultar beneficiós per al sòl i el desenvolupament de les plantes.

En el moment de tancar la redacció d'aquest capítol, a Catalunya hi ha un total de catorze plantes de compostatge, incloent-hi les que estan en fase de construcció (finals de l'any 2000) i

5 més en tràmit. A finals del 2000, la capacitat de les plantes de compostatge era de 123.000 tones (molt superior a la matèria orgànica recollida selectivament aquell mateix any, que fou només de 32.303 tones). Les previsions del PROGEMIC eren que a finals de l'any 2003 la capacitat de tractament s'hagués duplicat i que el 2006 arribés a les 342.000 tones, sense comptar la part de compostatge que també hi ha als ecoparcs de Barcelona. És per això que la valorització de la matèria orgànica mitjançant el compostatge esdevindrà el procés més important en els propers anys si es compleixen les previsions.

Des del punt de vista de les emissions, el compostatge és un procés generador d'emissions de CO₂ en menor quantitat que els abocadors i les incineradores, tot i que presenta altres avantatges ambientals. En el futur, aquest procés anirà en augment a mesura que s'incrementi la recollida separada de la matèria orgànica.

B6.5. Les aigües residuals

La fracció líquida dels residus generats per un nucli de població es coneix amb el nom d'aigües residuals. Aquestes aigües residuals provenen dels diferents usos de l'aigua: domèstic o urbà i industrial. El creixement de la població i la industrialització han generat un augment de la demanda d'aigua, així com un augment del seu abocament un cop utilitzada. Per poder abastar tot el subministrament necessari i protegir el medi ambient dels abocaments d'aigües residuals, cal fer-ne un tractament adequat, partint de la premissa d'un ús més racional de l'aigua, tant domèstica com industrial.

Actualment, l'objectiu principal d'un tractament o d'una depuració d'aigües residuals és l'obtenció d'un efluent que no provoqui impactes greus sobre el medi receptor (un riu, un aquífer o el litoral), encara que amb la perspectiva del desenvolupament sostenible caldria depurar-les per poder-les reutilitzar i, d'aquesta manera, disminuir l'ús dissipatiu d'un bé escàs.

La responsabilitat dels països rics en la preservació dels recursos és essencial, tant des del punt de vista de la quantitat com de la qualitat. La reglamentació europea fixa unes normes mínimes de tractament que obligaran, a partir de l'any 2005, que tots els municipis de més de 2.000 habitants tractin les seves aigües residuals en una planta depuradora. Per sota d'aquest nombre d'habitants només s'exigirà un tractament «adequat».

Les fonts de contaminació de l'aigua són moltes. Les aigües residuals tenen constituents químics, orgànics i inorgànics, així com constituents biològics, en diferents concentracions en funció del seu origen. Els contaminants més importants són:

- Sòlids en suspensió.
- Matèria orgànica biodegradable, constituïda principalment per carbohidrats, proteïnes i lípids.
- Matèria orgànica no biodegradable, constituïda per productes sintetitzats en l'activitat industrial, com tensioactius, fenols, pesticides, etc.
- Microorganismes patògens, com els presents en els residus d'origen fecal o en alguns residus industrials, que poden causar malalties.
- Contaminants tòxics, que afecten l'activitat biològica, com poden ser metalls, colorants industrials, productes cancerígens, etc.
- Metalls pesats, que procedeixen de l'activitat industrial.
- Nutrients, principalment nitrogen i fòsfor, que són necessaris per als microorganismes i per a la vida de qualsevol ecosistema, però que en quantitats excessives alteren l'equilibri del medi aquàtic.

Per aconseguir el grau adequat d'eliminació d'aquests contaminants, a les EDAR es realitzen una sèrie d'operacions i processos, que es poden classificar en:

1) Les **operacions bàsiques**: són els tractaments aplicats a l'aigua que es fonamenten en

principis o lleis físiques, com són la sedimentació, la filtració, l'adsorció, entre altres.

- 2) Els **processos químics**: són els tractaments en què la qualitat de l'aigua es modifica per efecte d'una reacció química; suposen afegir-hi un o més d'un reactiu químic. És el cas de la precipitació, la coagulació, la desinfecció, entre altres.
- 3) Els **processos biològics**: són els tractaments realitzats per microorganismes mitjançant reaccions bioquímiques, com són els tractaments aerobis (per exemple, llots activats) i anaerobis.

Aquestes operacions i processos s'apliquen, de forma combinada, a les EDAR, on el tractament de les aigües residuals contempla les etapes següents:

1. **Pretractament**: elimina els sòlids més grans. Consta de les operacions de desbast, desarenat i, en alguns casos, eliminació de greixos.
2. **Tractament primari**: reté els sòlids en suspensió continguts a l'aigua. Es realitza per sedimentació, tant en fosses sèptiques com en llacunes, depuradores de fangs activats, etc.
3. **Tractament secundari**: elimina la matèria orgànica dissolta a l'aigua per mitjà de processos biològics. Per crear un ambient adequat per al desenvolupament d'aquests bacteris, s'ha d'aportar oxigen, per aeració mecànica en les depuradores amb fangs activats o a través de plantes aquàtiques, de manera similar a com es produeix la depuració natural.
4. **Tractament terciari**: elimina el nitrogen i fòsfor, a més d'altres contaminants, per aconseguir la qualitat final desitjada. Són tractaments complementaris per eliminar compostos de nitrogen fins a nitrogen gas, en diferents etapes, que inclouen la nitrificació i la posterior desnitrificació. El fòsfor no es pot transformar en gas, però pot precipitar-se químicament o acumular-se en els llots.

Amb el tractament convencional que rep l'aigua a les EDAR no n'hi ha prou per obtenir una qua-

litat higiènica suficient, és a dir, lliure de patògens. Per aconseguir aquesta qualitat, l'aigua ha de rebre un tractament complementari de desinfecció amb raigs ultraviolats, ozonització, cloració, llacunatge i filtres vegetals, entre altres.

B6.5.1. Emissions generades

La *Directiva 91/271/CEE del Consell, de 21 de maig, sobre el tractament de les aigües residuals* requereix que les aigües residuals siguin sotmeses a una depuració secundària abans de ser abocades al medi natural i que en les zones sensibles es realitzi un tractament terciari. Els processos biològics generen emissions, tal com s'ha explicat en apartats anteriors, però ara aplicat a les aigües. En el cas del procés aerobi, cal remarcar que en les EDAR l'objectiu és assolir degradacions de la matèria orgànica quasi totals, per la qual cosa tota la matèria orgànica s'oxidarà per donar CO₂. Al mateix temps, els compostos més difícils de degradar generen emissions de COV.

L'aigua tractada torna al medi natural, però les EDAR també produeixen llots, el destí dels quals actualment és un problema per la gran producció que se'n fa. Un metre cúbic d'aigua tractada produeix entre 350 i 400 grams de llots, i aquesta quantitat s'incrementa en augmentar el tractament de les aigües residuals.

En les EDAR, els llots que es produeixen en el tractament secundari es digereixen anaeròbicament per reduir part de la seva càrrega orgànica i, principalment, per reduir el seu volum abans de realitzar un post-tractament que permetrà la seva gestió. Aquest post-tractament pot ser l'eliminació del contingut d'aigua per filtració o centrifugació o, en alguns casos, es pot realitzar un tractament tèrmic o biològic (compostatge) per convertir el llot en adob. En el pitjor dels casos, aquest llot anirà a parar a un abocador.

Encara que la majoria de les plantes depuradores tenen com a objectiu l'eliminació de la matèria orgànica, s'han d'adaptar a la nova normativa d'eliminació de nutrients, en especial el nitro-

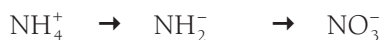
gen. En les aigües residuals el nitrogen pot trobar-se principalment en forma de:

- Nitrogen orgànic (present en aigües residuals urbanes en concentracions entre 10 i 20 mg/l)
- Nitrogen amoniacal (en concentracions entre 30 i 65 mg/l)
- Nitrogen nítric (en concentracions entre 0,5 i 1 mg/l).

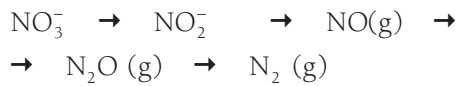
El nitrogen orgànic està constituït fonamentalment per urea i proteïnes. Les aigües residuals urbanes abans d'arribar a la planta depuradora són abocades a la xarxa de clavegueram i la descomposició bacteriana i la hidròlisi poden convertir aquest nitrogen orgànic en nitrogen amoniacal abans d'arribar a la planta depuradora.

Els compostos de nitrogen dissolts es troben majoritàriament en forma de nitrogen amoniacal. En el suposat que es donessin les condicions ambientals aeròbies, el nitrogen amoniacal passaria a nitrat, però aquesta transformació és improbable ja que la concentració d'oxigen és molt baixa com a conseqüència de l'elevada demanda per degradar la matèria orgànica. La quantitat de nitrat present en l'aigua residual a l'entrada de l'EDAR és menyspreable, ja que la xarxa de clavegueram pot ser utilitzada com acceptor d'electrons en absència d'oxigen. En condicions anaeròbies, el nitrogen amoniacal resta en solució.

A les EDAR, per eliminar el contingut en nitrogen de les aigües residuals es realitza un tractament biològic de nitrificació i desnitrificació (Henze, M., 1997). La nitrificació és la transformació de nitrogen amoniacal a nitrat. Els bacteris *Nitrosomonas* oxiden el nitrogen amoniacal a nitrit i, a continuació, els *Nitrobacter* oxiden aquest nitrit a nitrat. Aquests bacteris són els més habituals, però a la natura el procés de nitrificació es porta a terme de forma espontània i també s'han identificat altres gèneres de bacteris que la realitzen.



Els bacteris responsables del procés de desnitrificació utilitzen el nitrat en lloc de l'oxigen com acceptor d'electrons, transformant-lo en òxids de nitrogen i nitrogen gas.



L'òxid de nitrogen (N_2O) és un dels gasos que més contribueixen a l'efecte d'hivernacle. Està present en l'atmosfera a una concentració aproximada de 310 ppb i s'estima que és responsable del 5% de l'efecte d'hivernacle, a més de contribuir a la destrucció de l'ozó estratosfèric.

Els processos de tractament d'aigües residuals, amb eliminació de nitrogen, són una de les fonts antropogèniques de N_2O que poden tenir un efecte important en la generació del canvi climàtic, tenint en compte l'augment del nombre d'EDAR que utilitzaran els processos biològics de nitrificació-desnitrificació per complir les normes i obtenir efluentes de qualitat.

El N_2O produït s'allibera en forma de gas (99,5%) o resta dissolt en l'aigua i posteriorment és reduït. Hi ha pocs treballs que quantifiquin acuradament l'emissió de N_2O per part de les EDAR. S'estima que les emissions de N_2O estan compreses en un rang que va dels 4,4 als 1.190 g N/m^3 d'aigua residual, que correspon a una conversió del nitrogen de l'aigua residual a $\text{N}-\text{N}_2\text{O}$ d'entre el 0,24 i el 55% (Itokawa, H. 1996). Per tant, les dades amb què es compta encara són poques i difícils de generalitzar. Aquests valors suggereixen, si es confirma de cara al futur, que les plantes de tractament d'aigües residuals amb eliminació de nitrogen contribuiran significativament a les emissions globals de N_2O .

B6.5.2. Quantificació de les emissions de les EDAR a Catalunya

El Pla de Sanejament Atmosfèric de la Regió I de Catalunya fa una estimació de les emissions de les EDARS en aquesta regió. En aquest estudi es tre-

Cabal d'aigua (m ³ /any)	Emissions (t/any)		
	CO ₂	CH ₄	NO _x
400.000.000	135.640	1.480	100

Taula B6.12. Emissions generades per les EDARs de Catalunya
Font: elaboració pròpia.

balla amb factors d'emissió, per la qual cosa s'ha disposat dels factors d'emissió de VOC i benzè estimats a partir d'una sèrie d'EDAR dels Estats Units d'Amèrica, així com dels de diòxid de carboni, d'òxid de dinitrogen i de metà de l'apartat B9101 de Corinair. Els factors d'emissió americans depenen del tipus de tractament de les EDAR, mentre que el Corinair no ho té en compte ja que es refereix a factors globals obtinguts en dades de depuradores holandeses de l'any 1993. En el cas de Catalunya es poden estimar les emissions considerant una generació de 400 milions de metres cúbic anuals d'aigües residuals urbanes, encara que la capacitat de tractament de les EDAR sigui més gran i aplicant els factors següents: 0,3391 Kg de CO_2/m^3 d'aigua tractada, 0,0037 kg de CH_4/m^3 d'aigua tractada i 0,00025 kg de $\text{N}_2\text{O}/\text{m}^3$ d'aigua tractada (valors per a EDAR amb tractament biològic sense eliminació de nutrients). Els resultats es presenten a la taula B6.12.

B6.5.3. Accions de mitigació

Les emissions procedents de les EDAR, si bé són importants, no són significatives en el context de les emissions generades per tots els residus. Així, representen menys del 3% de les emissions totals generades pels RSU. Malgrat això, es pot proposar mesures per tal de reduir-les, algunes de les quals són:

- Utilització de decantadors, separadors i, en alguns casos, reactors coberts i dissenyats acuradament.
- Reaprofitar les aigües i ajustar els nivells de tractament a les necessitats finals del nou ús.
- Disminuir el consum d'aigua.
- Donar un destí final adequat als llots biològics.

B6.6. Residus ramaders

Tradicionalment, els agricultors han estat els defensors del sòl i del camp, gràcies a una gestió prudent i integrada de l'agricultura, la ramaderia i els residus generats. No obstant això, en els darrers 60 anys les pràctiques agrícoles s'han modernitzat i, com a conseqüència de la política agrària comunitària, s'està afavorint una producció d'aliments elevada per tal que tinguin un preu més raonable. Aquesta política ha tingut efectes secundaris negatius en algunes regions per explotació excessiva i degradació dels recursos naturals. Els residus ramaders han contaminat cada cop més el sòl i, per filtració, les aigües subterrànies, i l'ús excessiu de fertilitzants, compostos de nitrogen i fòsfor, ha tingut com a conseqüència l'eutrofització de les aigües.

En un estudi realitzat l'any 1986 pel Ministeri d'Obres Públiques i Urbanisme (actualment Ministeri de Foment) del Govern espanyol es va detectar que un 20% dels municipis de l'Estat tenia problemes ambientals greus. Els problemes més greus dels municipis de menys de 20.000 habitants, que representen aproximadament el 97% dels municipis de tot l'Estat espanyol, eren els de les aigües residuals, la contaminació de les platges, els residus sòlids urbans i els derivats de les activitats ramaderes.

L'activitat principal que es desenvolupa en les zones rurals espanyoles se centra en el sector primari –agricultura i ramaderia–. En el cas de la província de Barcelona, fins i tot, on es realitzen moltes activitats centrades en els sectors secundari i terciari, hi ha més d'un 40% de municipis en què l'activitat principal està relacionada amb l'agricultura i la ramaderia, i que tenen menys de 20.000 habitants.

Fins a la dècada dels anys 70 del segle xx, l'activitat agrària va tenir poca influència sobre el medi ambient. De fet, els residus ramaders han estat, durant molts anys, molt preuats com a adob per al sòl. A partir dels anys 70, però, es trenca l'equilibri existent entre el nombre d'ani-

mals i la superfície agrícola, i s'ha produït la substitució de les granges de tipus familiar per grans explotacions ramaderes de caràcter intensiu. D'aquesta manera es concentra un gran nombre d'animals sense terreny agrícola i, com a conseqüència d'això, es produeix una acumulació de residus i de matèria orgànica contaminant, que afecta l'atmosfera, el sòl i les aigües (Vicent, 1993).

A Catalunya, el cas més greu d'impacte ambiental negatiu associat a la ramaderia està provocat pels purins de porc. A més d'haver passat de granges de tipus familiar a grans explotacions ramaderes, també han canviat els processos de producció o de funcionament d'aquestes instal·lacions. Un dels fets que més ha repercutit en el medi ambient és que els residus generats cada cop són més líquids, ja que això facilita la seva manipulació, transport, etc. i permet reduir el nombre de treballadors.

Entre les possibles opcions de tractament de purins, es pot destacar la depuració biològica (digestió anaeròbia per reduir la càrrega de nitrogen), obtenint biogàs, el tractament químic del purí per neutralitzar els possibles elements contaminants o l'assecatge tèrmic, amb l'ús posterior del purí sòlid obtingut com a adob en zones agrícoles deficitàries en nitrogen. La gestió dels purins comporta la seva reducció, aplicació directa al camp i el tractament de l'excedent.

S'estima que a Catalunya es generen 6.939.243 tones/any de fems i 12.507.217 m³/any de purins. Actualment tenen dos destins principals: l'adob dels conreus i el tractament en centres de recollida i processament dels excedents.

La planta de tractament de purins amb obtenció de biogàs Juneda I és un exemple de gestió i aprofitament dels residus amb benefici econòmic derivat de la venda de l'electricitat obtinguda al final del procés. La instal·lació, que funciona des de l'agost del 2001, tracta unes

100.000 tones anuals de purins, que són desarenats i conduïts, posteriorment, a uns tancs d'emmagatzematge fins al moment de la seva introducció a un dels dos digestors de què disposa la planta. La digestió anaeròbia de la matèria orgànica es produeix en un reactor continu de tanc agitat, amb un temps de residència d'uns 20 dies. La fracció líquida dels purins ja digerits pateix, en primer lloc, una extracció de les sals i, posteriorment, una evaporació, mentre la fracció sòlida se sotmet a un assecat i passa a ser un residu sòlid que té com a destí final l'abocador.

El biogàs obtingut (aproximadament 20 m³/m³ de puri tractat) presenta un contingut d'entre 65 i 70% de metà i només unes 2.000 ppm d'àcid sulfhídric. El gas és emmagatzemat en un tanc o portat als motors de cogeneració, on només representa el 6% del gas total, ja que el 94% restant és gas natural. Com a producte final de tot el procés s'obté vapor i electricitat, de la qual s'arriben a produir fins a 13,6 MW.

B6.7. Conclusions i escenaris

Els residus que més contribueixen a les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle són els RSU que es gestionen a través d'abocador (75% de les emissions totals dels residus), els RSU que es gestionen a través d'incineració (23%) i les aigües residuals tractades en EDAR (2%). Com que els RSU són els més importants, en aquest apartat s'analitza l'escenari de futur previst pel PROGEMIC.

La *Directiva 91/271/CEE del Consell, de 21 de maig, sobre el tractament de les aigües residuals* exigeix una depuració secundària de les aigües residuals abans d'abocar-les al medi natural i realitzar-ne un tractament terciari en les zones sensibles. Els processos biològics generen emissions. L'aigua tractada torna al medi natural, però les EDAR produeixen llots, el destí dels quals actualment és un problema per la seva gran producció. En les EDAR, els llots que es produeixen en el tractament secundari es dige-

reixen anaeròbicament per reduir part de la seva càrrega orgànica i, principalment, per reduir-ne el volum, abans de realitzar un post-tractament que permetrà la seva gestió última. Aquest post-tractament pot ser l'eliminació del contingut d'aigua per filtració o centrifugació o, en alguns casos, es pot realitzar un tractament tèrmic o biològic (compostatge) per convertir el llot en adob. En el pitjor dels casos aquest llot anirà a parar a un abocador.

El principal problema per quantificar les emissions generades per les aigües residuals és la manca de dades sobre els cabals tractats. Les EDAR són dissenyades tenint en compte la població equivalent, per poder donar resposta a puntes de cabals diàries i estacionals. Per tant, no es pot assimilar capacitat de tractament a aigua tractada, ja que les emissions les genera, precisament, l'aigua tractada. Les emissions s'han de quantificar treballant amb un cabal d'aigua tractada conservador, obtingut a partir de la població servida.

Les aigües residuals tractades en EDAR tenen una aportació petita a les emissions globals dels residus (2%). En aquest cas no s'analitza cap escenari, tot i que es poden treure conclusions importants:

- Es preveu un increment de les emissions generades en els propers anys.
- La posada en funcionament de l'EDAR del Baix Llobregat fa augmentar entre un 10 i un 15% les emissions respecte a l'any 2000, ja que amb aquesta depuradora augmenten considerablement les aigües tractades.
- L'adaptació del funcionament de nombroses EDAR per a l'eliminació de nutrients en els propers anys també farà augmentar lleugerament les emissions.

Els purins són un altre grup de residus que, en el futur, veuran com se'n canvia el model de gestió. Per tant, es preveu un escenari teòric on tots els purins serien gestionats mitjançant tractament

anaerobi, i es compara les previsions que fa l'ICAEN per aquest mateix residu (en l'horitzó de l'any 2010).

Dels residus generats a Catalunya (taula B6.1), els que contenen la major part de matèria orgànica són els residus municipals i els ramaders. De RSU se'n generen 3,5 milions de tones i, de residus ramaders, més de 13 milions de tones.

El destí dels residus produïts a Catalunya són els abocadors, les plantes depuradores d'aigües residuals, les plantes de metanització, les plantes incineradores i les plantes de compostatge.

B6.7.1. Generació de RSU i objectius del PROGREMIC els anys 2003 i 2006

Els residus sòlids urbans (RSU) són el conjunt de residus produïts a les llars, als comerços, a les oficines i al sector dels serveis, així com també els procedents de la neteja de carrers, parcs i jardins. A partir de l'any 2003 s'intenta separar de la resta de RSU els generats per comerços i serveis per tal de poder millorar la resta de fraccions. A Catalunya, la producció de RSU ha augmentat un 50% durant l'última dècada.

L'alimentació mediterrània és abundant en verdures i fruites, i és la causa que en aquesta zona es generin els residus amb més proporció de matèria orgànica fresca de tota la Unió Europea. En xifres absolutes, la quantitat és d'uns 600 grams per persona i dia, i representa el 45% en pes del total dels residus produïts.

Actualment, l'abocament controlat dels residus municipals és la via més utilitzada per a aquest tipus de residu, que l'any 2000 va representar el 65,3% dels residus municipals generats. Hi ha més de 32 dipòsits en funcionament al llarg de la geografia catalana.

Als abocadors, la matèria orgànica que no ha estat estabilitzada prèviament experimenta una descomposició anaeròbia, que genera biogàs i

un lixiviat. Aquesta descomposició és lenta i pot durar dècades. El biogàs està format de CO₂ (40%) i CH₄ (60%), però la presència de components minoritaris pot ocasionar problemes de corrosió en les canonades de recollida del biogàs i els seus equips i en el seu aprofitament energètic.

El volum de gasos emesos en abocadors es pot estimar a través de diverses metodologies i a partir de dos criteris diferents:

- a) Emissions totals aportades pels residus durant tot el període d'estada en l'abocador, comptabilitzades o imputades en el moment d'introduir el residu a l'abocador. Aquesta és l'opció de l'IPPC. Aquestes emissions segueixen la mateixa evolució que la quantitat de residus que van a l'abocador i es presenta a la figura B6.3.
- b) Emissions generades per l'abocador a causa dels residus que conté i que, per tant, com que un residu evoluciona durant 10-20 anys també ho fan les emissions que genera. L'evolució de les emissions estimades generades pels abocadors en el període 1998-2002, segons el model triangular, es presenta a la figura B6.4.

Tal com s'ha vist, la normativa europea i la planificació del PROGREMIC ajudaran a fer disminuir les emissions en el futur. Les mesures de mitigació proposades s'implantaràn fàcilment en els abocadors de nova construcció, però caldria fer un esforç suplementari per implantar-les en els abocadors als quals els resten pocs anys de vida. Igualment, caldrà fer un seguiment acurat dels abocadors que s'han anat tancant en aquests darrers anys.

El canvi més significatiu que suposarien les mesures proposades a l'apartat de mitigació (B6.2.3) és l'aprofitament energètic del biogàs. No n'hi ha prou amb recollir-lo, sinó que cal obtenir-ne energia per tal de poder substituir altres emissions. És a dir, convertir el biogàs en recurs, que

pot fer una aportació important al sector energètic.

Un altre problema pot ser l'efectivitat de les xarxes de recollida o captació del biogàs en el vas de l'abocador. Sovint s'és massa optimista i cal esperar rendiments baixos.

En el camp dels residus, és difícil fer previsions a partir de les planificacions fetes. Les dades amb què es compta sovint no són massa fiables fins després de dos o tres anys. La incertesa neix des de l'origen: no es disposa d'estudis periòdics i territorials sobre la composició de les deixalles.

Pel que fa a l'evolució dels RSU, les previsions que fa el PROGEMIC es presenten en la taula B6.13. Els objectius de valorització s'han presentat anteriorment, en l'apartat d'abocadors.

D'aquesta manera, la gestió dels residus municipals als anys 2003 i 2006 es duria a terme en les plantes planificades a tal fi, i els objectius específics queden recollits a la taula B6.14.

En aquest escenari del PROGEMIC, la valorització energètica es manté semblant a la que hi havia l'any 2000. La previsió de tones tractades de cara a l'any 2003 era de 704.000 tones, mentre que per a l'any 2006 era de 747.000. L'any 2000 se n'havien tractat 700.000. Per tant, es considera que les emissions objecte d'aquest estudi variaran poc.

L'abocament controlat disminuirà i es passarà dels 3 milions de tones de l'any 2000 a la meitat, l'any 2003, i a una tercera part de cara a l'any 2006. Per tant, les emissions també es veuran reduïdes. Ara bé, les emissions reals de diòxid de carboni i de metà generades als abocadors continuaran augmentant a causa de la matèria orgànica que encara hi ha als abocadors. Un altre factor que podria tenir incidència és la variació en la composició de la fracció de deixalles que aniran a l'abocador. Si la recollida selectiva s'acaba d'implantar i s'aplica correctament la *Directiva*

1999/31/CE, de 26 d'abril de 1999, relativa a l'abocament de residus, el contingut de matèria orgànica es reduirà.

D'aquesta manera, les emissions dels abocadors anirien augmentant i, per exemple, segons el model LanGEM (CAA) l'any 2007 s'emetrien 143,6 milions de metres cúbics de CH₄, que equivalen a un 95.790 tones d'aquest gas. És a dir, un 50% més que l'estimat amb el mateix model per a l'any 2002. Ara bé, si durant aquest període els abocadors en funcionament es condicionaven per a la recollida del biogàs i es duia a terme el seu aprofitament energètic, s'assoliria una reducció considerable. Aquesta reducció només dependria del grau o percentatge de recollida de biogàs en els abocadors, que es podria situar al voltant del

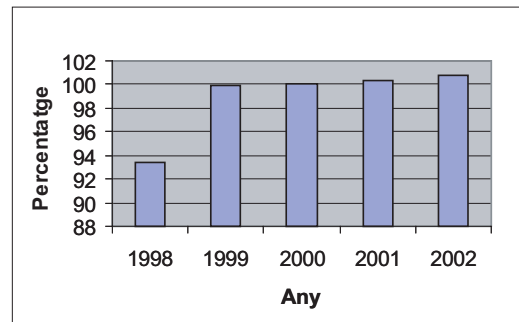


Figura B6.3. Evolució de les emissions generades pels residus dipositats en abocador durant el període 1998-2002 (respecte l'any 2000). Font: elaboració pròpia.

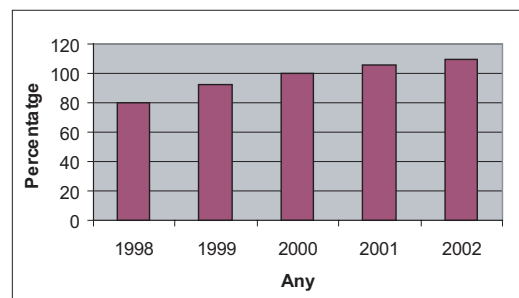


Figura B6.4. Evolució de les emissions generades pels residus dipositats en abocadors durant el període 1998-2002 (respecte l'any 2000) segons el model triangular. Font: elaboració pròpia.

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
GENERACIÓ RMO (t)	3.185.241	3.155.584	3.221.462	3.287.838	3.354.714	3.422.088	3.489.962	3.557.885
Recollida residus comercials (% sobre res. municipal)	0	0	0	0	0	0	0	0
Recollida residus comercials (t)	0	0	72.483	147.953	251.604	333.654	418.795	533.683
Residus domiciliaris (t)	3.185.241	3.155.584	3.148.979	3.139.886	3.103.110	3.088.435	3.071.166	3.024.202
Població	6.143.384	6.155.000	6.185.800	6.216.600	6.247.400	6.278.200	6.309.000	6.339.000

Taula B6.13. Previsions de generació de residus pel període 2001-2006 segons el PROGREMIC

Font: PROGREMIC.

35%. La recollida del biogàs i la seva combustió en torxa ja suposa una reducció dels efectes de les emissions en un factor de 8 (respecte a la no recollida). Al mateix temps, si s'aprofita el biogàs per obtenir energia, el factor de reducció dels efectes és superior perquè s'ha de tenir en compte les possibles emissions que s'haurien generat en produir aquesta nova energia.

La matèria orgànica que no anirà als abocadors serà valoritzada a les plantes de compostatge, a

les plantes de metanització i als ecoparcs. Es preveu l'any 2003 que els ecoparcs tractin 310.000 tones de deixalles, mentre que 252.000 i 110.000 tones de matèria orgànica es podrien valoritzar a les plantes de compostatge i metanització, respectivament. De cara a l'any 2006 la valorització de la matèria orgànica ha d'arribar a les 744.000 tones.

A Catalunya, actualment hi ha catorze plantes de compostatge, incloent-hi les que estan en fase

	2003		2006	
	Objectius	ktona	Objectius	ktona
TOTAL Valorització material MO ⁽¹⁾	40%	510	55%	744
Capacitat de les plantes projectades				
Plantes de compostatge		252		342
Plantes de metanització		110		190
Ecoparcs		310		470
Total Valorització energètica	21%	704	21%	747
Deposició controlada. Rebuig	43%	1.451	31%	1.107
GENERACIÓ total de residus		3.355		3.558

1) La valorització de la matèria orgànica inclou compostatge i digestió anaeròbia.

Taula B6.14. Objectius de gestió de residus municipals pels anys 2003 i 2006 segons el PROGREMIC

Font: PROGREMIC.

de construcció (finals anys 2000), i 5 més en tràmit. A finals del 2000 la capacitat de les plantes de compostatge era de 123.000 tones (molt superior a la matèria orgànica recollida selectivament en aquell any, que fou només de 32.303 tones). Les previsions del PROGEMIC eren que, a finals del 2003, la capacitat de tractament s'hagués duplicat i que el 2006 aquesta arribés a les 342.000 tones. És per això que la valorització de la matèria orgànica mitjançant el compostatge esdevindrà el procés més important en els propers anys, de complir-se les previsions.

Des del punt de vista de les emissions, el compostatge és un procés que genera menys emissions de CO₂ que els abocadors i les incineradores, tot i que més que la metanització, encara que presenta altres avantatges ambientals. En el futur, aquest procés augmentarà a mesura que s'incrementi la recollida separada de la matèria orgànica.

Evidentment, les instal·lacions previstes tenen una capacitat de tractament superior als objectius de valorització fixats. Cadascun d'aquests processos representa millores, respecte als abocadors, pel que fa a emissions de CO₂ i CH₄.

Les projeccions futures, doncs, apunten a un increment moderat en la generació de residus, que anirà acompanyat d'un fort augment de la seva valorització material i, per tant, es produirà una disminució en la quantitat i concentració de matèria orgànica que es diposita als abocadors. Al mateix temps, es millorarà la gestió de les deixalles i, molt especialment, les plantes de tractament i abocament final. La implantació de la metanització permetrà reduir considerablement els efectes de les emissions del CH₄. Malgrat tot, aquestes millores només generaran reduccions reals a mitjà termini si es recull el biogàs dels actuals i futurs abocadors i se'n recupera una part. L'any 2006 només es valoritzarà el 55% de la matèria orgànica i, per tant, encara hi haurà una fracció molt important que tindrà com a destí final l'abocador.

Així, en els propers anys es podrien reduir les emissions equivalents de diòxid de carboni en percentatges elevats, ja que el punt de partida era el pitjor dels pitjors escenaris possibles: el 65% dels residus urbans l'any 2000 anaven a abocador i, de la resta, una part molt important anava a incineració. De cara al 2006, un 40% de la matèria orgànica s'ha de valoritzar mitjançant metanització (les emissions tenen efectes positius ja que substitueixen altres emissions per obtenir energia) i compostatge (redueixen els efectes de les emissions respecte a l'abocador unes 10 vegades), i ambdós processos suposaran reduccions globals considerables. Encara quedarà, però, una part important de matèria orgànica que anirà als abocadors. Per tal que els processos de metanització i, sobretot, el de compostatge, funcionin correctament és molt important dur a terme la recollida selectiva d'aquesta fracció de forma acurada. En aquest cas, la responsabilitat recau en la planificació i el comportament ciutadà. I per tal que els abocadors puguin reduir els efectes de les seves emissions cal que estiguin dissenyats i funcionin correctament i, molt especialment, que es recuperi adequadament el biogàs.

El temps necessari per implantar les instal·lacions noves i millorar les actuals fa preveure que les principals reduccions es produiran a partir del 2006. La planificació del PROGEMIC és adequada per reduir les emissions, tot i que podria plantejar, fins i tot, objectius més ambiciosos en quant a instal·lacions. Ara bé, no és clar que aquests objectius s'assoleixin el 2006.

El procés de digestió anaeròbia té un paper cabdal en la reducció de les emissions, ja sigui perquè es porta a terme als abocadors o perquè és un dels tractaments proposats per valoritzar la matèria orgànica.

El biogàs té un alt contingut en energia i pot ser utilitzat de moltes maneres, amb un elevat rendiment, sobretot per a la producció d'electricitat, per cuinar, escalfar, assecar, etc. El contingut d'energia del biogàs depèn de la quantitat de metà

que conté i presenta uns valors d'entre 5,5 i 7,0 kWh/m³, amb un valor mitjà d'uns 6 kWh/m³.

Mitjançant el procés de digestió anaeròbia es pot tractar un gran nombre de residus: agrícoles i ramaders, industrials orgànics, aigües residuals urbanes i industrials, fangs d'estacions depuradores i la fracció orgànica dels residus sòlids urbans.

A Catalunya actualment hi ha producció i utilització de biogàs (entenen com utilització també la presència de motors de cogeneració amb aquest fi) a dues plantes de metanització de purins i dues instal·lacions de tractament de fangs d'EDAR i un ecoparc, a més d'uns quants abocadors.

Els avantatges de la tecnologia de producció de biogàs no són només la generació d'energia neutral des del punt de vista d'emissions de CO₂ sinó també la disminució de les olors del material fermentat, així com l'eliminació de les emissions de metà i òxid de nitrogen, la reducció dels patògens, l'estalvi de fertilitzants, la reducció de l'àrea destinada a l'abocament de residus i la protecció de les aigües subterrànies, i l'aire.

Les mesures de mitigació proposades a l'apartat B6.3.3 són conegudes i fàcils d'implementar, tot i que no s'han aplicat pels seu cost econòmic.

B6.7.2. Purins

La metanització de residus orgànics és una tecnologia plenament comercial, però poc emprada a Catalunya. Tanmateix, per la seva important activitat ramadera i la disponibilitat de plans ambientals de gestió de la fracció orgànica dels residus sòlids urbans i de les aigües residuals, Catalunya pot planificar un ambiciós programa de generació de biogàs que podria arribar a proporcionar l'any 2010 fins a 230.000 tep, pivotant principalment sobre les infraestructures ambientals actuals i les previstes.

Considerant l'important presència del sector ramader a Catalunya i l'existència de plans de gestió de purins de porc a les comarques amb més

excedents, es proposa implantar plantes de metanització als centres de tractament de dejeccions ramaderes. A més, de cara al futur caldria considerar la codigestió de residus que maximitzarà la producció de biogàs.

Els residus ramaders tenen un elevat contingut en macro i micronutrients. Així, els fangs d'estació depuradora d'aigües residuals (EDAR), la fracció orgànica de residus sòlids urbans i els residus de la indústria alimentària són aptes per mesclar-los amb els residus ramaders en el reactor anaerobi. D'altra banda, els fangs d'EDAR tenen la relació C/N baixa comparada amb els FORSU, i els residus de la indústria alimentària i són menys indicats per a la codigestió amb els purins de porc. En canvi, amb la codigestió amb FORSU i residus de la indústria agroalimentària es produeix més biogàs que per si sols.

Del potencial de producció per bestiar boví o vacu, tant sols es podrà dur a terme amb residus que es trobin en forma pastosa, ja que el contingut en palla o altres residus lignocel·lulòsics de fem sòlid fan que aquest tipus de residu sigui més indicat per al compostatge.

És interessant fer un càlcul aproximat de la potencialitat energètica total del biogàs a Catalunya a partir de les quatre fonts de matèria orgànica bàsiques en què s'ha centrat el present estudi: els residus sòlids orgànics, els residus sòlids dels abocadors, els fangs de depuradora i els purins. Les dades de partida es mostren a les taules B6.15 i B6.16.

A partir de les dades de producció de residus potencials d'obtenció de biogàs es pot estimar la «producció màxima» de biogàs que es podria donar a Catalunya a partir d'aquests substrats. Així, s'ha pres com a valor energètic del biogàs 6 kWh/m³. La seva transformació a unitats tep (1 tep= 11.620 kWh) permet fer una comparació amb els objectius proposats per l'Institut Català de l'Energia (ICAEN) en l'horitzó del 2010. Els resultats obtinguts es presenten a la taula B6.17.

Cal remarcar que la potencialitat total calculada s'ha trobat en base a la producció de residus de l'any 2000, i que aquestes dades es comparen amb els objectius de producció de biogàs previstos per al 2010, de manera que no s'ha considerat que el potencial hauria de ser encara més gran que l'obtingut, amb l'augment de la producció de residus que es preveu en els propers anys.

Per tant, les previsions del 2010 suposen menys d'un 10% del que es podria aprofitar. L'escenari energètic 2010 de l'ICAEN reflecteix un increment en les emissions de CO₂ i metà generades pels purins excedents que no podran ser abocats en el sòl, i, per tant, hauran de ser tractats en plantes d'assecat tèrmic (amb generació d'emissions de CO₂ i COV), basses, depuradores amb eliminació de nutrients, etc. La millor alternativa per pal·liar el canvi climàtic (descartada la no generació) seria la producció de biogàs, amb aprofitament energètic d'aquest.

Finalment, cal apuntar que en el camp dels purins la planificació actual no és la més adient per reduir les emissions i que caldria fer un esforç per incorporar aquestes emissions com a criteri per planificar aquest sector.

Referències bibliogràfiques

ARIMON, Lorena. *El biogàs a Catalunya: informe sobre la producció a partir de residus orgànics, utilització actual i potencialitats*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona, 2002. (Memòria projecte fi de carrera de la Llicenciatura de Ciències Ambientals).

FLOTATS, Xavier; CAMPOS, Elena. «Hacia la gestión integrada y co-tratamiento de residuos orgánicos». I Encuentro internacional de gestión de residuos orgánicos en el ámbito rural mediterráneo. Navarra, 2001.

HENZE, Moes; HARREMOËS, Poul; JANSEN, Jes la Cour; ARVIN, Erik. *Wastewater treatment: biological and chemical processes*. 2a ed. Berlin: Springer-Verlag, 1997

ITOKAWA, Hiroki; HANAKI, Keisuke; MATSUO, Tomonori. «Nitrous oxide emission during nitrification and denitrification in a full-scale night soil treatment plant». *Water Science Technology* (London), vol. 34, núm. 1-2 (1996), p. 277-284.

Residu	m ³ biogàs/ tona
Fangs d'EDAR	764
RSU	100
FORM	300
Purins	410

Taula B6.15. Potencial de generació de biogàs dels residus
Font: web ICAEN i Arimon, 2002.

Residu	Producció (tones/any)	Font
Fangs d'EDAR	225.112,8	ACA, 2001
FORM total	1.740.000	Junta de Residus, 2000
Purins	12.507.217	ICAEN, 2001

Taula B6.16. Producció de residus a Catalunya
Font: Arimon, 2002.

Residu	Potencialitat total (ktep/any)	Previsions 2010 (ktep/any)
Fangs d'EDAR	888,05	93,8
FORM	269,53	
Purins excedentaris	2.647,83	143,7

Taula B6.17. Potencialitat màxima actual del biogàs i previsions per 2010
Font: Arimon, 2002.

LEMA, Juan Manuel; MÉNDEZ, Ramon; SOTO, Manuel. «Bases cinéticas y microbiológicas en el diseño de digestores anaerobios». *Ingeniería Química* (Madrid), vol. 24, núm. 274 (1992), p. 191-201.

PRICE, E.; CHEREMISINOFF, N.P. *Biogas production and utilization*. Michigan: Ann Arbor Science Publishers, 1981

TCHOBANOGLIOUS, G., THEIXEN, H.; VIGIL, S. *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Barcelona: McGraw-Hill Inc., 1994

UTRERA, Patricia. *Adequació del funcionament del dipòsit controlat de residus sòlids de Castellnou de Seana a la nor-*

mativa vigent i avaluació de la producció de llixiviats i biogàs. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona, 2001. (Projecte Final de Carrera de la Llicenciatura de Ciències Ambientals).

VICENT, Teresa. «Digestión Anaerobia de purines de cerdo». 5º Seminario de Depuración Anaerobia de Aguas Residuales. Valladolid, 1993.

VICENT, Teresa. «El procés de Digestió Anaeròbia». A: Flotats, Xavier. *Tractament anaerobi d'aigües residuals i residus de forta càrrega: paràmetres de disseny i tecnologies en ús*. Lleida: Paperkite, 1995.

WILLIAMS, Paul T. *Waste treatment and disposal*. John Wiley and sons, 1998

Pàgines web

Agència Catalana de l'Aigua (ACA): <<http://mediamb.gencat.net/aca>>.

Agència de Residus de Catalunya (ARC): <<http://www.arc-cat.net>>.

Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya: <<http://www.gencat.net/mediamb/>>.

Ecoparc de Barcelona: <<http://www.ecoparc.net/>>.

Institut català de l'energia (ICAEN): <<http://www.icaen.es>>.

B7. El turisme

David Saurí

Departament de Geografia i Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals, Universitat Autònoma de Barcelona.

Joan Carles Llurdés

Departament de Geografia i Escola Universitària de Turisme i Direcció Hotelera, Universitat Autònoma de Barcelona.

David Saurí Pujol (Barcelona, 1958) és llicenciat en Filosofia i Lletres per la Universitat Autònoma de Barcelona i doctor en Geografia per la Universitat de Clark (EUA). Actualment, és catedràtic del departament de Geografia i membre de l'Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals de la Universitat Autònoma de Barcelona, i ha estat director del Centre d'Estudis Ambientals de la mateixa universitat (2000-2003).

Ha publicat un centenar de treballs sobre riscos naturals i tecnològics, planejament i gestió de recursos hídrics i canvi global i canvi d'usos del sòl en espais mediterranis. La seva recerca ha estat finançada per la Unió Europea, la CICYT espanyola i el DURSI.

Joan Carles Llurdés i Coit (Manresa, 1966) és doctor en Geografia Humana per la Universitat Autònoma de Barcelona (1998). Actualment és professor titular al Departament de Geografia de la mateixa universitat, on imparteix docència principalment en assignatures de Turisme i de Cartografia. També és professor de l'Escola Universitària de Turisme i Direcció Hotelera (UAB) i consultor dels estudis de Turisme de la Universitat Oberta de Catalunya (UOC).

Les seves activitats de recerca s'han centrat en temes relacionats amb el turisme i el medi ambient (planificació turística, nous recursos turístics, incendis forestals, riscos ambientals, residus industrials, conflictes locacionals, etc.), que s'han vist reflectides tant en la seva participació en una desena de projectes amb finançament públic com en la publicació d'articles en un ampli ventall de revistes -d'ambdues temàtiques- nacionals i internacionals (*Annals of Tourism Research*, *Estudios Turísticos*, *Anales de Geografía de la UCM*, *Journal of Environmental Planning and Management*, *Environmental Hazards*, *Land Use Policy*, etc.) i també d'alguns capítols de llibres.

Síntesi	451
B7.1. Introducció	453
B7.2. Turisme i clima	455
B7.3. Turisme i canvi climàtic	458
B7.4. El turisme a Catalunya i al món. Situació actual i tendències de futur	460
B7.5. Característiques de l'oferta turística a Catalunya	463
B7.5.1. El turisme de sol i platja	
B7.5.1.1. El mercat estranger	
B7.5.1.2. El mercat espanyol	
B7.5.1.3. El mercat català	
B7.5.1.4. Ocupació hotelera	
B7.5.1.5. Ocupació dels càmpings	
B7.5.2. El turisme d'hivern	
B7.5.3. El turisme alternatiu	
B7.6. Escenaris climàtics a Catalunya i possibles efectes en la oferta turística	472
B7.6.1. Els impactes sobre el turisme de sol i platja	
B7.6.2. Impactes sobre el turisme d'hivern	
B7.6.3. Impactes sobre el turisme alternatiu	
B7.7. Estratègies adaptatives als possibles efectes del canvi climàtic	479
B7.7.1. Mesures adaptatives al turisme de sol i platja	
B7.7.2. Mesures adaptatives al turisme d'hivern	479

B7.7.3. Mesures adaptatives al turisme alternatiu	
B7.8. Conclusions	480
Referències bibliogràfiques	482
Annex. Relació d'especialistes contactats que han respost l'enquesta	483

Síntesi

El turisme és la primera activitat econòmica de Catalunya. L'any 2002 aquest sector generà entorn del 10% del PIB català i proporcionà feina a aproximadament el 10% de la població activa del país. Es tracta d'un àmbit econòmic molt diversificat que comprèn turisme de masses (sol i platja), turisme d'hivern (esquí) i formes emergents de turisme alternatiu com les vinculades a la natura i l'aventura, al patrimoni cultural i urbà, a la pràctica de certs esports com el golf o la nàutica, a la creació de parcs temàtics, etc. L'anomenat «turisme de sol i platja» encara és predominant, seguit pel turisme d'hivern vinculat amb la pràctica de l'esquí, aquest darrer amb una presència aclaparadora del mercat domèstic. Tanmateix, els ritmes de creixement més importants dels darrers anys es donen en les diverses formes de turisme alternatiu, especialment l'anomenat turisme rural i també el de patrimoni i cultura.

A Catalunya, el sector presenta força avantatges comparatius amb relació a d'altres destinacions. Entre aquests avantatges cal destacar la condició de país desenvolupat i estable amb un bon nivell d'equipaments i serveis, la proximitat als grans mercats europeus, un important grau de fidelitat dels clients, i unes estructures empresarials sòlides i experimentades. Aquests trets positius continuaran essent claus en els propers anys, sobretot si augmenta la diversificació i integració dels diferents productes turístics.

El clima és fonamental per a una gran part de l'oferta turística de Catalunya. Per tant, qualsevol canvi en les condicions climàtiques podria comportar impactes molt significatius en aquest àmbit. Ara bé, el sentit d'aquesta afectació -positiu o negatiu- dependrà de cada subsector turístic i de les estratègies d'adaptació i/o mitigació adoptades. D'altra banda, sembla important tenir en compte la variable temporal, de forma que a curt

termini no es preveuen impactes significatius, ni tampoc a llarg termini semblaria que es podrien assolir unes temperatures prou elevades com per fer retraure la demanda de turisme de sol i platja. En canvi, a llarg termini el turisme d'hivern es podria veure afectat, especialment en aquelles àrees situades a cotes més baixes.

El sector turístic català no sembla ser massa conscient dels possibles impactes del canvi climàtic. Tradicionalment, el turisme català ha estat molt més atent a qüestions conjunturals, a curt termini, que a d'altres de caràcter més estructural. Un exemple d'aquesta manca de conscienciació es reflecteix en els projectes d'obertura de noves estacions d'esquí al Pirineu i/o d'ampliació de les existents.

El turisme de sol i platja probablement no es veurà afectat significativament pel canvi climàtic, ans el contrari. Una hipòtesi probable és un augment de la freqüentació de visitants per l'allargament de la temporada i la disminució de l'estacionalitat. Addicionalment, l'increment més alt de les temperatures amb els conseqüents problemes de manca de confortabilitat en destinacions competidores també podria influir positivament en aquest subsector.

No obstant això, alguns impactes derivats del canvi climàtic (com l'augment de la freqüència dels fenòmens extrems i l'increment del nivell del mar) podrien comportar conseqüències potencialment devastadores per al turisme de sol i platja, en amenaçar un recurs bàsic com són les pròpies platges. Si aquests canvis es confirmen, aleshores caldrà decidir entre la construcció d'obres de defensa del litoral i la reordenació del medi construït a la primera línia de costa, ambdues alternatives amb uns costos potencials molt elevats. A més, caldrà veure també la disponibilitat futura dels recursos hídrics, també

amenaçada per l'evolució de les condicions climàtiques.

Els impactes més importants probablement recaurien sobre el turisme d'hivern, tot i que variarien considerablement en funció de la ubicació de les estacions d'esquí. En qualsevol cas, la resposta a la variabilitat climàtica mitjançant l'ús de canons de neu artificial podria intensificar-se en el futur, especialment a les estacions més orientals del Pirineu català. S'ha de destacar que la innivació artificial ha estat una adaptació molt reeixida a la variabilitat climàtica, tot i que també té clares limitacions ambientals. Per això, amb l'ajut dels canons de neu artificial l'esquí probablement podrà mantenir-se per sobre la cota dels 2.000 metres, la qual cosa podria implicar, però, l'abandonament de part de les instal·lacions actuals.

Finalment, els impactes sobre l'anomenat turisme alternatiu podrien variar en funció del tipus

concret d'activitat. D'antuvi no sembla que el turisme cultural i urbà s'hagin de veure massa afectats. En canvi, l'anomenat ecoturisme i el turisme rural ho podrien resultar en la mesura que el patrimoni natural (per exemple, les zones humides del litoral) que els sustenta evolucioni negativament com a conseqüència del canvi climàtic.

En conclusió, el sector turístic català ha iniciat ja un procés d'adaptació a les noves tendències en el món del turisme, especialment orientades cap a la diversificació i integració de «productes» i «paquets», així com a la millora de la qualitat, incloent de manera molt significativa la millora en el rendiment ambiental de les empreses i destinacions turístiques. En reduir el risc de dependència d'un sol àmbit, el sector també estaria millor preparat per afrontar els possibles impactes del canvi climàtic. Caldrà veure però, si aquesta tendència es converteix en una realitat durant els propers anys.

B7.1. Introducció

El turisme ha esdevingut un sector clau en l'economia, la societat i el territori de Catalunya. Actualment, aquest sector genera, aproximadament, el 10% del PIB català i ocupa un 10% de la població activa del nostre país. A causa de factors naturals, històrics i culturals, Catalunya compta amb una oferta turística molt variada que fa possible, en un marc territorial relativament reduït, la pràctica de gairebé totes les modalitats turístiques: sol i platja, esports d'hivern i, més recentment, turisme de «natura», turisme «cultural», «d'aventura», «temàtic», etc. Totes aquestes possibilitats faciliten la competitivitat del turisme català en els marcs espanyol i europeu, així com en el propi context del mercat domèstic. Tanmateix, algunes modalitats comencen a donar símptomes de saturació i/o estancament, per la qual cosa la tendència futura s'encamina a la creació de productes integrats, que combinin diferents modalitats turístiques. En termes generals, i d'acord amb les opinions de molts professionals i experts en el sector que han estat consultats per a aquest treball, les perspectives futures del turisme a Catalunya són relativament bones, i més encara si hom és capaç de crear i capturar mercats interessats en la qualitat i la diversificació de les activitats.

El clima constitueix un component fonamental de l'oferta turística, per la qual cosa els canvis climàtics que es puguin experimentar en el futur segurament tindran una gran importància en el

sector turístic català. El gran repte, encara no resolt, és aconseguir traslladar aquesta idea general a la situació concreta de Catalunya, un país caracteritzat, entre altres, per una gran diversitat climàtica. Admetent que, de moment, resulta impossible avaluar amb precisió la magnitud i la distribució espacial i temporal del canvi climàtic i els seus efectes sobre el turisme, sí és possible formular algunes hipòtesis que, si més no, poden orientar la recerca de cara al futur. Aquest apartat, doncs, invita a la precaució, però, al mateix temps –i si s'ha de fer cas dels treballs que s'estan duent a terme a d'altres països–, també pretén plantejar la transcendència del tema i, en alguns casos, la necessitat de pensar en alternatives de futur per a aquest sector. Cal dir, també, que el canvi climàtic no s'ha de contemplar com un fenomen estrictament negatiu. És més, com tot canvi, a nivell econòmic i social hi haurà guanyadors i perdedors, i el sector turístic no n'és una excepció.

El capítol s'estructura de la manera següent. En primer lloc, es tracten les relacions entre clima i turisme, tot destacant la importància històrica i actual d'aquestes i introduint en línies generals la qüestió del canvi climàtic i com aquest pot afectar algunes de les destinacions turístiques del planeta, tant directament (per exemple, a través d'un increment de la temperatura fins a nivells no confortables), com indirecta (per exemple a causa d'un augment del nivell del mar que comporti la desaparició d'espais costa-

ners que ara són utilitzats amb finalitats turístiques).

El segon apartat ofereix una breu recapitulació de les tendències actuals del sector turístic al món i, més concretament, a Catalunya. A escala global, el turisme mantindrà una tendència de creixement, tot i que es pot veure afectada per esdeveniments puntuals, sobretot de caire polític. Al nostre país, i com ja s'ha comentat abans, les perspectives també són relativament bones, malgrat que probablement el sector necessitarà una reestructuració, amb una aposta forta per ofertes integrades i d'un increment de la qualitat. D'altra banda, Catalunya compta amb un mercat força fidel i, comparativament, presenta una sèrie d'avantatges sobre altres destinacions, especialment per la seva proximitat i accessibilitat als grans mercats europeus.

El tercer apartat examina amb més detall les característiques de la oferta turística a Catalunya, a partir de la seva diferenciació en tres grans segments:

- 1) El «turisme de sol i platja» (amb molt, el subsector majoritari).
- 2) El turisme d'hivern (vinculat principalment a la pràctica de l'esquí alpi).
- 3) El turisme que podríem anomenar «alternatiu» i que engloba un subsector molt heterogeni (ecoturisme, turisme rural, d'aventura, cultural, etc.), amb un gran potencial de creixement, sobretot en el cas que s'apliquin fórmules integrades.

En quart lloc, s'incideix plenament en la qüestió dels possibles impactes del canvi climàtic en el sector turístic català, la qual cosa s'intenta detallar per a cadascun dels tres segments descrits anteriorment. Atesa la manca d'estudis previs i les grans incerteses que envolten aquesta qüestió, les apreciacions fetes en aquest capítol –que s'han intentat contrastar amb diversos experts i professionals del sector–, han de ser considerades forçosament com a orientatives i, segura-

ment, massa generalistes. La qüestió, però, és prou important com per ser objecte d'una atenció creixent a escala internacional. En aquesta mateixa línia, cal remarcar que a l'abril de 2003 va tenir lloc a Djerba (Tunísia) la *Primera Conferència Internacional sobre Canvi Climàtic i Turisme*, amb més d'un centenar de participants (cap d'ells, però, procedent de l'Estat espanyol, almenys com a comunicants).

Segons l'anàlisi realitzada per l'equip redactor d'aquest apartat, amb la informació disponible actualment no es pot concloure que el turisme català en el seu conjunt s'hagi de veure greument perjudicat pel canvi climàtic. Amb tot, aquest fenomen sí que probablement esperonarà (juntament amb altres factors) altres canvis en aquells sectors potencialment més vulnerables, com ara el turisme d'hivern. Addicionalment, caldrà també estar molt atents als impactes indirectes del canvi climàtic, com per exemple l'increment de fenòmens extrems amb incidència en el cicle hidrològic (sequeres i inundacions), i d'altres fenòmens extrems, en part vinculats amb els anteriors i que poden malmetre els espais tradicionals del turisme de sol i platja. Així mateix, l'augment del nivell del mar podria afectar aquests espais així com alguns ecosistemes litorals, ara molt preuats per les activitats de turisme alternatiu.

El cinquè apartat està dedicat a les possibles respostes o mesures d'adaptació del sector turístic al canvi climàtic. Atès que es tracta d'un fenomen relativament gradual i que el sector turístic català té capacitat de resposta davant d'aquests i d'altres reptes, hi ha la intuïció que alguns dels factors apuntats abans sobre les tendències futures del sector (reestructuració, diversificació, paquets integrats, desestacionalització, etc.) es podran utilitzar també com a estratègies per fer front al canvi climàtic. Tanmateix, altres possibles impactes indirectes (inundacions, sequeres, inundació d'ecosistemes litorals o destrucció de platges per efecte dels temporals de llevant, etc.), requeriran respostes que ultrapassin l'es-

tricta capacitat adaptativa del sector i que poden incidir en una major regulació pública del seu creixement futur. Així, si els costos econòmics i ambientals derivats del canvi climàtic són valorats com massa elevats en relació als beneficis derivats d'una contínua expansió de l'activitat turística, aleshores el sector podria experimentar certes dificultats.

Finalment, les conclusions que s'ofereixen intenten resumir els principals punts del treball i presentar algunes reflexions sobre el futur, insistent en la necessitat d'ampliar els coneixements actuals sobre el canvi climàtic a Catalunya i les possibles reaccions del sector turístic, que de moment no sembla ser massa conscient de la importància d'aquesta qüestió. La inacció davant la incertesa és poc recomanable, però en aquest cas encara fa falta ampliar els coneixements disponibles sobre el clima i el turisme. Aquesta manca de coneixement es posa de manifest, precisament, en aquest mateix estudi: un assaig com aquest –prou habitual ja en altres contrades del món– és inèdit a Catalunya i aquesta circumstància no resulta en absolut positiva per a un treball que hauria de tenir fonamentalment un caire de revisió.

La metodologia emprada en la realització del capítol obeeix a la natura d'un treball tipus *review*. Així, una part important de la informació aportada prové d'articles científics sobre turisme, clima i canvi climàtic, així com d'informes i d'altres dades sobre aquests temes. En aquest darrer sentit, ha estat molt útil poder accedir a alguns dels treballs presentats a la Conferència de Djerba esmentada anteriorment¹. Tanmateix, i a causa de l'escassa informació existent per al cas català, ha estat necessari obtenir i treballar dades addicionals (com en el cas del turisme d'hivern). També s'ha considerat molt important incloure

les opinions d'un ampli ventall d'experts i professionals del món del turisme, per la qual cosa es va enviar una cinquantena d'enquestes (amb unes 30 respostes obtingudes). En aquestes enquestes –molt simples– es demanava, principalment, una valoració dels possibles impactes del canvi climàtic sobre aquest sector i una valoració de les possibles estratègies de mitigació i adaptació. La relació de persones que s'han prestat amablement a contestar es troba inclosa en l'annex 1, i els autors voldrien mostrar-los el seu agraïment des d'aquestes mateixes pàgines.

B7.2. Turisme i clima

Durant les darreres dècades, el turisme ha esdevingut una de les activitats de més rellevància econòmica, social i ambiental a Catalunya, al mateix temps que també s'ha convertit en un dels millors reflexos de la societat contemporània de consum de masses. Només cal donar una ullada a les dades anuals de moviments de turistes i del volum d'ingressos que generen per adonar-se que en absolut es tracta d'una activitat conjuntural, sinó plenament estructural, aquella que millor resisteix els períodes de crisi, recessió i desconfiança i aquella que també es recupera més ràpidament d'aquests moments d'incertesa.

La demanda turística, un tema clau al nostre país, depèn molt del lloc d'origen dels turistes i de la seva destinació. La selecció de la destinació es un procés molt complex, i factors psicològics com la disponibilitat de temps i la necessitat d'escapar de la rutina diària hi juguen un paper cada cop més important. En general, l'experiència indica que els turistes prefereixen llocs secs i assolellats, els països grans als països petits (per exemple aquells que tenen més oferta a nivell de turisme de platja o que permeten ser més selectius respecte les zones a visitar), un bon nivell de serveis i, en general, països amb ingressos elevats o mitjans abans que països pobres (Lise i Tol, 2002).

Sigui quina sigui l'escala territorial utilitzada per fer l'anàlisi, és obligat reconèixer que la distribu-

¹ Els autors volen fer constar el seu agraïment al Sr. Albert Martínez, de la revista *Editur*, i un dels pocs assistents catalans i espanyols a la Conferència de Djerba, per posar tots aquests materials a la seva disposició.

ció espacial i temporal dels moviments de turistes i dels centres turístics és força desigual. Així, és evident que es poden trobar atractius uns territoris determinats i uns altres que ho són menys o que no ho són en absolut. De la mateixa manera, en un mateix territori es poden trobar uns períodes de l'any molt favorables per a l'exploració del turisme, que alternen amb uns altres que impedeixen aquesta activitat o en el millor dels casos, la limiten. D'altra banda, tothom també pot tenir al cap una imatge més o menys idíl·lica d'alguns territoris que respondrien al concepte o tòpic de «paradís» (sens dubte, des d'un punt de vista occidental) i que acostumem a identificar amb zones on el clima és força estable (i benigne a efectes turístics) durant bona part de l'any.

Com ja s'ha deixat entreveure abans, entre els múltiples factors (geogràfics i no geogràfics) que són susceptibles d'explicar la localització de les activitats i equipaments turístics no hi ha cap mena de dubte que el clima constitueix un dels més decisius. Com assegura Besancenot (1991) en la introducció d'un dels manuals més clàssics sobre la relació entre el turisme i clima: *«ha esdevingut un tòpic afirmar que el turisme està literalment determinat, a curt termini, pel temps que fa i, a més llarg termini, pel clima, definit com la sèrie d'estats successius de l'atmosfera»*. En aquest sentit, només caldria recordar l'atenció que es dedica a la informació meteorològica abans d'iniciar qualsevol període de vacances d'una certa durada (Nadal, Setmana Santa, estiu, etc.) i fins i tot previs a altres períodes més curts (els «ponts»).

La influència del clima sobre el turisme no és nova, com ho demostra el fet que alguns dels indrets més preuats des d'un punt de vista turístic per les famílies benestants romanes eren aquells que, a més de ser reconeguts per les seves qualitats curatives, també ho eren per oferir unes condicions climàtiques benignes, tant a la muntanya com a la vora del mar (entre altres, la Campània durant tot l'any, la Toscana a l'estiu i el golf de Tarent a l'hivern). Aquest podria ser el

primer indici d'una veritable elecció climàtica, que incitava a fer estades a les latituds més meridionals durant les estacions més fresques i a buscar les terres altes per fugir dels rigors de la calor estiuenca.

Malgrat aquests precedents, es va haver d'esperar fins a l'època del moviment romàntic europeu (el darrer terç del segle XVIII) per retrobar de nou una certa activitat turística condicionada pel clima. El descobriment de la muntanya com a escenari per a usos terapèutics va anar acompanyat –i aviat desplaçat– pels tímids inicis de l'alpinisme, que també requeria unes condicions meteorològiques favorables. Alhora, l'aristocràcia i la nova classe burgesa comencen a buscar les platges de la Mediterrània, on es reuneixen els turistes àvids d'un clima benigne, tant per motius de salut com per altres purament vinculats amb l'oci i l'ostentació social, tot en un ambient agradable i assolellat. En un sentit o un altre, nombroses zones de muntanya i litoral es popularitzen entre la gent benestant (Chamonix, Megève, Saint-Gervais-les Bains, Saint Moritz, Vichy, Aix-les Bains, Biarritz, Sitges, Pau, la Costa Brava francesa i la Costa Brava, entre molts altres). A més, a partir dels anys 1920-1930 es comença a difondre la moda dels cossos bronzejats, fet que també incidirà en les preferències socials per unes destinacions determinades.

Posteriorment, al llarg de la segona meitat del segle XX, els hàbits de la població europea experimenten un canvi radical. El turisme de masses, ja àmpliament concentrat a l'estiu, no es concep sense unes determinades condicions de temperatura, calor, llum i insolació, fins al punt que, dit d'una manera informal, l'èxit o el fracàs de les vacances es mesura pel grau de bronzejat de pell aconseguit. Evidentment això pot canviar i és possible que, en el futur, aquestes preferències es vegin alterades per altres consideracions, com les relacionades amb la salut. Una d'aquestes seria, per exemple, l'increment de la conscienciació social sobre el risc de patir càncers de pell a resultes d'una exposició prolongada a la

radiació solar. De fet, però, aquest heliotropisme que s'acaba d'esmentar és un fenomen relativament recent, fins al punt que a la Mediterrània, per exemple, la tendència històrica ha estat buscar l'ombra, no pas el sol (Ceron i Dubois, 2003).

El turisme de sol i platja és la manifestació més fefaent de l'acceptació del producte heliotalassatropical. D'altra banda, el clima no només ha esdevingut un element de desig per a una bona part dels turistes, sinó que també ha estat considerat com un element clau en temes d'ordenació territorial a escala local i regional. El mateix Besancenot (1991) cita uns quants exemples, de França, on elements com el vent han determinat la realització de diversos equipaments turístics (entre els quals es pot destacar el pla d'ordenació turística del Llenguadoc-Rosselló).

Així, i des d'un punt de vista espacial, el clima és un dels elements geofísics que configuren el territori turístic, bo i creant unes condicions ambientals que faciliten, dificulten o impossibiliten l'assentament humà i les activitats que se'n puguin derivar (com el turisme). És per aquest motiu que el clima apareix com un factor de localització turística des del moment que intervé en la funcionalització (turística) d'un territori. Malgrat això, existeix la tendència generalitzada a creure que el clima és un factor important només quan s'analitza a una escala geogràfica petita (la mundial) i, en canvi, que els factors que expliquen el desenvolupament del turisme quan s'analitza a escales grans (local, comarcal, etc.) són uns altres. Res més lluny de la realitat. Sense negar la primera part d'aquesta suposició, és evident la importància de la climatologia local en els estudis de prospectiva turística. Com afirma Belén Gómez (1999) «és aquesta climatologia local i la successió dels diferents temps els que determinen la localització, aprofitament i eficàcia de les infraestructures i rendibilitat de les inversions».

En principi, el clima és un recurs renovable o permanent que no és veu mermat pel consum

turístic i, teòricament, els diversos elements que el configuren són gratuïts i estan a la lliure disposició de tothom. Una altra qüestió és que siguin utilitzats amb finalitats mercantils i que, en certa forma, el territori els vengui i en faci promoció i que el turista se'ls apropiï i en gaudeixi. D'altra banda, el clima existent en una destinació turística determinada no es pot transportar ni emmagatzemar, per la qual cosa el consumidor que el busqui es veu obligat a desplaçar-se per tal de poder-lo gaudir. Ara bé, l'èxit d'una destinació turística no només està garantit pel fet de gaudir d'unes condicions climàtiques favorables; pot ser una condició prèvia, necessària, però en cap cas, l'única (Besancenot, 1991).

Tot i això, el clima és un recurs bàsic per a la pràctica de diverses modalitats turístiques, des les més clàssiques a d'altres de més recents (el sol i platja, els esports d'hivern i esports nàutics, etc.). Fins i tot elements del clima que tradicionalment han tingut una percepció negativa (com el vent) ara són fonamentals per a noves activitats esportives (tot i que en altres situacions aquest mateix fenomen també pot actuar com un inconvenient turístic). En altres casos, el clima apareix com un recurs més aviat secundari que no genera directament activitat turística, però que contribueix al seu desenvolupament perquè permet la pràctica de certes activitats a l'aire lliure (senderisme, golf, escalada, etc.). En definitiva, que el clima és, en nombroses ocasions, el recurs principal al voltant del qual es genera tot un ampli ventall d'activitats turístiques.

L'aptitud climàtica de Catalunya per al turisme ha estat analitzada en alguns treballs, realitzats bàsicament per geògrafs (vegeu, entre altres, Cuadrat Prats, 1983; Gómez Martín, López Palomeque i Martín-Vide, 2002). Catalunya gaudeix d'una gran diversitat climàtica que permet la pràctica de diferents tipus de modalitats turístiques. La presència de precipitacions en forma de neu als Pirineus garanteix la pràctica de l'esquí almenys durant els mesos centrals d'hivern,

al mateix temps que entre els mesos de juny i setembre és possible banyar-se en les prop de 200 platges ubicades al llarg dels més de 575 km de litoral català. A més, el clima és prou benigne com per permetre una gamma molt variada d'activitats a l'aire lliure durant bona part de l'any (esports d'aventura, golf, senderisme, esports nàutics, etc.). Amb tot, Gómez Martín i altres autors asseguren que encara resta per aprofitar el potencial climaticoturístic de moltes àrees de Catalunya.

Dit això, també cal fer palès que algunes tendències dels darrers anys apunten cap a una certa desvinculació entre turisme i clima. En altres paraules, i encara que sigui de forma incipient, el turisme ja no es basa únicament en el clima com a únic motiu de l'afluència de visitants, fins i tot a l'estiu. En aquest context, la valorització del patrimoni natural i cultural, molt especialment, prenen una consideració creixent en les futures polítiques de promoció i desenvolupament del sector. Així, algunes manifestacions culturals (com, per exemple, l'Any Gaudí, celebrat a Barcelona l'any 2002) poden atraure tants visitants com les mateixes platges. Altra ment dit, el fet que Catalunya hagi estat la segona destinació turística de l'Estat espanyol aquest mateix any (després de les Canàries, però per davant de les Illes Balears) respon en bona part a l'atracció de la ciutat de Barcelona i la seva oferta de turisme urbà (cal destacar, en aquest punt, que es calcula que més del 20% del PIB de Barcelona de l'any 2002 prové del turisme). Molts professionals i estudiosos del sector apunten que aquesta ha de ser una de les principals línies estratègiques de desenvolupament futur del sector a casa nostra, conjuntament amb el turisme lligat amb el patrimoni natural. Tanmateix, la seva presència en comparació a les formes tradicionals, sobretot de sol i platja, encara és relativament reduïda.

B7.3. Turisme i canvi climàtic

Tot i que amb un cert retard respecte a altres sectors socioeconòmics, els efectes del possible

escalfament de la Terra sobre el turisme comencen a generar certa atenció. Com ja s'ha indicat anteriorment, l'any 2003 es va organitzar la primera conferència en aquest àmbit, que va celebrar-se a la ciutat de Djerba (Tunísia). De la mateixa manera, en els darrers anys la literatura científica sobre el turisme s'ha vist enriquida amb alguns treballs sobre les relacions entre aquest sector i el canvi climàtic, els quals han estat publicats a revistes com *Climatic Change* i *Global Environmental Change* o, en un àmbit més estrictament turístic, al *Journal Of Sustainable Tourism*. No obstant això, encara cal destacar la poca presència d'aquest tipus de treballs a *Annals of Tourism Research*, segurament la revista científica sobre turisme més coneguda en l'àmbit internacional. A Catalunya, i més enllà d'alguns especialistes del departament de Geografia Física i Anàlisi Geogràfica Regional de la Universitat de Barcelona, el tema encara no ha aconseguit atraure gaire l'atenció dels científics. Per tant, en aquest moment aquests estudis són força escassos, especialment els que intenten trobar algun vincle de tipus quantitatiu entre ambdós fenòmens.

Les conclusions que es poden extreure d'aquesta incipient literatura apunten a la gran importància del tema, pel fet que molts turistes consideren bàsic trobar unes condicions de temps determinades en les seves destinacions. Així, un increment de les temperatures mitjanes podria induir els turistes a la recerca d'altres destinacions o a viatjar en altres èpoques de l'any, principalment per les variacions en el grau de confortabilitat. Aquest confort es fa difícil de mantenir quan les temperatures se situen per sobre dels 31°C. Així mateix, es pot veure alterat per un increment de la incidència de certes malalties o dels períodes amb precipitació relativament llargs (Travel Research International Limited, 2003).

En general, s'afirma que el canvi climàtic podria tenir repercussions serioses per al turisme, entre les quals que les actuals àrees de forta implanta-

ció perdin capacitat d'atracció (per l'augment de les temperatures mitjanes estivals, per exemple) o que àrees actualment poc adequades a la pràctica turística de sol i platja (incloent-hi moltes als principals països emissors) apareguin com una forta competència a les destinacions actuals.

El tercer informe del Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (IPCC), fet públic l'any 2001, també adverteix dels possibles impactes que aquest fenomen pot tenir sobre el sector turístic. Més concretament, se citen com impactes negatius els canvis en els règims de precipitacions (amb la seva possible repercussió sobre l'abastament d'aigua a la població), l'augment del nivell del mar, amb impactes sobre els estats insulars, i l'increment de la temperatura en zones de muntanya on actualment la pràctica de l'esquí és habitual. Un altre impacte a destacar seria l'augment de les anomenades *temperatures de xafogor* (la combinació entre calor i humitat), amb el conseqüent descens del grau de confortabilitat.

Tots aquests impactes s'han d'emmarcar en la gran adaptabilitat del turisme a les noves situacions, ja que aquest sector està acostumat a canvis ràpids provocats, entre altres, per la inestabilitat política, les polítiques de preus i les modes, però també per factors climàtics i les possibles reaccions dels usuaris davant d'aquests. Aquestes reaccions dependran molt estretament del tipus d'usuari que es tracti. Així, per exemple, un estiu plujós pot afectar la demanda de places de càmping i d'autocaravanes, però molt poc o gens la corresponent a places hoteleres o de bungalows que hagin estat reservades amb força anticipació. Igualment, els turistes estrangers tampoc es mostren massa sensibles a la variabilitat climàtica, almenys a curt termini. En canvi, en el cas que les condicions meteorològiques dolentes es perllonguin durant més d'un any, aleshores els impactes poden començar a ser mes greus. L'estiu extraordinàriament càlid del 2003 no sembla que tingués gaire repercussions en la demanda turística, llevat dels desplaça-

ments de darrera hora. A França, precisament, es va notar un fort increment en aquest segment per a les destinacions de clima més fresc i humit, com ara la Normandia o la Bretanya.

El canvi climàtic podria suposar modificacions molt importants en el comportament dels turistes, però aquests canvis no es poden predir sense tenir clars quins poden ser els models i destinacions turístiques preferides en el futur. També cal considerar que els períodes vacacionals sovint estan relacionats amb les festes escolars i oficials, així com amb els acords laborals (que en alguns casos promouen la fragmentació de les vacances i, per tant, la proliferació d'estades més curtes). D'altra banda, possibles canvis demogràfics i en les estructures econòmiques també podrien alterar aquests lligams (a tall d'exemple, un dels motius més importants de preocupació del sector de l'esquí de cara al futur és el descens de les cohorts demogràfiques joves, que configuren una gran part del potencial de demanda d'aquesta activitat). Paral·lelament, l'augment dels grups de població més grans i del nombre de jubilacions podria repercutir en una desestacionalització de la demanda que, en un sentit clarament positiu, podria coincidir amb l'ampliació dels mesos amb condicions climàtiques òptimes en el cas del turisme de sol i platja.

Per tots aquests motius, doncs, es fa molt difícil predir canvis en el comportament dels turistes com a conseqüència de les possibles modificacions en el clima. Tanmateix, tot i que els turistes i els operadors turístics es puguin adaptar relativament bé al canvi climàtic, no es pot dir el mateix dels proveïdors locals de serveis turístics, ni tampoc de les economies locals que depenen del turisme, amb la qual cosa les pèrdues podrien arribar a ser molt importants, sobretot en àrees amb alternatives escasses.

Alguns estudis que relacionen els escenaris contemplats en els diferents informes de l'IPCC amb les destinacions turístiques (per exemple, Viner i Agnew, 1999) apunten quatre grans dominis

geogràfics potencialment molt vulnerables al canvi climàtic:

- 1) Les illes baixes tropicals (com les illes Maldives, a l'Índic), que són objecte d'uns fluxos turístics en augment i que poden resultar afectades per l'augment del nivell del mar.
- 2) Destinacions de sol i platja en àrees com la Mediterrània Oriental, que poden experimentar increments de temperatures fins arribar a 40°C, considerats com a no confortables. Els efectes d'aquest increment tèrmic es podrien veure agreujats per un augment paral·lel de la incidència dels raigs ultraviolats.
- 3) Les estacions d'esports d'hivern situades en altituds que en el futur podrien resultar insuficients per mantenir en condicions adients una coberta de neu adequada per a la pràctica de l'esquí, inclús amb innivació artificial.
- 4) Les zones humides litorals (manglars, aiguamolls, etc.), moltes d'elles declarades com a àrees protegides pels seus valors ambientals, que també podrien veure's afectades per l'increment del nivell del mar.

També hi ha un consens força generalitzat entre la comunitat científica sobre els efectes indirectes del canvi climàtic, especialment pel que fa a dos aspectes de molta importància per al turisme com són l'augment de fenòmens climàtics de caràcter extrem (tempestes, inundacions i sequeres) i la propagació de malalties infeccioses, actualment limitades als àmbits tropical i subtropical però que podrien avançar cap a latituds més temperades.

Cal afegir, també, que el turisme no només es pot veure afectat pel canvi climàtic sinó que a la vegada n'és una de les forces inductores. Segons un informe del WWF fet públic l'any 2000, el transport aeri és una de les fonts de gasos amb efecte d'hivernacle que està experimentant un creixement més ràpid en els darrers anys. Actualment ja representa un 3% de les emissions totals, però pot arribar al 7% l'any 2050, cosa que implica un augment del 5% anual. Aquesta

tendència respon al creixement estimat del nombre de passatgers (698 milions l'any 2000, 1.018 milions el 2010 i 1.600 milions el 2020). Així mateix, el turisme incideix en els processos de canvi global almenys en cinc grans àmbits: els canvis en els usos i cobertes del sòl, l'ús de l'energia, l'intercanvi biòtic i l'extinció d'espècies, l'intercanvi i la dispersió de malalties i, finalment, els recursos hídrics (Gössling, 2002).

B7.4. El turisme a Catalunya i al món. Situació actual i tendències de futur

No hi ha cap dubte a l'hora de dir que el turisme és el sector econòmic amb un creixement més elevat al llarg de les darreres dècades i, més important encara, el que més bé resisteix els períodes de crisi i d'estancament econòmic. Actualment el turisme és un fenomen plenament estructural i no tan sols conjuntural, no subjecte a qüestions de modes. De la mateixa manera, la seva pràctica ha deixat de ser patrimoni dels segments de població més benestants, com va ser en els seus inicis, per esdevenir un element bàsic en les pautes de consum de moltes famílies procedents d'un ampli espectre socioeconòmic. En aquest sentit, es pot afirmar que actualment fer turisme és una necessitat bàsica per a molta gent.

Analitzant algunes dades significatives s'observa que el nombre de turistes a escala mundial no ha parat de créixer: ha passat de prop de 25,3 milions l'any 1950 a 166 milions el 1970, 457 el 1990 i 715 milions l'any 2002. Les previsions de la Organització Mundial del Turisme (OMT) indiquen que el creixement del turisme internacional al món serà de l'ordre del 4% anual fins l'any 2020 (amb un màxim del 7% anual a l'Orient Mitjà i un mínim del 3% anual a Europa). Això vol dir, doncs, que en aquesta data ja s'hauran superat els 1.500 milions de turistes.

S'ha de dir, també, que la major part dels viatges internacionals es fan en l'àmbit de grans conjunts continentals. Així, per exemple, actualment el 87% dels turistes amb destinació a algun

Rànkings	Any 1950		Any 1970		Any 1990		Any 2001	
	Estat	%	Estat	%	Estat	%	Estat	%
1	EUA	71	Itàlia	43	França	38	França	35,1
2	Canadà		Canadà		EUA		Espanya	
3	Itàlia		França		Espanya		Itàlia	
4	França		Espanya		Itàlia		Itàlia	
5	Suïssa		EUA		Hongria		Xina	
6	Irlanda	17	Àustria	22	Àustria	19	Regne Unit	11,6
7	Àustria		Alemanya		Regne Unit		Rússia**	
8	Espanya		Suïssa		Mèxic		Mèxic	
9	Alemanya		Iugoslàvia		Alemanya		Canadà	
10	Regne Unit		Regne Unit		Canadà		Àustria	
11	Noruega	9	Hongria	10	Suïssa	11	Alemanya	9
12	Argentina		Txecoslovàquia		Xina		Hongria	
13	Mèxic		Bèlgica		Grècia		Polònia	
14	Holanda		Bulgària		Portugal		Hong Kong	
15	Dinamarca		Romania		Malàisia		Grècia**	
Altres		3		25		33		45,3
Total***	23,5	100	165,8	100	457,2	100	692,6	100

* Dades recollides per la OMT fins el setembre del 2002.

** Dades de Rússia i Grècia no disponibles per a l'any 2001.

*** Total en milions de turistes.

Taula B7.1. Arribades internacionals de turistes per països i participació en el mercat mundial (període 1950-2001)*

Font: Organització Mundial del Turisme (OMT), disponibles a la pàgina web: <http://www.world-tourism.org>.

país europeu provenen de la mateixa Europa. Cal destacar especialment que l'any 2002 el flux de turistes des de l'Europa septentrional i central cap a l'Europa mediterrània va ser de 116 milions de persones (aproximadament un 16% del conjunt de fluxos mundials) i que, segons les previsions de la OMT, aquest flux europeu cap a la Mediterrània podria arribar als 211 milions de cara a l'any 2020 (Travel Research International Limited, 2003).

A banda del creixement espectacular del nombre de turistes a escala mundial, el que resulta més significatiu és el fet que ara participen d'aquest fenomen molts més països que abans. Així, per exemple, en aquests mateixos anys referenciats el grup dels 5 primers països –a part d'alguna variació interna pel que fa als seus integrants– ha vist com el seu pes en el còmput global ha anat minvant, passat d'un 71% (any 1950) a un 35% (any 2001). Simultàniament, la

participació de la resta de països no ha parat d'augmentar, i si bé una bona part del mercat turístic es mou encara en l'àmbit dels països del primer món (bàsicament Europa i Nord-amèrica, excepte casos com la Xina), també és cert que els estats en vies de desenvolupament són els que experimenten els creixements percentuals més espectaculars (taula B7.1).

Catalunya no ha restat al marge d'aquesta tendència i ha experimentat una evolució similar a la de l'Estat espanyol, fins i tot molt més primerenca que a altres zones de la Mediterrània. Des d'un punt de vista geogràfic aquest és un fenomen força lògic ja que tenia, i té, a favor moltes de les variables que ho afavoreixen: recursos geofísics (clima i platges), proximitat als principals mercats emissors de turistes, factors polítics i econòmics (sobretot a partir de la segona meitat del segle XX), etc. D'aquesta manera, actualment Catalunya és per si mateixa una potència turística de primer ordre i disposa d'una oferta turística molt àmplia i variada, on es poden practicar un gran nombre de modalitats turístiques possibles, des de les més clàssiques a les més innovadores (acampada en càmpings, turisme urbà d'elevat poder adquisitiu, turisme rural a les zones d'interior i muntanya mitjana, turisme de neu, ecoturisme, etc., sense oblidar, òbviament, el turisme de sol i platja).

D'altra banda, els canvis experimentats en la demanda també han afavorit l'extensió del turisme des del litoral català cap a un gran nombre de comarques del rerepaís i de l'interior, que fins no fa gaires anys havien quedat al marge dels circuits turístics més clàssics (llevat del Pirineu, per l'esquí). En aquest sentit, factors com la fragmentació dels períodes vacacionals, la demanda de modalitats turístiques diferents (més actives), l'accés a un major nivell d'educació i d'informació, una sensibilitat més gran per aspectes com el medi ambient i el patrimoni històric i cultural, entre altres, han fet possible que certes comarques siguin reconegudes amb una imatge turística cada vegada més consolidada (com, entre al-

tres, la Garrotxa, Osona, el Berguedà, la Noguera o el Priorat) (López Palomeque, 1997). Tampoc resulta estrany parlar d'alguna d'aquestes noves modalitats de turisme al litoral català i, fins i tot, alguns autors n'han elaborat una distribució territorial en funció de quatre tipologies (turisme en espais protegits, esportiu i d'aventura, recreatiu i temàtic, i urbà) (Hugo Capella, Martí Cors i Belén Gómez, 1997).

Aquestes darreres consideracions conviden a fer algunes reflexions sobre la previsible evolució del sector turístic català. Són les següents:

- 1) Tot i la importància que encara té el turisme de sol i platja (entès en el sentit més clàssic), també es pot pensar en un cert estancament d'aquesta modalitat turística. En qualsevol cas, tot sembla indicar que ja s'han de descartar els nivells de creixement que l'han caracteritzat en períodes anteriors. D'altra banda, aquest sector és procliu a mirar de reüll les possibles situacions d'instabilitat política que puguin experimentar altres mercats competidors de la mateixa Mediterrània (com, per exemple, el nord d'Àfrica), així com també la situació econòmica interna d'alguns dels mercats emissors més importants (el francès, el britànic i l'alemany) i que són els que per excel·lència nodreixen aquest sector. En qualsevol cas, però, l'accessibilitat des d'aquests grans mercats europeus (en cotxe particular, en avió) seguirà sent un element de gran importància.
- 2) La recuperació i posada al mercat d'altres tipus de recursos, afavorides pel que s'ha dit anteriorment respecte algunes de les noves característiques de la demanda turística, sens dubte comportarà un increment de les diferents modalitats de turisme que es poden practicar a l'interior del país. Així, aquesta tendència queda plenament reflectida en l'expansió del turisme rural i altres ofertes que, amb major o menor grau, estan relacionades més estretament amb l'esport, la natura, el paisatge i el medi ambient en general. En aquest mateix

sentit, tampoc cal oblidar el procés similar experimentat pel que podríem anomenar «turisme cultural» (malgrat l'ambigüitat del concepte) i «urbà» (deixant de banda el cas de Barcelona, l'atracció que cada cop tenen més altres capitals provincials i comarcals).

- 3) Al litoral (tot i que no de forma exclusiva) també s'observa un increment d'aquelles ofertes que, sense deixar al marge el component de sol i platja, basen el seu interès en un component més aviat lúdic i esportiu. En aquest sentit, es pot esmentar la proliferació de parcs aquàtics, projectes de construcció de nous parcs temàtics, camps de golf, determinades activitats esportives marítimes (per exemple el submarinisme a les Illes Medes), etc. I el que resulta més interessant, una integració del litoral amb el seu rerepaís més immediat. En altres paraules, la conjunció d'estades al litoral amb la possibilitat de visitar certs indrets molt reconeguts per la seva oferta turística variada patrimonial i monumental, cultural, gastronòmica, festiva, etc.
- 4) Les tendències semblen indicar que destinacions com les catalanes es constitueixin cada vegada més com a productes globals i integrats, formats per productes individuals, diferenciats en si mateixos, però que a la vegada no tenen gaire sentit si s'ofereixen per separat. Cal pensar que, tot i que és molt difícil canviar aquesta imatge de destinació de sol i platja –de fet, molts turistes continuen venint principalment per aquest motiu–, la competència d'altres destinacions obligarà al sector a un esforç d'imaginació i a apostar decididament per unes variables que fins no fa gaire no s'han tingut en compte, com la diferenciació, la qualitat, la fidelització del client i una competitivitat més elevada (no cal oblidar que cada cop és més nombrós el segment de turistes disposats a pagar més per productes diferents). Segurament, a tot això contribuirà el fet que a Catalunya existeixin unes estructures empresarials experimentades, madures i amb capacitat de renovació.

Per resumir, entre els principals reptes que el sector ha d'afrontar en el futur, caldria destacar els següents (Monfort i Uriel, 2003):

- 1) La influència de la situació econòmica en els països emissors (que ha estat bàsica per explicar, per exemple, la caiguda dels ingressos procedents del turisme l'any 2002).
- 2) Les deficiències de caràcter infraestructural (congestió d'aeroports, problemes en el subministrament de serveis bàsics com aigua i electricitat; etc.).
- 3) Unes polítiques fortament expansionistes d'algunes destinacions competidores (per exemple, entre Agadir i Tànger, al Marroc, es preveuen més de 60.000 nous llits d'aquí al 2008).
- 4) L'aparició de nous mercats (per exemple, el litoral del Mar Negre).
- 5) La manca de polítiques correctores de la massificació i l'estacionalitat.

No obstant això, en termes generals es pot fer una valoració moderadament optimista respecte el futur del sector turístic català i la seva preeminència com un dels sectors claus en el conjunt de l'economia. Igualment, cal entendre que mentre el seu pes continuarà sent important –i en alguns casos, gairebé monopolístic al litoral–, la seva participació s'incrementarà a la resta de comarques. Altrament dit, s'ha apostat estratègicament pel desenvolupament del sector turístic arreu del territori i això, sovint, ha anat en detriment d'altres activitats econòmiques.

B7.5. Característiques de l'oferta turística a Catalunya

El model de desenvolupament turístic català presenta un biaix molt important, que es manifesta en formes diferents però totes elles estretament vinculades entre si. Entre altres, es podria esmentar la gran «litoralització» de l'activitat, la quasi exclusiva identificació del turisme amb l'hosteleria i el sector immobiliari, la confusió entre territoris turístics i aquells espais amb un clar predo-

mini de residències secundàries, etc. Aquest fenomen arrenca unes quantes dècades enrera, quan a Europa triomfa una determinada concepció de l'organització del treball, de l'Estat del Benestar i del concepte de temps lliure. Aquest fet va permetre que, durant la dècada de 1960 –quan els avenços en matèria de transport ho facilitaren–, s'iniciés el període més brillant del turisme contemporani, que en termes més acadèmics i docents s'ha acabat anomenant *fordista* (manllewant una expressió més habitual en l'àmbit de la producció industrial). I aquest període és el que ha dominat fins ara el turisme català (taula B7.2).

B7.5.1. El turisme de sol i platja

A partir de la dècada dels anys 60, la costa catalana i per extensió, tota la Mediterrània, s'articula com una perifèria vacacional de les masses de turistes europeus. Com ha resumit Anton Clavé (2002), «l'intermediari es deixa seduir per les economies d'aglomeració i desenvolupa tots els proces-

sos comercials i operacionals que porten a la 'paquetització'; i, en un context de recepció caracteritzat per una administració permissiva i uns agents marcadament especulatius, es produeix un procés lineal i extraordinàriament ràpid d'urbanització sense urbanisme que negligeix l'entorn i l'ambient, compromet les oportunitats futures, estandarditza el paisatge sense dotar-lo de contingut recreatiu, i ignora bona part del país». I afegeix després que, en les dècades posteriors, a aquest mercat turístic europeu s'afegeixen l'espanyol i català –a mesura que el nivell de vida d'aquests dos s'incrementa– per reforçar d'una forma massiva aquesta dinàmica i generalitzar territorialment el fenomen de la segona residència (taules B7.3 i B7.4).

El resultat d'aquest procés és força conegut per tothom i, fins a un cert punt, resulta una mica obvi, tot i que pot resultar interessant intentar-lo quantificar. En primer lloc, des d'un punt de vis-

Comarca	Total comarca	Hotels	%	Càmpings	%	RCP	%
Baix Empordà	68.008	15.439	22,70	52.325	76,93	244	0,35
Selva	64.707	44.884	69,36	19.631	30,33	192	0,29
Tarragonès	59.510	32.056	53,86	27.444	46,11	10	0,01
Maresme	53.302	35.366	66,35	17.884	33,55	52	0,09
Alt Empordà	48.099	15.022	31,23	32.482	67,53	598	1,24
Barcelonès	40.908	37.296	91,17	3.612	8,82	—	—
Garraf	37.044	4.552	12,28	32.482	87,68	10	0,02
Baix Camp	33.387	8.126	24,33	25.157	75,34	104	0,31
Baix Llobregat	14.014	4.400	31,39	9.614	68,60	—	—
Pallars Sobirà	9.508	2.857	30,04	6.148	64,66	503	5,29
Resta comarques	64.273	38.126	59,32	20.209	31,44	5.935	9,23
Total Catalunya	492.760	238.124	48,32	246.988	50,12	7.648	1,55

RCP: Residències Cases de Pagès.

Taula B7.2. Distribució de les places d'allotjament a Catalunya, per comarques i tipologia (a 31 de desembre de 2002).
Font: Elaboració pròpia a partir de Direcció General de Turisme (2002a). (<http://www.gencat.net/ctc/etc.htm>).

Comarca	Establiments	Habitacions	Places	Places (%)	Places (% acumulat)
La Selva	316	23.747	44.884	18,84	—
Barcelonès	439	20.755	37.296	15,66	34,50
Maresme	192	18.662	35.366	14,85	49,35
Tarragonès	114	15.858	32.056	13,46	62,81
Baix Empordà	194	8.078	15.439	6,48	69,29
Alt Empordà	207	7.616	15.022	6,30	75,59
Baix Camp	70	4.203	8.126	3,41	79,00
Val d'Aran	86	2.446	4.881	2,04	81,04
Garraf	61	2.395	4.552	1,91	82,95
Baix Llobregat	66	2.373	4.400	1,84	84,79
Resta comarques	8.555	20.182	37.850	15,48	15,21
Total	2.600	126.315	238.124	100	100

Taula B7.3. Allotjament hotelier a Catalunya, per comarques (a 31 de desembre de 2002).

Font: Direcció General de Turisme (2002a) (<http://www.gencat.net/ctc/etc.htm>).

Comarca	Establiments	Unitats d'acampada	Capacitat d'allotjament	Places (%)	Places (% acumulat)
Baix Empordà	47	21.079	52.325	21,18	—
Alt Empordà	34	13.002	32.482	13,15	34,33
Tarragonès	26	10.976	27.444	11,11	45,44
Baix Camp	19	10.061	25.157	10,18	55,62
Selva	25	7.850	19.631	7,94	63,56
Maresme	33	7.150	17.884	7,24	70,80
Baix Llobregat	4	3.845	9.614	3,89	74,69
Garraf	7	3.073	7.683	3,11	77,80
Pallars Sobirà	20	2.458	6.148	2,49	80,29
Baix Ebre	10	2.016	5.043	2,04	82,33
Resta comarques	133	17.079	42.724	17,67	17,67
Total	367	99.475	246.988	100	100

Taula B7.4. Allotjament en càmping a Catalunya, per comarques (a 31 de desembre de 2002).

Font: Direcció General de Turisme (2002a) (<http://www.gencat.net/ctc/etc.htm>).

ta de l'impacte econòmic el turisme ha suposat de l'ordre del 10% del PIB català l'any 2002, una xifra gens menyspreable si es té en compte el pes que tenen altres àmbits de l'activitat econòmica a Catalunya. Així, en termes absoluts, l'aportació del turisme al PIB català durant l'any 2001 va ser de 12,34 miliards d'euros, sobre els 125,2 miliards del total del PIB català (l'any 1998, però, la xifra no arribava als 9 miliards). Aquesta importància és del tot lògica si s'observen altres dades de força interès, com el nombre de turistes, d'ingressos i de pernотacions que, si més no pel que fa al turisme estranger, no han parat de créixer durant els darrers anys (en el cas del turisme nacional trobem, però, unes tendències diferents depenent de la variable considerada) (taula B7.5).

Els resultats de la temporada turística 2002 a Catalunya han estat molt favorables. Així, per exemple, el nombre de pernотacions de turistes

estrangers va créixer un 18,8% amb relació al creixement de l'any anterior, i la xifra de turistes ho va fer en un 14%. Aquest increment en el nombre de pernотacions de turistes estrangers al territori català ha repercutit de manera important en la despesa turística corresponent a aquest mercat, que ha crescut un 15,3% respecte a l'any anterior. Es pot afirmar categòricament que aquest any l'augment del turisme estranger ha estat el motor de l'activitat del sector, ja que la seva aportació ha estat del 70% en el total de les pernотacions anuals, amb la qual cosa s'ha pogut compensar amb escreix el comportament del mercat domèstic. Per la seva banda, la tendència baixista del nombre de turistes procedents de la resta de l'Estat espanyol s'ha mantingut al voltant del -3,0% i la de les pernотacions al -1,7%, mentre que, respecte al mercat català, el nombre de turistes s'ha vist incrementat lleugerament (2,3%), però en canvi el de pernотacions ha disminuït un 4,6%.

Turisme	Variable	Any					
		1997	1998	1999	2000	2001	2002
Estranger	Nombre total de visitants	10.449.000	10.860.550	12.502.029	12.367.917	12.580.000	14.347.000
	Ingressos*	4.834,6	5.143,2	6.098,9	6.142,3	7.114,5	8.203,01
	Pernотacions**	97,1	96,3	111,5	109,5	115,1	216,5
	Estada mitjana***	9,83	8,95	8,92	8,86	8,91	7,5
Nacional	Nombre total de visitants	3.530.000	3.950.000	4.710.000	4.857.000	4.751.000	4.611.000
	Ingressos*	845	1.130,6	1.241,2	1.346,2	1.356,7	1.382
	Pernотacions**	29,9	29,7	29,2	30	28,8	28,3
	Estada mitjana***	7,3	7,53	6,2	6,2	6,1	6,1
Turisme i PIB	PIB turístic****	sd	8,95	10,28	11,09	12,34	sd
	%PIB turístic / PIB total	sd	8,8	9,5	9,4	9,9	sd

* Milions d'euros. / ** Milions de nits. / *** Nits per estada. / **** Miliards d'euros.

Taula B7.5. Dades bàsiques sobre el turisme a Catalunya (període 1997-2002).
Font: Direcció General de Turisme (diversos anys) (<http://www.gencat.net/ctc/etc.htm>).

B7.5.1.1 El mercat estranger

S'estima que el nombre de turistes estrangers que van visitar Catalunya l'any 2002 va ser de 14,3 milions, amb un creixement del 14% amb relació a l'any anterior. Per països, França (amb 3,4 milions de turistes i 26,7 milions de pernотacions) continua sent el país amb la major quota del mercat estranger, així com també el que ha experimentat un augment més important, tant pel que fa al nombre de turistes (36,4%) com de pernотacions (44,5%). És més, entre França, el Regne Unit (amb 16,8 milions de pernотacions), Alemanya (amb 14,8 milions), Bèlgica i els Països Baixos (amb 15,8 milions) i Itàlia (6,3 milions) sumen el 75% del total de pernотacions de turistes estrangers a Catalunya, la qual cosa indica que els seus mercats emissors continuen sent els mateixos que a l'inici del turisme de masses. Aquests països han demostrat tenir unes altes taxes de creixement del nombre de pernотacions, i mantenen la tendència a consolidar-se com els nostres principals clients.

D'altra banda, l'estada mitjana s'ha situat al voltant de les 7,5 nits per turista, mentre que el 86% del total de les pernотacions és atribuïble al conjunt de les marques turístiques Costa Brava (55 milions) i Costa Daurada (20 milions) i la ciutat de Barcelona (16 milions)², que han tingut un creixement del 17%, 14,6% i 13%, respectivament, pel que fa al nombre de turistes que les han visitades. Seguint en aquesta línia de les pernотacions, cal destacar que el 51% dels turistes estrangers s'ha allotjat en apartaments o habitatges que integren una oferta diferent de la configurada per hotels i càmpings, sent aquesta una oferta que està adquirint una importància creixent, amb 74 milions de pernотacions i un increment del 27% respecte l'exercici anterior. Però és més, en aquests allotjaments l'estada mitjana és de 10 nits, amb un increment del 4,2%, mentre que en el cas dels establiments ho-

telers aquesta mateixa xifra s'ha situat al voltant de les 4 nits, amb un descens del 3,7 % de l'estada mitjana.

B7.5.1.2. El mercat espanyol

La tendència a la baixa del nombre de turistes (-3,0%) i de pernотacions (-1,7%) s'ha anat consolidant durant l'any 2002, probablement pel fet que els turistes han triat altres destinacions alternatives a l'estranger i a mercats domèstics (Balears, Canàries). Tot i així, els turistes procedents d'Andalusia (amb 4,9 milions de pernотacions), Aragó (amb 4,2 milions) i Madrid (amb 4,1 milions més) representen el 47% del nombre total de pernотacions. Com es pot observar, en aquest cas el volum de les pernотacions segons l'origen dels turistes es troba més repartit que en el cas del turisme estranger. De tots aquests, el 41% va visitar Barcelona (sens dubte s'ha de tenir en compte l'impacte de l'any Gaudí, a més de la ja coneguda gran i variada oferta de la ciutat), mentre que, per la seva proximitat a les comunitats autònomes d'origen, la Costa Daurada és la segona destinació que concentra més volum de pernотacions (el 30,7%).

B7.5.1.3. El mercat català

Aquest mercat ha evolucionat favorablement durant l'any 2002, amb un increment del 2,3% del nombre de turistes i una evolució semblant pel que fa a les pernотacions. D'altra banda, una vegada més es demostra la gran acceptació que hi ha a Catalunya del fenomen de la segona residència, atès que els catalans van realitzar-hi 10,5 milions de viatges turístics, flux que representa el 50% del total de viatges realitzats per motius turístics i que va superar els 35 milions de pernотacions.

B7.5.1.4. Ocupació hotelera

Dels 10,6 milions de viatgers que es van allotjar en hotels catalans, uns 6 milions eren estrangers. Aquest mercat va ser el que va tenir un comportament millor, amb un augment del 6,5% en el nombre de turistes i del 2,5% en les pernотacions. En total, el turisme estranger va

2. La marca turística Costa Brava inclou les comarques de l'Alt Empordà, el Baix Empordà, el Gironès i la Selva. La marca Costa Daurada inclou totes les comarques de la província de Tarragona.

aportar el 67% de les pernoctacions, mentre que la resta es va repartir entre el 15% procedent de la resta de l'Estat espanyol i el català, que va representar el 18% restant. La tendència a la baixa del nombre de turistes residents en altres comunitats autònomes s'ha moderat els últims mesos de l'any, si bé s'accentua la caiguda de les pernoctacions (-9,8%) correlativament amb els dies d'estada mitjana, que disminueixen lleugerament.

En funció del nombre de pernoctacions, es pot identificar els quatre principals mercats, per ordre d'importància: el Regne Unit (5 milions), Bèlgica i els Països Baixos (3,8 milions) i França i Alemanya (3,5 milions cadascun). Cal fer notar que Alemanya ha baixat un lloc (-3,4% de pernoctacions) respecte al tercer que ocupava l'any 2001. D'altra banda, el turisme de la resta de l'Estat espanyol allotjat en hotels catalans ha mostrat una tendència del -2,2% en el nombre de viatgers i del -9,8 % en les pernoctacions. No obstant això, cal precisar que sembla detectar-se aquesta mateixa tendència a la resta de Comunitats Autònomes.

B7.5.1.5. Ocupació dels càmpings

El nombre de viatgers de l'any 2002 allotjats en aquest tipus d'establiments ha estat de 2,3 milions. Per tenir una idea de la importància d'aquest sector, es poden comparar aquestes dades amb les estades en hotels. Mentre que els turistes dels càmpings mostren una relació del 22% respecte als que s'hostatgen en hotels, les pernoctacions representen el 40%. En altres paraules, l'estada mitjana dels viatgers que van utilitzar els càmpings gairebé va duplicar la del sector hotelier. D'altra banda, la quota dels viatgers fou d'un 45% d'estrangers i el 50% de catalans, mentre que aquesta petita diferència fins arribar al total és la que correspon als turistes procedents de la resta de l'Estat espanyol.

El conjunt del sector ha experimentat una lleugera disminució del nombre de pernoctacions (-1,3%) i de viatgers (-2,9%). No obstant això, el

resultat es pot qualificar d'acceptable si es tenen en compte les desfavorables condicions meteorològiques de l'estiu. Tanmateix, i malgrat que la darrera temporada turística³ hagi anat millor del que indicaven les previsions, aquest fet no amaga que des d'un punt de vista territorial l'oferta turística d'allotjament estigui molt concentrada en unes zones determinades –segurament en excés– en detriment d'unes altres.

En definitiva, tot sembla indicar que les perspectives futures sobre la capacitat d'atracció del turisme català respecte els mercats estranger i estatal no han de variar necessàriament de forma ostensible al llarg dels propers anys. En la mesura que el sector sàpiga adaptar-se a les noves tendències i preferències, el volum de turistes continuarà augmentant, tot i que de tant en tant tinguin lloc certs esdeveniments en l'esfera política internacional que facin trontollar l'estabilitat que aquest sector –i la resta de sectors econòmics en general– necessiten per continuar creixent. Tot i això, també és possible preveure un cert estancament del mercat nacional atès que si bé aquest s'ha comportat tradicionalment com un mercat domèstic –és a dir, que en qüestió de turisme no acostuma a traspasar les fronteres estatals–, aquesta tendència pot variar en la mesura que aquest «temor» a viatjar cap a destinacions estrangeres vagi desapareixent (entre altres, per exemple, a causa de la cada cop més nombrosa incorporació al mercat turístic de gent amb més formació idiomàtica).

D'altra banda, pel que fa al nivell d'ocupació dels diferents tipus d'allotjaments turístics, la necessitat de rendibilitzar les inversions realitzades (cal pensar aquí en l'extensa planta hotelera existent, molt estesa pel territori) obligarà el sector a buscar fórmules per no perdre clientela, tant a través de la renovació d'instal·lacions ja obsoletes com amb paquets d'activitats integrats, ofer-

3. Nota dels editors: els autors es refereixen a la temporada turística de l'any 2003, moment en el qual es va tancar la redacció d'aquest capítol.

tes fora de temporada, etc. De fet, cal recordar que bona part del turisme que rep Catalunya encara és de sol i platja i, per tant, és molt estacional. En aquest mateix sentit, convindria fer un breu incís sobre els altres tipus d'allotjament, ja que és previsible que l'oferta de càmping i de turisme rural augmenti, especialment en certes comarques d'interior on la capacitat d'expansió d'ambdues encara és factible atès que són territoris poc aprofitats, turísticament parlant.

B7.5.2. El turisme d'hivern

L'any 2002, Catalunya comptava amb 11 estacions d'esquí alpí i 7 estacions d'esquí nòrdic, totes elles ubicades al Pirineu i Pre-pirineu. En total, les pistes per practicar esquí sumen gairebé 400 km, amb cotes que oscil·len entre els 1.500 metres (Vaquèira i Espot) i els 2.750 (Boí-Taüll). Les estacions més antigues són les de La Molina (any 1943) i Vall de Núria (any 1947). Tres més van crear-se durant la dècada dels anys 60 (Vaquèira, Espot i Masella); tres més durant la dècada dels 70 (Port del Comte, Rasos de Peguera i Vallter 2000), una els anys 80 (Port Ainé), i dues a començaments dels 90 (Boí-Taüll i Tavascan). Des de l'any 1991 no s'ha creat cap nova estació d'esquí alpí, tot i que s'ha aprovat el projecte d'ampliació de Vaquèira-Beret cap al port de la Bonaigua i hi ha un projecte de nova estació a la Vall Fosca (Pallars Jussà), la inauguració de la qual està prevista l'any 2005 (taula B7.6). També cal citar alguna altra proposta, com la reobertura de l'estació de La Tuca (a la Vall d'Aran) i un nou accés a La Molina-Masella pel coll de Pal⁴.

A Catalunya, el nombre de practicants d'esports d'hivern (molt especialment d'esquiadors) s'ha duplicat durant les dues darreres dècades. Actualment, cada any es venen al voltant de 2 milions de *forfaits*, als quals cal afegir els més de 2,5 milions venuts a Andorra i els 700-800.000 a les estacions del Pirineu aragonès. Les perspectives de futur del sector de l'esquí a Catalunya

indiquen un cert marge per al creixement (al contrari que a Europa, on ja es dona una situació d'estancament), que en funció de la demografia (nombre d'efectius cada cop mes petits en les cohorts més joves) s'anirà alentint en el futur. Les respostes a aquests i altres reptes, canvi climàtic inclòs, passen per la diversificació de les activitats al llarg de l'any (a fi de capturar nous mercats), la concentració empresarial i l'augment en la proporció de la despesa generada pels usuaris de la muntanya a l'hivern.

En aquest sentit, les estacions d'esquí només capturen entorn del 13 % de la despesa, mentre que la resta es concentra en activitats hoteleres, oci, restauració, etc. És per aquest motiu que les companyies de nova creació intenten augmentar aquesta participació mitjançant projectes integrats⁵. D'altra banda, a Catalunya la rendibilitat dels dominis esquiables es veu garantida per les operacions immobiliàries associades, no pels beneficis derivats de l'explotació de les instal·lacions. En aquest sentit, cal destacar que les nombroses inversions realitzades a la dècada dels anys 90 (canons de neu, sobretot, però també nous remuntadors, captacions d'aigua, etc.) han deixat un sector fortament endeutat, malgrat els ajuts públics.

Per la seva situació latitudinal, al Pirineu l'esquí es molt més susceptible al règim tèrmic i pluviomètric que les estacions d'altres contrades (els Alps, per exemple). En general, la cota mínima per a la pràctica de l'esquí se situa entre els 1.700 i 1.800 metres d'alçada, a partir de la qual els gruixos de neu tendeixen a superar els 15 cm i poden mantenir-se entre tres i quatre mesos cada any. Tanmateix, la instal·lació de canons de neu artificial ha esdevingut necessària per tal de poder assegurar un mínim d'activitat al llarg de la temporada.

El primer canó de neu s'implantà a La Molina l'any 1985, i el seu desenvolupament va ser espe-

4. Xavier Campillo, com pers., 30.5.2003.

5. Ramon Ganyet, com. pers., 6.5.2003.

Nom	Any creació	Cotes mín. i màx. (m)	Àrea esquiable (km)	Total pistes	Nombre canons neu	Km. de pistes innivades	% km. pistes innivades/total
Baqueira-Beret	1964	1.500-2.510	88,0	54	504	35,0	39,7
Boí-Taüll	1990	2.020-2.750	42,0	40	151	12,2	29,0
Espot	1967	1.500-2.500	28,5	31	86	6,5	22,8
La Molina	1943	1.700-2.445	50,0	40	326	20,0	40,0
Masella	1967	1.600-2.537	59,0	42	290	21,0	35,5
Port-Ainé	1986	1.650-2.440	43,5	32	88	12,0	27,5
Port del Comte	1973	1.700-2.400	42,8	38	79	8,0	18,7
Rasos de Peguera	1974	1.850-2.050	8,0	10	0	0	0
Tavascan	1991	1.750-2.250	5,0	5	0	0	0
Vall de Núria	1947	1.964-2.252	7,0	10	47	4,4	62,8
Vallter 2000	1975	1.950-2.535	15,0	12	68	10,0	66,6
Total	—	—	388,8	314	1.639	129,1	33,2

Taula B7.6. Estacions d'esquí alpí a Catalunya (any 2003).
Font: Elaboració pròpia a partir d'ACEM (2002).

cialment important durant la dècada dels anys 90. Entre el 1994 i el 2002, el nombre de canons es va triplicar, sobrepasant els 1.600 canons de neu en funcionament en aquest darrer any. Una tercera part d'aquests estaven instal·lats a Vaquèira-Beret. El total de quilòmetres de pistes innivades artificialment l'any 2002 era de 129 (aproximadament una tercera part del total) i, en proporció, era més elevat a les estacions del Pirineu gironí (per exemple, la neu artificial es podia utilitzar a un 40% de les pistes de La Molina i a més del 65% de les pistes de Núria i de Vallter 2000).

Ultra les garanties de seguretat que proporciona, l'ús de neu artificial presenta altres avantatges que convé destacar. Per exemple, la forma arrodonida del material dificulta molt més la fusió que altres tipus de neu i permet la renovació del tapís vegetal sobre el que es diposita, circumstància molt preuada pels usuaris. Els principals inconvenients, però, deriven de la necessitat de

disposar de temperatures prou baixes, normalment inferiors als $-0,2^{\circ}\text{C}$, tot i que aquesta temperatura mínima oscil·la en funció de les condicions atmosfèriques. Així, amb 100% d'humiditat la temperatura requerida per a un correcte funcionament dels canons de neu seria de -4°C , mentre que amb un 0% d'humiditat podrien funcionar amb una temperatura de 0°C .

Amb tot, la precipitació en forma de neu o la nivació artificial no són els únics requisits que demana la pràctica de l'esquí (López Palomeque, 1996). Cal comptar també amb els factors que incideixen en el manteniment del mantell nival (exposició dels vessants, vent), així com amb la disposició del terreny. Aquest darrer factor és potser el més important al Pirineu, ja que les alçades on la neu és suficient acostumen a presentar pendents massa abruptes per a la pràctica d'aquest esport. Tot això fa que els dominis esquiables siguin relativament petits, la qual cosa, juntament amb la llunyania i comu-

nicacions deficientes amb els focus de la demanda, dificulta la rendibilitat de les estacions. En qualsevol cas, i com ja s'ha dit abans, aquesta rendibilitat s'ha de cercar més aviat en les operacions urbanístiques que solen acompanyar el desenvolupament de les estacions d'esports d'hivern.

B7.5.3. El turisme alternatiu

Aquesta denominació inclou diverses modalitats turístiques que comparteixen certs elements comuns, tant pel que fa a l'oferta (tipus de recursos i localització espacial) i la demanda (tipus de clients), com pel seu procés d'implantació temporal en el territori. No cal repetir arguments ja exposats anteriorment sobre els motius que expliquen aquesta expansió en els darrers anys, sinó més aviat aprofundir breument en certes característiques d'algunes d'aquestes modalitats: l'ecoturisme, els esports d'aventura, el turisme rural i l'ecoturisme (taula B7.7).

Tot i la reduïda oferta d'allotjament de turisme rural, en comparació amb els càmping i els hotels presenta una distribució més àmplia en el territori català (cap comarca supera el 8% del total de Catalunya) i es troba en franca expansió des dels seus inicis (cal tenir present que l'any 1989 només hi havia un centenar de residències casa de pagès). Òbviament, les comarques d'interior concentren bona part de les places disponibles, malgrat que l'Alt Empordà és la que té un nombre més elevat d'establiments d'aquest tipus (fet no gaire estrany si es té en compte l'extensió de la comarca i el seu elevat nombre de municipis). Com també era d'esperar, les comarques del Pirineu i Prepirineu són les més importants pel que fa a l'oferta de turisme rural, ja que reuneixen o han sabut conservar millor, sense canvis importants, els seus trets rurals i paisatgístics. No obstant això, hi ha dues comarques plenament pirinenques que s'aparten en certa forma d'aquest model, en haver apostat més fer-

Comarca	Establiments	Habitacions	Places	Places (%)	Places (% acumulat)
Alt Empordà	76	276	598	7,81	—
Garrotxa	67	256	564	7,37	15,18
Berguedà	57	260	543	7,10	22,28
Pallars Sobirà	63	269	503	6,57	28,85
Osona	53	220	485	6,34	35,19
Ripollès	50	191	415	5,42	40,61
Pla de l'Estany	44	184	378	4,94	45,55
Alta Ribagorça	57	190	360	4,70	50,25
Pallars Jussà	40	170	348	4,55	54,80
Alt Urgell	40	159	325	4,25	59,05
Resta comarques	404	1.563	3.129	40,95	40,95
Total	951	3.738	7.648	100	100

Taula B7.7. Allotjament de turisme rural a Catalunya, per comarques (a 31 de desembre de 2002).
Font: Direcció General de Turisme (2002a) (<http://www.gencat.net/ctc/etc.htm>).

mament per l'allotjament hotelier i la segona residència: la Val d'Aran i la Cerdanya.

Pel que fa a la seva distribució comarcal –i malgrat aquesta encara escassa presència en el territori–, a determinades comarques aquesta oferta és força destacada, fins i tot superant el 10% de l'allotjament comarcal, com seria el cas de l'Alta Ribagorça i el Pallars Jussà, Osona, la Garrotxa, el Pla de l'Estany, el Bages, l'Anoia, la Segarra, les Garrigues, el Priorat i l'Alt Camp.

Una altra de les modalitats «alternatives» que més èxit està tenint darrerament és l'anomenat turisme d'esports d'aventura, en franca expansió des de la seva introducció a Catalunya a finals dels anys 80. L'any 2002 hi havia registrades 58 empreses que s'hi dedicaven (respecte les 46 de l'any 1999), tot i que la majoria es localitzen a les comarques del Pirineu (38) (Direcció General de Turisme, 2002b) (taula B7.8). Aquesta concentració es deu principalment a les característiques del medi físic i al major desenvolupament de les seves infraestructures turístiques, tant d'equipaments d'allotjament –el rural, per exemple– com de productes diversificats per als turistes. En qualsevol cas, destaca per sobre de la resta la comarca del Pallars Sobirà (amb 16 empreses), que aprofita el potencial que li ofereix el riu Noguera Pallaresa (Belén Gómez i Martí Cors, 2001).

En qualsevol cas, aquesta és una modalitat turística de difícil quantificació en funció del seu nombre de clients perquè, entre altres raons, el nombre d'activitats que s'hi poden incloure (de vegades, també apareix amb el nom de «turisme actiu») és certament nombrosa. A tall d'exemple, l'*Instituto de Turismo de España* (TURESPAÑA) publica una guia on es fa una llista de fins a 34 activitats possibles, amb un grau d'activitat, «risc» i «aventura» molt heterogeni (Dirección General de Turismo, 2001; Lacosta, 2001).

Finalment, pel que fa a l'ecoturisme, cal destacar la importància creixent que va adquirint any

rera any. Les causes d'aquest increment són molt diverses (algunes aplicables també a altres modalitats de turisme «alternatives»), entre les quals es pot apuntar una conscienciació ambiental creixent en bona part de la població i el desig de mantenir (o recuperar) el contacte amb la natura, la necessitat de fomentar l'educació i la formació pedagògica en relació a les qüestions ambientals, la necessitat de mantenir un cert equilibri ecològic en determinades zones i el fet que el turisme sostenible hagi d'apostar també per recursos naturals en un bon estat de conservació (Gurri, 1998).

En aquest camp, Catalunya disposa d'un atractiu molt important: des de l'any 1992, quan es va aprovar el Pla d'Espais d'Interès Natural (PEIN), el país té més de 140 espais protegits, amb una superfície global que representa més del 21% de tot el territori català. Encara que la major part d'aquests espais gaudeixen d'un nivell de protecció bàsic, alguns són considerats espais naturals de protecció especial i s'acullen a una de les figures legals següents, cadascuna amb uns nivells de protecció i unes especificitats diferents: parc nacional, paratge natural d'interès nacional, reserva natural i parc natural. Encara que és molt difícil trobar dades de freqüentació d'espais protegits (per manca d'unificació o inexistència d'una sèrie temporal prou significativa), és evident que alguns d'ells reben anualment un nombre molt elevat de visitants, fet que en alguns casos ha comportat una afectació sobre els valors naturals que es volia protegir.

B7.6. Escenaris climàtics a Catalunya i possibles efectes en la oferta turística

Després de la diagnosi del turisme feta en apartats anteriors, aquesta part de l'informe valora els possibles impactes del canvi climàtic sobre les diferents modalitats turístiques a Catalunya. En altres capítols de l'informe es plantegen els diferents escenaris climàtics que es poden preveure per a Catalunya a les properes dècades. En qualsevol cas, és important insistir que, com arreu del món, Catalunya sembla haver experi-

mentat un increment de les temperatures mitjanes anuals durant les últimes dècades. En un treball recent (Brunet i altres, 2001), l'anàlisi de les temperatures registrades a Catalunya durant els darrers 130 anys (1869-1998) posa de manifest l'existència d'un increment de 0,9°C, més accentuat durant l'hivern. Els autors d'aquest treball diferencien tres fases: una primera etapa d'escalfament progressiu fins a mitjans de la dècada dels anys 50, un refredament que duraria fins a mitjans de la dècada dels anys 70 i, per últim, un escalfament abrupte, constant i de magnitud sense precedents, en les tres darreres dècades. L'hivern hauria estat l'estació més sensible, seguida per la primavera, la tardor i, finalment, l'estiu.

Alguns dels escenaris de l'IPCC per a les properes dècades dibuixen un augment aproximat de 2°C en la temperatura mitjana anual en l'àmbit on s'inclou la Península Ibèrica, així com un descens mitjà del 10% anual en les precipitacions. Amb el coneixement actual, i la capacitat de predicció dels models climàtics encara no s'està en disposició d'afinar aquestes dades amb prou precisió, més encara si és té en compte l'extraordinària diversitat climàtica de Catalunya. Per tant, les apreciacions que es puguin fer a continuació s'hauran de prendre amb molta precaució. En qualsevol cas, la taula B7.9 presenta breument els canvis i les seves implicacions en els fluxos turístics d'Europa central/septentrional i la Mediterrània (que són els principals pel que fa al cas català).

B7.6.1. Els impactes sobre el turisme de sol i platja

A escala global i com ja s'ha dit, algunes destinacions turístiques de «sol i platja» podrien veure's afectades pel canvi climàtic, per un increment excessiu de la temperatura o per efectes indirectes com l'augment del nivell del mar, l'increment de temporals marítics, la disminució dels recursos hídrics o la propagació de malalties tropicals cap a latituds més elevades. Els escenaris d'aquesta mena són possibles a Catalunya, com

Comarca	Nombre d'empreses
Alt Empordà	1
Alt Penedès	1
Anoia	1
Bages	1
Cerdanya	1
Garrotxa	1
Maresme	1
Pallars Jussà	1
Pla de l'Estany	1
Segrià	1
Baix Empordà	2
Montsià	2
Ripollès	2
Selva	2
Alt Urgell	3
Osona	3
Alta Ribagorça	4
Barcelonès	4
Berguedà	4
Val d'Aran	6
Pallars Sobirà	16
Total	58

Taula B7.8. Empreses d'esports d'aventura registrades a Catalunya (a 31 de desembre de 2002).

Font: Direcció General de Turisme (2002b). (<http://www.gencat.net/ctc/etc.htm>).

també ho són altres que destaquen els possibles beneficis, sobretot d'un increment mitjà de la temperatura. Entre aquests beneficis caldria destacar la desestacionalització del turisme (amb un increment de la temporada d'estiu) i un cert augment de la competitivitat catalana davant la

Canvis en el clima de la regió d'origen	Canvis en el clima en la regió de destinació	Implicacions per a la regió de destinació	Possibles reaccions dels mercats turístics
Hiverns més càlids i humits	Hiverns més càlids i humits	Risc de sequera i d'incendis forestals més elevat	Estius més agradables a les regions d'origen
Estius més càlids i secs	Estius netament més càlids i secs	Dèficits hídrics més acusats	Més motivació per escollir la Mediterrània per a les vacances
Estius més estables	Canvis més profunds a la Mediterrània oriental	Creixement de l'estrès atribuïble a la calor	Més motivació a fer vacances a la Mediterrània durant les estacions intermitges
	Augment de les temperatures de xafegor	Desaparició (total o parcial) de les platges com a conseqüència de l'augment del nivell del mar	Certa inversió del flux dominant (desig més gran dels habitants del sud d'Europa de passar les vacances al Nord)
	Augment del nombre de dies per sobre de 40°C	Vulnerabilitat a malalties tropicals més elevada	
	Paisatge més àrid	Risc d'inundacions sobtades més elevat	
	Cert augment del nivell del mar	Disminució de la qualitat de l'aire a les ciutats	

Taula B7.9. Possibles implicacions del canvi climàtic per al flux turístic des del nord i centre d'Europa cap a la Mediterrània.
Font: Adaptat de Travel Research International Limited (2003).

possibilitat que altres destinacions pateixin impactes negatius de més magnitud (per exemple, la Mediterrània oriental). A més, el turisme de sol i platja compta amb l'avantatge que l'increment tèrmic anual és concentraria sobretot en els mesos no estiuencs.

En un treball recent de Maddison (2001) sobre el mercat britànic (molt important a Catalunya i a l'Estat espanyol) s'ha intentat quantificar els canvis en les destinacions turístiques causats pel canvi climàtic. L'estudi ha considerat tres destinacions turístiques (Grècia, l'Estat espanyol i les

Trimestre	Evolució de la temperatura	Evolució de la precipitació	Evolució del nombre de turistes (Estat espanyol)	Evolució del nombre de turistes (Grècia)
Primer	+2° C	+5%	+15,8%	+14,9%
Segon	+2° C	-5%	+9,9%	+7,5%
Tercer	+2° C	-15%	+2,2%	-1,3%
Quart	+2° C	-5%	+15,9%	+13,4%
Total	+2° C	-10%	+8,1%	+2,9%

Taula B7.10. Impacte del canvi climàtic sobre els fluxos a destinacions turístiques de l'Estat espanyol i Grècia (escenari any 2030).
Font: Maddison (2001).

Illes Seychelles) i s'ha utilitzat com escenaris climàtics de referència els obtinguts en el model general de Houghton, que preveuen un augment de la temperatura de 2°C al sud d'Europa l'any 2030.

Deixant de banda el cas de les Seychelles (que surt notablement perjudicada en el flux de turistes), resulta interessant comparar el casos de Grècia i l'Estat espanyol (taula B7.10). En ambdós països, hi hauria un increment net del nombre de turistes, encara que clarament superior en el cas espanyol. Segons l'autor, hi hauria dos motius que explicarien aquest fet: un, els costos (sobretot de temps de viatge) són comparativament més petits en les destinacions espanyoles i, segon, el clima lleugerament més càlid (i per tant menys confortable) predominant a les destinacions gregues. També es pot veure l'efecte positiu de la desestacionalització en la mesura que els increments més elevats corresponen al primer i al quart trimestre, tot i que també es dona una variació positiva a l'estiu (al contrari que a Grècia, on s'observa una disminució).

Tot i que es tracta d'un únic estudi i, a més, de caire no estrictament català, sembla raonable pressuposar que per si mateix l'increment de les temperatures no ha d'incidir negativament en el turisme de sol i platja a Catalunya, almenys durant les dècades més immediates. Ans al contrari, i en coincidència amb molts dels experts i professionals consultats, aquest increment tèrmic pot tenir un impacte positiu en desestacionalitzar el turisme. Les conseqüències econòmiques i ambientals d'aquesta desestacionalització també poden ser importants atès que, per un costat, l'activitat econòmica ampliaria el seu marc temporal i, per un altre, es podria reduir l'enorme pressió ambiental que caracteritza els mesos d'estiu al litoral català.

D'altra banda, però, també caldria tenir en compte les possibles ampliacions de l'estacionalitat en contrades situades a latituds més altes (Giles i Perry, 1998; Harrison i altres, 1999) i el possible

impacte derivat d'una creixent percepció de manca de confortabilitat originada per l'increment de les temperatures. Suposant que l'efecte combinat d'aquestes dues darreres conseqüències no desitjades es tradueix, cap a l'any 2050, en una disminució d'entre un i mig punt menys de creixement en el nombre de turistes. En termes absoluts això implicaria una reducció d'entre 111 i 198 milions de persones, i les pèrdues econòmiques derivades sumarien entre 64.000 i 110.000 milions de dòlars USA (en preus constants de l'any 2000) a tota la conca mediterrània (Travel Research International Limited, 2003).

Pel que fa als possibles efectes indirectes del canvi climàtic, aquests no permeten en principi una visió gaire optimista. En primer lloc, una freqüència més elevada de fenòmens extrems, com els temporals marítims i les inundacions, podria alimentar una percepció de «mal temps», de conseqüències devastadores per a la indústria turística (vegi's si més no, els perjudicis causats per un estiu plujós com el de l'any 2002 a la Costa Brava). Un altre impacte potencialment molt important per al sector turístic fa referència a l'estoc de capital construït o que està en procés de construcció, que es podria veure amenaçat per aquests fenòmens o per l'augment del nivell del mar, així com les afectacions en un recurs fonamental com són les platges.

A nivell econòmic, els costos poden ser extraordinàriament elevats, tal i com s'ha fet palès en episodis recents de temporals de llevant (com els de l'any 2001 a la costa central catalana). Un augment en la freqüència d'aquests esdeveniments obligaria molt probablement al replantejament de l'ordenació de la franja litoral, a no ser que les administracions estiguessin disposades a esmerçar recursos en obres de defensa, molt costoses i amb impactes addicionals incerts.

Un altre impacte potencialment molt important fa referència a la disponibilitat futura de recursos hídrics. Les darreres prediccions del *Hadley Centre for Climate Change* mostren una marcada ten-

dència al descens de les precipitacions al sud d'Europa i es consideren un dels senyals més robusts. Segons dades de l'organització WWF (citada a Gössling, 2002), a l'Estat espanyol un turista consumeix una mitjana de 440 litres d'aigua/dia, xifra que es dispara fins els 880 litres si s'incorporen les despeses de piscines i camps de golf (a tall de comparació, un habitant de Santa Coloma de Gramenet tot just consumeix 110 litres diaris).

Cal recordar que els turistes esperen unes disponibilitats d'aigua suficients i fiables i que les mancances en aquest sentit poden tenir repercussions molt serioses. Per exemple, Benidorm va perdre gran part del turisme alemany arran de la crisi hídrica que patí aquesta destinació a finals de la dècada dels anys 70⁶, i l'aparició a la premsa alemanya de notícies sobre problemes d'aigua a Mallorca la primavera de l'any 2000 redundà en un descens en el nombre de turistes alemanys aquell estiu, encara que en aquest descens segurament varen contribuir altres factors (Kent i altres 2002).

La qüestió del futur de l'oferta i la demanda d'aigua a Catalunya a les properes dècades ultrapassa l'àmbit d'aquest capítol, però les tendències apunten cap a una accentuació de les situacions de déficit, sigui per la pròpia irregularitat climàtica, sigui per un increment de la demanda, a la qual no es aliè el sector turístic. Tanmateix, aquest increment de la demanda sembla estar vinculat sobretot al canvi de model territorial (expansió de les tipologies urbanes de baixa densitat) que acompanya les migracions des dels grans nuclis urbans (per exemple el Barcelonès) a les perifèries metropolitanes. Un canvi en el model de desenvolupament turístic en el territori, on es deixi de construir en «alçada» i es passi a construir, més aviat en «longitud», pot veure's com un guany en termes de qualitat, però a canvi d'impactes ambientals (entre ells el consum d'aigua o la generació de residus) molt superiors als d'un model compacte.

6. Jorge Olcina, com. pers., 25.04.2003.

Finalment, una altra possible conseqüència del canvi climàtic en el sentit de l'augment de les malalties infeccioses d'origen tropical (la malària, per exemple) no sembla probable a Catalunya, si més no per la seva latitud.

B7.6.2. Impactes sobre el turisme d'hivern

El turisme d'hivern és un dels sectors amb un potencial d'impacte més elevat si el canvi climàtic es materialitza. En general, l'augment de la temperatura mitjana comportaria menys neu en els dominis esquiables i l'escurçament de les temporades d'esquí, molt especialment a les estacions situades en cotes més baixes, la qual cosa generaria efectes econòmics negatius. Aquestes afirmacions s'han de prendre com a pures hipòtesis atès que, amb la informació disponible i, al contrari del que passa a altres països, no existeix cap estudi fet que abordi mínimament el tema. Tanmateix, i si cal fer cas dels estudis existents a altres països, els impactes poden ser molt importants i mereixen una atenció màxima.

Com ja s'ha comentat, els possibles impactes del canvi climàtic en el turisme d'hivern s'han examinat durant al dècada de 1990 en diversos països (per exemple, a Àustria, Austràlia, Canadà, EUA, França, Nova Zelanda i Suïssa). La combinació més temuda és la de déficits de precipitació amb temperatures per sobre de les habituals de l'època durant la primera part de l'estació, la qual cosa representa un impacte molt sever en els gruixos i la durada de la neu a la resta de l'estació. A França, una anàlisi efectuada per a un període de 10 anys (1990-2000), mostra que la presència precoç o retardada de neu té un impacte molt important sobre l'estacionalitat de l'esquí o sobre la seva possible perllongació fins al mes de maig per a aquelles estacions situades a una altitud suficient.

En el cas dels Alps, un primer indicatiu foren els hiverns suaus i amb poca neu de finals dels 1980 i primers 1990 (una situació molt semblant a la viscuda a Catalunya). Concretament, es produïren tres hiverns consecutius (1987-88, 1988-89

i 1989-90) amb unes condicions molt pobres de neu, desconegudes en els darrers 700 anys, especialment a les altituds més baixes (Koenig i Abegg, 1997). Alguns estudis posteriors han demostrat que durant els anys 80 i inicis dels 90s del segle XX, les terres baixes dels Alps van experimentar de mitjana 3/4 setmanes menys de neu que a començaments de segle (Benniston, 1997). D'altra banda, durant els darrers anys dels 1980, els períodes amb més de 50 cm. de neu en almenys un 10% de l'estació d'hivern han disminuït fins dos mesos respecte a la dècada anterior, fenomen no experimentat des de la dècada de 1940. En aquests anys, la temporada havia començat a finals d'octubre i acabava a finals de març. Durant la dècada de 1970, la temporada d'esquí solia començar a primers d'octubre i durava fins a mitjans-finals de maig.

Les hipòtesis de futur no conviden precisament a l'optimisme. En el cas dels Alps suïssos, i davant l'escenari d'un increment de la temperatura d'entre 1'5 i 3°C cap l'any 2100, la durada de la innivació es reduiria entre un 30 i un 40%, sobretot a les parts més baixes dels sistemes muntanyencs. Per al conjunt dels Alps, un augment de la temperatura podria comportar una disminució d'entre un 20 i un 30% en la durada de la neu a zones inferiors als 1.500 m. d'altitud. Per tal de poder rendibilitzar les inversions i ser operativa, es considera que una estació d'esquí ha de tenir un gruix de neu igual o superior a 30 cm. durant almenys 100 dies/any. A Suïssa, aquesta condició es compleix per a les estacions situades per sobre dels 1.200 m. d'alçada però, amb un augment mitjà de 2°C en la temperatura, la cota de neu pujaria als 1.500 metres. Un 85% de les estacions d'esquí es troben actualment dins els marges de seguretat descrits abans (és a dir, tenen 30 cm. de neu durant almenys 100 dies l'any). Tanma-

teix, aquest percentatge baixaria fins el 63% amb un clima més càlid segons les condicions suava descrites (Koenig i Abegg, 1997).

Això no obstant, segons alguns experts les implicacions de l'escalfament del planeta sobre el mantell nival encara no es coneixen amb un marge de confiança suficient (Eric Martin, 2002). L'estat dels coneixements progressa lentament a causa de la gran variabilitat d'una estació a l'altre i d'un massís a un altre, de manera que no s'ha copsat un senyal decisiu de canvi en matèria d'innivació. Si a inicis de la dècada de 1980 va haver-hi diversos anys d'innivació important, que portaren a nous projectes, les innivacions més precàries dels darrers anys tampoc no han de condemnar la muntanya forçosament. Amb tot, i com a conclusió general, arreu del món sembla detectar-se una disminució de l'innivació durant el decenni de 1990.

Pel que fa al cas concret de Catalunya, es pot estudiar la variabilitat climàtica recent a les estacions d'esquí a partir del nombre de forfaits venuts anualment (sempre, però, d'una manera aproximada). La figura B7.1 mostra clarament els anys amb condicions de neu deficientes, que en general coincideixen amb anys d'escasses precipitacions. El punt de partida han estat els

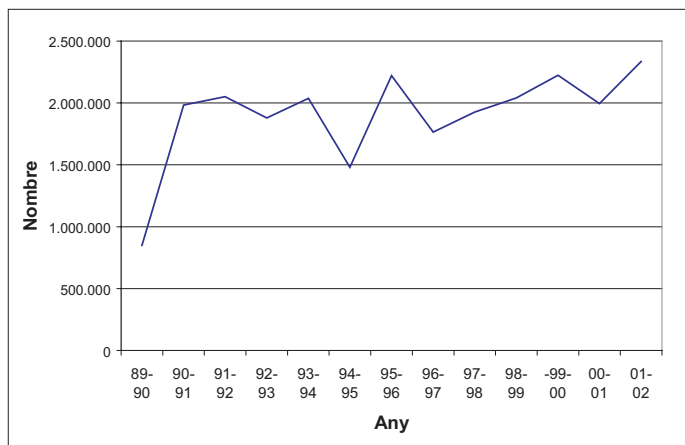


Figura B7.1. Nombre de forfaits venuts a Catalunya (període 1989-2002).
Font: elaboració pròpia a partir de dades proporcionades per l'ACEM.

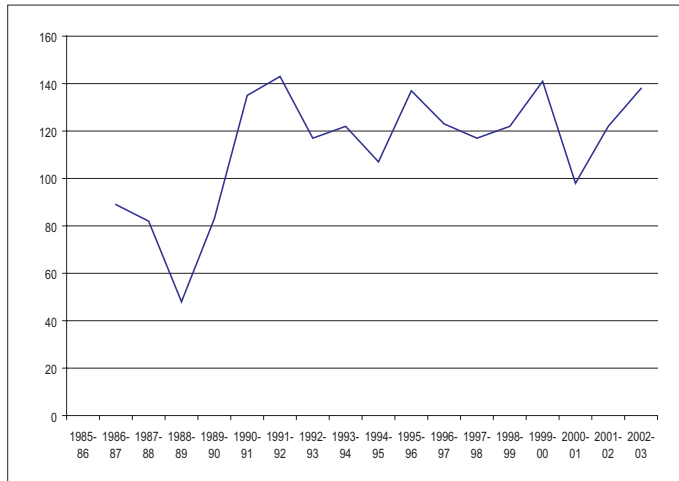


Figura B7.2. Nombre de dies oberts/temporada a l'estació d'esquí Vall de Núria (període 1985-2002).

Font: elaboració pròpia a partir dades subministrades per l'estació d'esquí Vall de Núria.

hiverns excepcionalment secs dels anys 1988-89 i 1989-90, qualificats de «dolents» o «molt dolents» per estacions com Vaquèira o La Molina.

Cal destacar així mateix la davallada de l'hivern de 1994-95 i en menor mesura, del 2000-2001, sempre en el marc d'una línia ascendent en les vendes de *forfaits*. Per tant, i a nivell global, no sembla que la dècada de 1990 hagi estat negativa per a la pràctica de l'esquí, a la qual cosa ha contribuït decisivament també la proliferació de neu artificial.

També de manera indirecta, la variabilitat climàtica es pot copsar a partir del nombre de dies de funcionament de les estacions per temporada. A data de tancament de la redacció d'aquest treball, només havia estat possible obtenir una sèrie suficientment llarga per a l'estació Vall de Núria (figura B7.2). Com en el cas anterior, s'observen perfectament els anys «dolents» de finals de la dècada de 1980, però també com, des d'aleshores, les successives temporades han ultrapassat sempre els 100 dies, amb l'excepció de l'any 2000-2001. En definitiva, es podria afirmar que durant la dècada de 1990, el sector de

l'esquí alpí a Catalunya ha pogut superar la dependència climàtica gràcies a la innivació artificial, fins i tot en anys considerats molt secs com els 1994-95 o 2000-2001.

Pel que fa a tendències futures i a manca d'estudis, es pot partir d'una hipòtesi força imprecisa i que només s'ha de prendre de manera orientativa. De mitjana, es pot estimar que el gradient tèrmic en funció de l'altitud és d'aproximadament 1°C per cada 100 m. Per tant, un increment mitjà de la temperatura de 2°C (l'escenari mitjà que dibuixa l'informe de l'IPCC per a les àre-

es mediterrànies) situaria probablement les cotes de neu per sobre dels 2.000 metres d'altitud.

L'any 2002, només Boí-Taüll tenia una cota mínima superior als 2.000 metres, la qual cosa indicaria la vulnerabilitat d'almenys part dels diferents dominis esquiables a l'augment tèrmic, atès que aquest darrer factor probablement impediria el correcte funcionament dels canons de neu artificial. Encara que es tracti d'estimacions purament qualitatives, en l'enquesta passada a experts i professionals del sector també es palesava aquesta tendència.

B7.6.3. Impactes sobre el turisme alternatiu

El turisme de natura i el turisme rural són un dels sectors, juntament amb el turisme urbà, considerats com de major potencial de creixement a Catalunya, amb la condició que els seus atractius no es deteriorin. En aquest sentit, la dependència envers un entorn de qualitat és probablement la més elevada de tots els subsectors turístics, i aquesta qualitat depèn estretament de valors naturals i culturals. Així, algunes àrees de Catalunya amb una elevada qualitat ambiental (com, per exemple, el delta de l'Ebre o els aiguamolls de l'Empordà) han vist augmentar la seva

freqüentació per la pràctica d'aquestes noves modalitats turístiques). Al mateix temps, però, són també unes àrees potencialment molt vulnerables a alguns dels efectes del canvi climàtic, com ara l'ascens del nivell del mar (escenari perfectament possible en el cas del delta).

Les previsions d'augment de fenòmens extrems com onades de calor podria afectar també ecosistemes molt proclius a incendis forestals (per exemple, a la Catalunya central) i perjudicar així el turisme rural, bàsic en moltes comarques de l'interior. En canvi, el turisme urbà, cultural i de patrimoni no semblaria, en principi, massa afectat per la variabilitat climàtica.

B7.7. Estratègies adaptatives als possibles efectes del canvi climàtic

En aquest apartat s'avaluen algunes de les possibles estratègies adaptatives del turisme català al canvi climàtic, comptant sobretot amb les idees i propostes que s'han extret de l'enquesta i d'altres converses amb professional i experts del sector turístic. Una idea interessant és que moltes de les estratègies d'adaptació al canvi climàtic proposades són també estratègies de reordenació futura del sector, en la línia de la diversificació, la qualitat i, en alguns casos, la sostenibilitat. Aquestes estratègies es diferencien a continuació en funció de la modalitat turística.

B7.7.1. Mesures adaptatives al turisme de sol i platja

En aquest cas i com ja s'ha comentat abans, l'increment de les temperatures mitjanes es considera un factor més aviat positiu per al sector i, en principi, no requeriria de cap estratègia específica d'adaptació o mitigació. Altra cosa són els impactes associats amb el canvi climàtic, sobretot els que malmetrien un recurs d'importància bàsica com són les platges. Les alternatives en aquest cas són prou clares: inversió en obres de defensa del litoral o reordenació de la seva activitat turística, limitant el creixement (val la pena recordar que més de la meitat de la costa catalana, uns 300 km, ja està urbanitzada) i en certs casos –i si els

fenòmens extrems augmenten la seva freqüència d'una forma considerable–, àdhuc desubintant infraestructures i medi construït de la franja litoral. En ambdós casos, però, els costos econòmics i socials poden arribar a ser extraordinaris.

B7.7.2. Mesures adaptatives al turisme d'hivern

En principi, el turisme d'hivern seria el subsector potencialment més afectat pel canvi climàtic. A altres contrades com Suïssa, ja estan sent objecte de debat quines haurien de ser les millors estratègies d'adaptació o mitigació, que en alguns casos poden ser també rellevants per al Pirineu.

En primer lloc, una resposta òbvia seria traslladar les pistes d'esquí a cotes de major altitud i per tant menys vulnerables a l'increment de la temperatura. En algunes àrees, aquesta estratègia s'aplica ja en les noves inversions. Per exemple, l'empresa francesa *Compagnie des Alps* només contempla inversions en nous dominis esquiables si aquests es troben per sobre de 2.000 m. i tenen una orientació Nord⁷. En qualsevol cas, a Suïssa l'obertura de noves pistes a cotes més elevades es descarta per motius ambientals, mentre que ni tant sols seria factible al Pirineu català per la menor alçada de la serralada i la gran escassetat de dominis esquiables més enllà dels 2.500 metres.

Una segona resposta que, com s'ha pogut veure, ha estat fonamental a l'hora de garantir la viabilitat recent de l'esquí català, consisteix en incrementar el domini esquiable proveït amb neu artificial. La neu artificial consolidarà probablement la seva hegemonia en els propers anys i actualment no es contempla cap nova instal·lació o ampliació que no disposi d'aquesta infraestructura. Els problemes, en aquest cas, són dos: els costos econòmics i ambientals dels canons de neu (aigua, energia, efectes sobre la flora i la fauna) i la manca de garantia que siguin realment útils en condicions de temperatures elevades.

7. Joan Sala, com pers., 13.05.2003.

Una tercera resposta possible és la diversificació d'activitats, especialment fora de la temporada d'esquí. De fet, moltes estacions catalanes ja estan proporcionant una oferta d'activitats a l'estiu, que es poden integrar amb altres productes com el turisme cultural i diverses manifestacions artístiques, tal i com ja s'està fent als Alps (festivals de música, teatre, etc.).

Una quarta resposta seria la contractació d'assegurances climàtiques. Així, un producte en aquesta línia que sembla estar agafant una certa empenta a Europa es basa en el sistema *NextWeather*, un conjunt d'índexs climàtics desenvolupat per prevenir els possibles impactes que la meteorologia pugui causar sobre activitats determinades. Aquest sistema és fruit d'un «partenariat» entre *Météo-France* i *Euronext* (associació que aplega les borses de valors de París, Brussel·les i Amsterdam), i el seu objectiu és oferir contractes financers en base a índexs de temperatura que permetin anticipar els impactes financers de les variacions climàtiques. Així, en el cas de les empreses turístiques, aquestes podrien rebre compensacions per una caiguda en l'activitat causada per factors climàtics. El problema, però, pot ser l'elevat cost de la prima a pagar. De fet, al Pirineu ja fa uns anys es va intentar organitzar un mercat d'assegurances per a incidències climàtiques que mai no va arribar a quallar a causa dels elevats preus dels productes oferts.

Finalment, una cinquena resposta seria la reorganització empresarial, que superi l'atomització del sector i aconsegueixi crear empreses més grans i competitives. Evidentment, aquesta resposta ultrapassa l'àmbit estricte d'aquest capítol, però des del sector es contempla com una estratègia bàsica en gestió de riscos futurs.

B7.7.3 Mesures adaptatives al turisme alternatiu

Pel que fa al turisme alternatiu, les mesures d'adaptació o mitigació passen essencialment per la conservació del patrimoni natural i cultural que sustenta aquest tipus de turisme, ampliant les fi-

gures de protecció i restringint aquells usos que puguin malmetre aquest patrimoni. Amb tot, la protecció d'espais emblemàtics com ara el delta de l'Ebre requerirà mesures que ultrapassin les capacitats de decisió de Catalunya i els àmbits específics del turisme i de la conservació de la natura, ja que impliquen territoris molt més amplis i molts altres sectors econòmics i socials.

B7.8. Conclusions

El turisme és la primera activitat econòmica de Catalunya. Es tracta d'un sector molt diversificat que comprèn el turisme de masses (sol i platja), el turisme d'hivern (esquí) i formes emergents de turisme alternatiu com les vinculades a la natura i l'aventura, al patrimoni cultural i urbà, a la pràctica de certs esports com el golf o la nàutica, a la creació de parcs temàtics, etc.

A Catalunya, el sector presenta força avantatges comparatius amb relació a d'altres destinacions, els quals seguiran sent importants en els propers anys, sobretot si augmenta la diversificació i integració dels productes. Entre aquests avantatges cal destacar la condició de país desenvolupat i estable políticament, econòmic i social, amb un bon nivell d'equipaments i serveis, la proximitat als grans mercats europeus, un important grau de fidelització dels clients i unes estructures empresarials força sòlides i experimentades.

L'anomenat «turisme de sol i platja» encara és predominant, seguit per l'esquí (amb una presència aclaparadora del mercat domèstic). Tanmateix, bona part de les diverses formes de turisme alternatiu (potser menys dependents del clima però sí dels possibles efectes del canvi climàtic sobre determinats ecosistemes) mostren un notable dinamisme que probablement s'intensificarà de cara al futur.

El clima és fonamental per a una gran part de l'oferta turística de Catalunya. Per tant, qualsevol canvi en aquest darrer podria comportar impactes molt significatius en el turisme; ara bé, que aquests siguin positius o negatius dependrà

de cada subsector i de les estratègies d'adaptació/mitigació adoptades. D'altra banda, sembla important tenir en compte la variable temporal, de forma que a curt termini no es preveuen impactes significatius, ni tampoc a llarg termini sembla que s'arribi a unes temperatures prou elevades com per fer retraure la demanda de turisme de sol i platja. En canvi, a llarg termini el turisme d'hivern, en particular, se'n pot veure afectat de forma important.

El sector turístic català no sembla ser massa conscient dels possibles impactes del canvi climàtic. Tradicionalment, aquest sector ha estat molt més atent a qüestions de caràcter conjuntural, de curt termini, que a d'altres de més estructurals. Un exemple d'això es reflectiria en els projectes de noves estacions d'esquí al Pirineu i/o l'ampliació de les existents. En part, això es pot deure a la situació viscuda a la dècada dels anys 90, prou bona per al món de l'esquí català, tot i ser la dècada més càlida dels darrers segles.

El turisme de sol i platja probablement no es veuria gaire afectat pel canvi climàtic. Ans el contrari. Una hipòtesi probable (recolzada en part per un estudi sobre el turisme britànic) és un augment de la freqüentació de visitants per l'allargament de la temporada i la disminució de l'estacionalitat. Addicionalment, l'increment més alt de les temperatures en destinacions competidores també podria influir positivament en aquest subsector.

No obstant això, alguns impactes derivats del canvi climàtic, com l'augment de la freqüència dels fenòmens extrems i l'increment del nivell del mar, poden comportar conseqüències potencialment devastadores per al turisme de sol i platja, en amenaçar un recurs bàsic com són les pròpies platges. Si aquests canvis es confirmen, aleshores caldrà decidir entre la construcció d'obres de defensa o la reordenació del medi construït a la primera línia de costa. Ambdues alternatives tenen costos potencials molt elevats. A

més, també caldrà estar amatents a la disponibilitat de recursos hídrics en el futur.

Els impactes més importants probablement recauran sobre el turisme d'hivern, tot i que també variarien força en funció de la ubicació de les estacions d'esquí. En qualsevol cas, la resposta a la variabilitat climàtica sota la forma de canons de neu artificial pot intensificar-se en el futur, especialment a les estacions més orientals del Pirineu català. Cal dir que la innivació artificial ha estat una adaptació molt reeixida a la variabilitat climàtica, tot i que presenta clares limitacions des d'un punt de vista ambiental. Amb l'ajut dels canons de neu artificial, l'esquí probablement podrà mantenir-se per sobre dels 2.000 metres d'alçada, la qual cosa podria implicar l'abandonament de part de les instal·lacions actuals que es trobin ubicades per sota d'aquesta cota.

Finalment, els impactes sobre les modalitats de turisme alternatives variaran en funció del tipus concret d'activitat. D'antuvi no sembla que el turisme cultural i urbà s'hagi de veure massa afectats. En canvi, l'anomenat ecoturisme i el turisme rural ho podrien estar en la mesura que el patrimoni natural que els sustenta (per exemple les zones humides del litoral) evolucioni en un sentit o en un altre com a conseqüència del canvi climàtic.

A tall de conclusió, es pot afirmar que el sector turístic català ha iniciat un procés d'adaptació a les noves tendències en el món del turisme, especialment orientades cap a la diversificació i integració de «productes» i «paquets», així com a la millora de la qualitat (incloent de manera molt significativa la millora en el rendiment ambiental de les empreses i destinacions turístiques). En reduir el risc de dependència d'un sol àmbit, el sector també estaria més ben preparat per afrontar els possibles impactes del canvi climàtic. Caldrà veure però, si aquesta tendència es converteix en una realitat durant els propers anys.

Referències bibliogràfiques

- ANTON CLAVÉ, S. (2002). «El model turístic de Catalunya enfront de les noves tendències de la demanda». *Revista de Geografia*, núm.1, pàg. 119-128.
- BENNINSTON, M. (1997). «Variations of snow depth and duration in the Swiss Alps over the last 50 years: Links to changes in Large-Scale Climatic Forcings». A: *Climatic Change*, núm. 36, p. 281-300.
- BESANCENOT, J. P. (1991). *Clima y turismo*. París: Masson.
- BRUNET, M.; AGUILAR, E.; SALADIÉ, O.; SIGRÓ J.; LÓPEZ, D. (2001). «La evolución de las temperaturas en el Nordeste de España desde la segunda mitad del s. XIX hasta el presente». *Actas del XVII Congreso de la Asociación de Geógrafos Españoles*. Oviedo: AGE y Universidad de Oviedo, p. 140-143.
- CAPELLA, H.; CORS, M.; GÓMEZ, B. (1997). «Nuevos turismos litorales en Cataluña». *Actas del XV Congreso de la Asociación de Geógrafos Españoles*. Santiago de Compostela: AGE y Universidad de Santiago de Compostela, p. 303-311.
- CERON, J.P.; DUBOIS, G. (2003) «Tourisme et changement climatique: Une relation à double sens. Le cas de la France». A: *Primera Conferència Internacional sobre Canvi Climàtic i Turisme. Djerba, Tunisia, 9-11 abril de 2003*.
- CUADRAT PRATS, J.M. (1983). «Método de clasificación de tipos de tiempo aplicados al turismo de montaña». Barcelona: AGE y Publicaciones de la Universidad de Barcelona, p. 11-16.
- DIRECCIÓ GENERAL DE TURISME (diversos anys): *Resum de la temporada turística*. Barcelona: Departament de Treball, Indústria, Comerç i Turisme, Generalitat de Catalunya.
- DIRECCIÓ GENERAL DE TURISME (2002a). *Oferta. Allotjaments turístics*. Barcelona: Departament de Treball, Indústria, Comerç i Turisme, Generalitat de Catalunya.
- DIRECCIÓ GENERAL DE TURISME (2002b). *Oferta. Oferta complementària*. Barcelona: Departament de Treball, Indústria, Comerç i Turisme, Generalitat de Catalunya.
- DIRECCIÓN GENERAL DE TURISMO (2001). *Guía de turismo activo*. Madrid: Instituto de Turismo de España (TURESPAÑA).
- GILES, A.R.; PERRY, A.H. (1998). «The use of a temporal analogue to investigate the possible impact of projected global warming on the UK tourist industry», *Tourism Management*, vol. 19, núm. 1, p. 75-80.
- GÖSSLING, S. (2002). «Global Environmental Consequences of Tourism». *Global Environmental Change*, 12, p. 283-302.
- GÓMEZ MARTÍN, Belén (1999) «La relación clima-turismo: consideraciones básicas en los fundamentos teóricos y prácticos», *Investigaciones Geográficas*, 21, p. 21-34.
- GÓMEZ MARTÍN, Belén; CORS, Martí (2001). Los deportes de aventura en el Pallars Sobirà (Lleida). Implicaciones turísticas y territoriales. *Actas del XVII Congreso de la Asociación de Geógrafos Españoles*. Oviedo: AGE y Universidad de Oviedo (p. 335-339).
- GÓMEZ MARTÍN, B.; LÓPEZ PALOMEQUE, F.; MARTÍN-VIDE, J. (2002). «Aptitud climática y turismo. Variaciones geográficas y cronológicas de la potencialidad climático-turística del verano en Cataluña», *Eria. Revista de Geografía*, núm. 59, p. 333-345.
- GURRI, F. (1998). «La sostenibilitat del patrimoni turístic-natural de Catalunya». *Estudis Turístics de Catalunya*, 2, p. 10-16 (versió PDF a <www.gencat.net/turisme/ etc>).
- HARRISON, S.J.; WINTERBOTTOM, S.J.; SHEPPARD, D. (1999). «The potential effects of climate change on the Scottish tourist industry», *Tourism Management*, núm. 20, p. 203-211.
- IPCC (2001). *Climate Change 2001*. Cambridge: Cambridge University Press.
- KENT, M.; NEWNHAM, R.; ESSEX, S. (2002). «Tourism and sustainable water supply in Mallorca: a geographical analysis», *Applied Geography*, núm. 22, p. 351-374.
- KOENIG, U.; ABEGG, B. (1997). Impacts of Climate Change on Winter Tourism in the Swiss Alps, *Journal of Sustainable Tourism*, vol. 5, núm. 1, p. 46-58.
- LACOSTA, A.J. (2001). «Aproximación al sector del turismo activo y de aventura en España. Implicaciones territoriales y distribución espacial». A: *Actas del XVII Congreso de la Asociación de Geógrafos Españoles*. Oviedo: AGE y Universidad de Oviedo (p. 358-364).
- LISE, W.; TOL, R.S.J. (2002). «Impact of Climate on Tourist Demand», *Climatic Change*, núm. 55, p. 429-449.
- LÓPEZ PALOMEQUE, F. (1996). «Turismo de invierno y estaciones de esquí en el Pirineo Catalán», *Investigaciones Geográficas*, núm. 15, p. 19-39.
- LÓPEZ PALOMEQUE, F. (1997). «La generalización especial del turismo en Cataluña y la nueva dialéctica litoral-interior». *Actas del XV Congreso de la Asociación de Geógrafos Españoles*. AGE y Universidad de Santiago de Compostela (p. 409-418).

MADDISON, D. (2001). «In search of warmer climates? The Impact of Climate Change on flows of British Tourists», *Climatic Change*, núm. 49, p. 193-208.

MARTIN, E. (2002). *Espaces*, p. 39.

MONFORT, V.M.; URIEL, E. (2003). «Turismo: desafíos y propuestas». *El País Negocios*, núm. 26, Octubre, p. 18.

TRAVEL RESEARCH INTERNATIONAL LIMITED (2003). «La corrélation entre le tourisme et le changement climatique». A: *Primera Conferència Internacional sobre Canvi Climàtic i Turisme. Djerba, Tunísia, 9-11 abril*.

VINER, D.; AGNEW, M. (1999). *Climate Change and its Impact on Tourism*. Report prepared for WWF-UK. Climate Research Unit, University of East Anglia. (disponible a <www.cru.uea.ac.uk/tourism>).

WORLD WILDLIFE FUND (WWF) (2000). *Tourism and Climate Change* (disponible a <www.wwf.org.uk>).

Annex

Relació d'especialistes contactats que han respost l'enquesta*

José María Abos, estació d'esquí Formigal (Osca); Carlos J. Baños; Diego A. Barrado, AN-TAR, Taller de Estrategias, Universidad Autónoma de Madrid; Mariano Barriendos; Alba Caballé, Oficina de Promoció Turística, Diputació de Barcelona; Xavier Campillo, Escola Universitària de Turisme, Universitat Autònoma de Barcelona; Josep Cerveró, ATI-MARKEFIN S.L.; Martí Cors, Departament de Geografia, Universitat de les Illes Balears; Antonio J. Lacosta Aragüés, Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza; Xavier Font, Diputació de Barcelona; Rosa Maria Fraguell, Departament de Geografia, Universitat de Girona; Ramon Ganyet; Helena Giné; Belén Gómez Martín, Departament de Geografia Física i Anàlisi Geogràfic Regional, Universitat de Barcelona; Luis Herrero, CONSULTUR; Agustí Jansà; Sole Jiménez Setó, Escola Universitària de Turisme dels Pirineus; Mercedes Laita; Raul Lardiés, Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza; Lluís Mundet, Escola Universitària de Turisme, Universitat de Girona; Jorge Olcina Cantos, Departament d'Anàlisi Geogràfica Regional, Universitat d'Alacant; Marc Pavia, CONSULTUR; Meritxell Pedreño; Llorenç Prats, Universitat de Barcelona; Gerda Priestley, Departament de Geografia i Escola Universitària de Turisme, UAB; Climent Ramis, Departament de Física, Universitat de les Illes Balears; Josep Maria Raso Nadal, Universitat de Barcelona; Joan Sala; Pere Salvà, Departament de Geografia, Universitat de les Illes Balears; Xosé M. Santos, Universidade de Santiago de Compostela; Miquel Seguí, Departament de Geografia, Universitat de les Illes Balears; José Antonio Varela.

* Per desig personal, algunes enquestes han estat anònimes. Altrament, alguns dels participants han declinat fer constar el nom de la organització on desenvolupen les seves activitats (el nom de la organització era opcional a l'enquesta).

B8. Recursos hídrics, dinàmica hidrològica i canvi climàtic

Josep Mas-Pla

Unitat de Geodinàmica Externa i d'Hidrogeologia. Departament de Geologia.
Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals (ICTA)
Universitat Autònoma de Barcelona (UAB)

Josep Mas-Pla (Girona, 1962) és doctor en Ciències Geològiques per la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) des de l'any 1988 i Ph.D. en Hidrologia i Recursos Hidràulics per la Universitat d'Arizona (Estats Units d'Amèrica) des de l'any 1993. És professor titular de l'àrea de Geodinàmica Externa a la UAB, i ha estat coordinador de la llicenciatura en Ciències Ambientals a la mateixa universitat (període 1998-2002). Com a professor visitant ha realitzat cursos i estades a la UC Davis (Estats Units d'Amèrica), a les universitats de Torí i Venècia (Itàlia) i a l'ENI d'Sfax (Tunísia).

Ha desenvolupat la seva recerca en l'àmbit de la hidrogeologia regional, la qualitat de recursos hídrics i la modelització de la dinàmica hidrològica. Actualment el seu àmbit de recerca se centra en l'avaluació de la dinàmica hidrològica i de recursos hídrics als sistemes de l'Empordà, la Selva i la Tordera mitjançant l'ús de dades hidrogeològiques de camp, la geoquímica i isòtops. Ha publicat en revistes nacionals i estrangeres, entre les quals cal destacar *Water Resources Research*, *Journal of Hydrology* i *Ground Water*.

Síntesi	489
B8.1. Introducció	491
B8.2. El cicle hidrològic en el context del canvi climàtic	492
B8.2.1. Tendències en la precipitació i la temperatura	
B8.2.2. Efectes en les relacions entre els components del cicle hidrològic	
B8.3. Les aigües superficials	495
B8.3.1. Les aportacions dels rius	
B8.3.2. El cas de l'Alt Cardener a l'embassament de la Llosa de Cavall	
B8.3.3. Influència de canvis d'ús del sòl a la conca de l'Ebre	
B8.4. Les aigües subterrànies	501
B8.4.1. Exemple d'un aqüífer al·luvial; el cas del riu Daró	
B8.4.2. El cas de les zones de muntanya	
B8.4.3. La problemàtica a les zones litorals	
B8.5. Impactes en el proveïment, la qualitat i el medi natural. Riscos derivats del canvi climàtic.	506
B8.5.1. Impactes sobre l'abastament de recursos hídrics	
B8.5.2. Impactes en la qualitat dels recursos	
B8.5.3. Impactes sobre el medi natural	
B8.5.4. Riscos associats al canvi climàtic	
B8.6 Adaptació al canvi climàtic	511
Referències bibliogràfiques	515

Síntesi

Els possibles efectes del canvi climàtic (especialment, en la temperatura i la pluviometria) sobre la dinàmica hidrològica i la disponibilitat de recursos hídrics es descriuen en base a les modificacions que aquest fenomen podria introduir al llarg del cicle hidrològic, considerat com una unitat. No obstant això, els canvis observats en aquest cicle no poden ser atribuïts únicament a aquest fenomen, sinó que també cal considerar els efectes generats per tot un conjunt de canvis d'origen antròpic –en els usos del sòl, en la demanda de recursos hídrics, etc.– molt lligats a les tendències socioeconòmiques experimentades pel nostre país durant les darreres dècades. Per aquest motiu, caldria estudiar les possibles modificacions en el cicle de l'aigua com a resultat del canvi ambiental global, no tant com a conseqüència únicament del canvi climàtic.

En aquesta part de l'estudi es descriuen el conjunt d'efectes que les possibles variacions de temperatura i pluviometria poden fer sobre l'escolament superficial i la freqüència de cabals extrems, la recàrrega dels aqüífers, el fenomen d'intrusió marina existent en nombrosos aqüífers litorals, l'evapotranspiració i, finalment, sobre la dinàmica ecològica dels hàbitats presents en les zones humides.

En referència a les aigües superficials es presenten els canvis observats en els cabals diaris mitjans ocorreguts en els darrers noranta anys a la conca del riu Fluvià, l'única de Catalunya que no presenta significants regulacions ni derivacions del cabal. Els resultats indiquen un augment de la variabilitat intra- i interanual des de la dècada de 1960. Tanmateix, es consideren els càlculs realitzats per l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA) sobre la simulació dels efectes que l'augment de la temperatura i la disminució de la precipitació ocasionarien en les aportacions del Cardener a l'embassament de la Llosa de Cavall.

Amb referència a l'afecció antròpica al cicle hidrològic, es resumeixen els treballs de F. Gallart, P. Llorens i col·laboradors en l'avaluació dels canvis d'ús del territori a la conca de l'Ebre.

En el cas de les aigües subterrànies, es comparen els possibles efectes de la disminució de les precipitacions amb l'evolució dels nivells hidràulics a l'aqüífer al·luvial del Daró durant el darrer període de sequera (1996-2001). Aquest exemple permet il·lustrar el comportament d'aqüífers simples i la seva afecció al subministrament de les necessitats antròpiques. També es consideren les raons que poden haver afectat els recursos subterranis en zones de muntanya, prenent com exemple les variacions observades al Montseny a les darreres dècades.

La demanda d'aigua a Catalunya és de l'ordre d'un 70-80% dels recursos anuals generats, amb una major dependència de les aigües superficials que de les subterrànies. Davant d'aquesta disponibilitat limitada de recursos, es discuteixen les influències que les possibles afeccions del canvi ambiental al cicle hidrològic descrites anteriorment poden tenir en l'abastament dels diferents tipus de demanda antròpica i ecològica, tant en quantitat com en qualitat. Concretament, es descriuen els impactes al medi natural en àmbits fluvials (bosc de ribera) i zones humides, on l'acció antròpica directa es preveu més agressiva que els canvis derivats de la dinàmica climàtica global. En un sentit similar es valoren els riscos associats al canvi ambiental, especialment el risc d'inundacions.

Finalment, es consideren breument les propostes de transvasament d'aigua des de i cap a Catalunya (tant els que es preveien al Pla Hidrològic Nacional com el possible transvasament del Roine) dins de les necessitats existents, i les estratègies de planificació en l'entorn del canvi

ambiental. En l'estat de coneixement actual dels recursos hidrològics, s'avaluen distintes opcions adaptatives a les influències del canvi ambiental en la dinàmica hidrològica i en la disponibilitat

d'aigua. Així, es valoren possibles accions d'adaptació al canvi, tant a la banda dels recursos –oferta– com de la demanda, per una gestió sostenible en el marc d'una situació de canvi.

B8.1. Introducció

El clima està canviant. La modificació del balanç energètic repercuteix en les dinàmiques del planeta i, entre elles, en el cicle de l'aigua. Actualment ja es disposa de prou observacions per fonamentar aquesta tendència, malgrat que la forma concreta com afectarà els recursos hídrics és encara poc coneguda, ateses la dimensió global del fenomen, les limitacions de les observacions disponibles i dels models de predicció, i la mateixa complexitat del cicle hidrològic. Amb tot, es pot afirmar que tots els components del cicle seran modificats, així com els balanços entre ells. Aquest fet no és gens banal, ja que incidirà en gran mesura en la disponibilitat de recursos hídrics, tant en quantitat com en qualitat, amb la qual cosa els ecosistemes i l'abastament humà poden veure's clarament afectats. Aquestes modificacions de caràcter global en el cicle hidrològic cal considerar-les en el context de la conca hidrogràfica, tenint en compte les importants repercussions que pot tenir a nivell territorial i les possibles incidències en els àmbits social i econòmic.

Aquest capítol té com a objectiu descriure les modificacions que el canvi climàtic exercirà sobre el cicle hidrològic de manera integral; és a dir, considerant el manteniment hídric dels ecosistemes, l'explotació antròpica dels recursos i les conseqüències, dificultats i oportunitats que poden derivar d'aquest canvi.

Extrapolar l'efecte de les tendències climàtiques i el seu impacte en el cicle hidrològic en el territori català és una opció que té associat un cert risc. D'una banda, les prediccions existents sobre la variació dels paràmetres climàtics –precipitació i temperatura– presenten una alta incertesa a la Mediterrània occidental i només són un referent del que podria succeir a Catalunya. De l'altra, no hi ha estudis de detall que indiquin com aquestes variacions modifiquen la dinàmica hidrològica regional i, encara menys, la idiosincràcia de cada conca hidrogràfica (en particular els seus trets climàtics, geològics i humans).

No obstant això, el canvi climàtic no és l'únic factor que comportarà modificacions en el cicle hidrològic i, possiblement, tot i la seva transcendència, tampoc en deu ser el més determinant (IPCC, 2001). Altres aspectes, com els canvis en l'ús del territori, l'increment del tipus i valor de la demanda, així com la mateixa gestió dels recursos en un termini curt i mitjà seran tan o més determinants que els canvis a escala global. Per aquest motiu, és més adequat parlar de *canvi ambiental* per fer referència al conjunt de modificacions imposades pel clima i per l'acció antròpica.

En referència a l'impacte antròpic sobre els recursos hidrològics, W. Graf (citats a Showstack, 2004) reconeix que la influència antròpica ja ha estat superior a la que raonablement podria esperar-se del canvi climàtic *per se* i aporta l'exem-

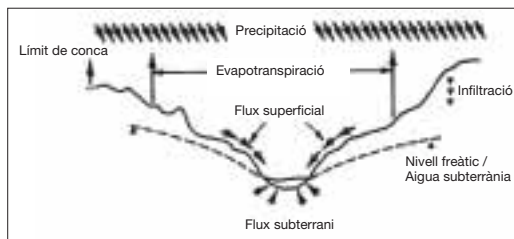


Figura B8.1. Esquema general del cycle hidrològic en una conca hidrogràfica. A escala de conca s'aprecia, a més dels diferents components del balanç hídric, la relació entre aigües superficials i subterrànies.
Font: modificat d'un original de Domenico i Schwartz, 1998.

ple de la intensa alteració que la construcció d'embassaments als EUA ha exercit sobre els pics de cabal dels rius nordamericans.

B8.2. El cycle hidrològic en el context del canvi climàtic

El cycle hidrològic estableix el balanç d'aigua en un àmbit geogràfic definit, habitualment la conca

hidrogràfica, si bé els fluxos d'aigua subterrània poden creuar els seus límits. Aquest balanç indica, a grans trets, com les entrades d'aigua en forma de precipitació (pluja, neu) es distribueixen en:

- 1) Pèrdues cap a l'atmosfera per evaporació i transpiració de la coberta vegetal (fenòmens que es coneixen conjuntament amb el nom d'evapotranspiració).
- 2) Escorrentiu superficial en els rius.
- 3) Infiltració cap al subsòl, donant lloc a la recàrrega dels aqüífers.

La quantitat d'aigua o volum del recurs hídric, que resta disponible com aigua superficial o subterrània, s'aproxima amb el càlcul de la diferència entre la precipitació total (P) i l'evapotranspiració (ET), depenent de la temperatura i de la coberta vegetal (figura B8.2)

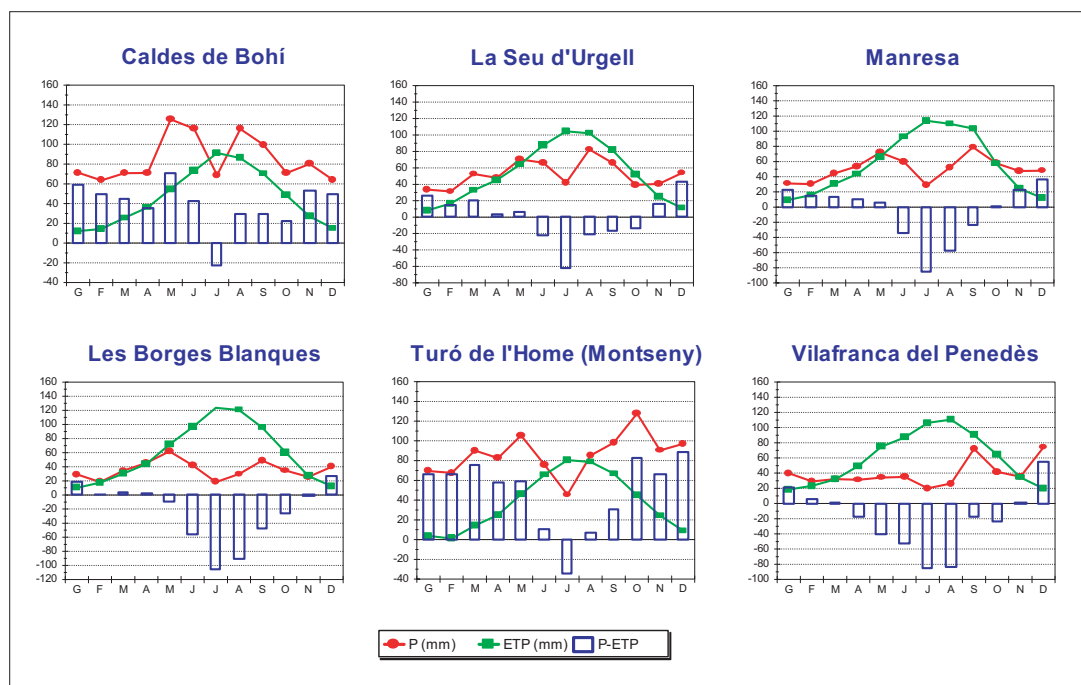


Figura B8.2. Diagrames climàtics de distintes àrees de Catalunya. Indiquen el déficit d'aigua generalitzat arreu del país, excepte a les àrees de muntanya (representades pels observatoris de Caldes de Boí i Montseny), i la distribució estacional d'aquest déficit.
Font: elaboració pròpia amb dades de León Llamazares, 1989.

És obvi, doncs, que la modificació dels paràmetres climàtics (P, ET) condiciona el balanç hídric a qualsevol escala. No obstant això, en les consideracions ambientals d'aquest balanç, cal destacar els dos aspectes següents:

- 1) Interesen, principalment, la tendència de les sèries climàtiques, la seva variabilitat i la freqüència amb què tenen lloc els episodis extrems, com a complement de les anàlisis amb valors mitjans, com les de la figura B8.2. Un any extremadament humit, per exemple, pot compensar el nivell dels aqüífers després d'uns anys de sequera.
- 2) Cal enfocar les consideracions referents als efectes del canvi climàtic més cap a les relacions entre els diferents components del cicle, que no a les variacions de cada un d'ells independentment.

Finalment, l'ús antròpic dels recursos produeix canvis importants en el balanç hídric d'una conca determinada i n'altera la dinàmica hidrològica, de manera que les necessitats naturals (és a dir, aquelles que permeten el desenvolupament correcte dels processos geodinàmics i dels ecosistemes) se'n veuen ressentides. En aquest sentit, és necessari recordar l'anomenat "mite del balanç hídric" (Alley et al., 1999), que expressa, erròniament, que la quantitat d'aigua disponible per al consum humà pot calcular-se emprant les condicions hidrològiques existents abans del desenvolupament humà sense considerar les necessitats hídriques de processos i ecosistemes (Sophocleous, 2000).

B8.2.1. Tendències en la precipitació i la temperatura

La precipitació, entrada principal del sistema hidrològic, és la responsable de la variabilitat del balanç hídric i té profundes implicacions en el conjunt del cicle hidrològic (IPCC, 2001). En aquest sentit, la precipitació anual pot variar de forma diferent en funció de la latitud, essent encara incerta la tendència que tindrà en l'àmbit de

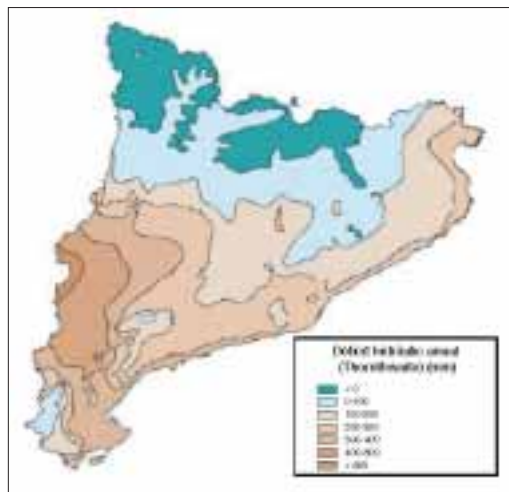


Figura B8.3. Mapa de dèficit hídric a Catalunya.
Font: extret de CADS, 2003.

la Mediterrània occidental. El que les estimacions mostren és que la freqüència de les precipitacions extremes augmentarà. És a dir, no cal esperar grans variacions en la quantitat total, però sí en la intensitat dels episodis de precipitació.

Pel que fa a les temperatures, es preveu, amb un marge de certesa més elevat, que aquestes augmentaran en un termini de temps curt o mitjà. Això implica, d'una banda, la disminució d'entrades en forma de neu. De l'altra, un augment de la evaporació en masses d'aigua lliure (mars, rius, estanys, zones humides) i del sòl. La implicació de la vegetació en la transferència d'aigua del sòl a l'atmosfera és, però, més complexa. Els canvis de temperatura poden contribuir a un canvi del tipus de coberta i, amb ell, del potencial transpirant. Com s'ha apuntat anteriorment, el canvi de tipus de vegetació obeeirà, més probablement, a una variació per causes antròpiques dels usos del sòl que a modificacions de caire natural.

L'evapotranspiració *real* està limitada per la disponibilitat d'aigua. Així, en àrees on actualment ja existeix un dèficit hídric ($P - ET < 0$; figura B8.3), les tendències esmentades no suposarien a priori cap augment dels recursos disponibles.

En el cas de la península Ibèrica, Ayala-Carcedo (2001) apunta l'existència d'un ample consens sobre el fet que hi haurà una reducció de la precipitació, especialment al sud, juntament amb un augment de la seva variabilitat interanual, i un augment de la temperatura, especialment a l'estiu i al litoral mediterrani. Concretament, s'ha quantificat en una reducció de la precipitació del 2% a les conques del Nord, un 17% a les del sud, i un augment de la temperatura del 2,5% (Ayala-Carcedo i Iglesias, 2000).

En el cas concret de Catalunya, Martín-Vide (2005) fa una anàlisi detallada dels efectes del canvi climàtic pel que fa a temperatura i precipitació. En primer lloc, destaca la gran heterogenitat climàtica de Catalunya, que implica un escenari complex davant d'aquest fenomen, i requereix una anàlisi a escala comarcal o supracomarcal. Pel que fa a la temperatura, les prediccions indiquen que s'ampliaria l'àrea amb una temperatura mitjana anual superior a 14°C i disminuiria la superfície amb temperatures mitjanes anuals inferiors a 10°C. La tendència de les sèries de dades és creixent, amb un comportament similar al de la resta del planeta. Respecte a la precipitació, la variabilitat imposada pel canvi climàtic és un dels trets més significatius, tot i que les dades més recents són estadísticament comparables, a escala internacional, a les de finals del segle XIX. En un estudi de seguiment de 139 observatoris catalans, l'estudi estadístic de la sèrie dels darrers 30 anys suggereix una apreciable reducció de la quantitat anual de precipitació en el conjunt de Catalunya. Les dades indiquen, a més, la disminució de la innivació, un descens en el nombre de dies amb precipitació quantiosa i l'augment de les precipitacions torrencials.

B8.2.2. Efectes en les relacions entre els components del cicle hidrològic

Dins d'un marc enterament teòric i simplista, és possible descriure alguns dels efectes que les modificacions climàtiques exerciran en el conjunt del cicle hidrològic. Aquestes transforma-

cions poden entendre's com la base conceptual per interpretar la incidència del canvi climàtic en la hidrologia. Cal tenir sempre present la complexitat d'aquests processos en el món real, a causa de la interrelació entre els factors actuants, a la seva gran variabilitat espacial i temporal i, igualment important, a la incidència ant tròpica mitjançant explotacions, embassaments, transvasaments i altres modificacions del cicle hidrològic en una conca determinada.

La diferència entre precipitació i evapotranspiració apuntada en l'apartat anterior determina dos aspectes bàsics: la generació de cabals superficials i la recàrrega dels aqüífers per infiltració. El cabal dels rius i torrents s'origina tant pel drenatge superficial de la precipitació incident, com per les aportacions d'aigua subterrània a la llera (figura B8.1). La recàrrega dels aqüífers té lloc a través de la infiltració directa de la precipitació incident i també de les aigües superficials. En ambdós casos, la relació que s'estableix entre el riu i l'aqüífer és determinant en la dinàmica hidrològica.

Els escenaris plantejats pel futur descriuen episodis pluviomètrics intensos, concentrats estacionalment. Pel que fa als recursos superficials, es pot esperar una ràpida acumulació de l'aigua a la llera, una disminució del total infiltrat al subsòl (ja que la intensitat de la precipitació superarà la capacitat d'infiltració del sòl) i la generació més freqüent d'avingudes amb un cabal elevat. En definitiva, es modifica el temps de residència de l'aigua incident a la conca, essent traspasada ràpidament a una conca d'ordre superior o a l'oceà i, amb ella, disminueix la possibilitat de recuperar les reserves i compensar les extraccions dels recursos locals.

La relació riu-aqüífer és una de les bases en la gestió de rius, d'aqüífers al·luvials i dels espais naturals relacionats: bosc de ribera, zones humides, etc. En episodis de crescuda, s'estableix un flux del riu a l'aqüífer, amb la conseqüent recàrrega de les aigües subterrànies. En canvi, en episodis de sequera és l'aqüífer qui aporta aigua

al riu, sempre que el nivell freàtic se situï a una cota superior a la llera i existeixi una connexió hidràulica adequada entre ambdós elements. En aquest segon cas, el flux d'aigua subterrània determina el cabal d'esgotament de la conca i el seu decreixement progressiu condiona el temps en assolir un cabal més petit que el que és necessari per a un funcionament ecosistèmic correcte (cabal de manteniment o ecològic).

En el context de les variacions climàtiques futures, és possible preveure un biaix cap a cabals baixos durant llargs períodes de temps, la qual cosa impediria la recàrrega del aqüífer i donaria lloc al descens dels nivells freàtics i a un esgotament efectiu del sistema, que comprometria el cabal ecològic de les lleres.

En el cas dels aqüífers confinats, les condicions són notablement diferents. La seva recàrrega només té lloc en aquelles zones on la formació geològica –o el conjunt de formacions– que el constitueix aflora a la superfície. El temps de residència de l'aigua en aquests aqüífers sol ser de l'ordre de dècades (o més llarg), de manera que canvis estacionals o interanuals a curt termini poden no afectar-los de forma immediata. No obstant això, una disminució de la recàrrega perllongada i estable podria donar lloc a casos de *mineria d'aigua*, és a dir, d'exploració de recursos hidrològics amb una escassa o nul·la renovació.

En els casos més habituals, les zones humides deuen l'origen i la renovació de l'aigua a desbordaments del riu o a precipitacions intenses que faciliten la seva inundació i/o a la relació amb el nivell freàtic subjacent. En qualsevol cas, les tendències climàtiques tampoc n'afavoririen el manteniment. No obstant això, la vulnerabilitat de les zones humides a canvis d'usos en el seu entorn immediat constitueix un risc més elevat per a la seva pervivència que el mateix canvi climàtic.

Finalment, els efectes del canvi climàtic sobre els recursos hidrològics de les zones litorals són els més evidents. Tant pel que fa als recursos su-

perficials com als subterranis, cal avaluar, juntament amb el seu propi descens, la importància de l'augment del nivell del mar. En el cas dels rius, la penetració de l'aigua salada a través de la llera donarà lloc a la falca salina i a un increment de la salobritat de les aigües superficials en èpoques de cabals baixos (que tendiran a fer-se més freqüents). En el cas dels aqüífers, la penetració de la falca marina depèn de l'alçada del nivell freàtic respecte al nivell del mar (*llei de Ghyben-Herzberg*). En el cas de l'escenari futur previst, tant l'increment del nivell del mar com els descensos del nivell freàtic actuarien a favor d'una penetració més gran de la falca salina i del deteriorament de la qualitat dels recursos subterranis (figura B8.4). La morfologia planera de moltes zones litorals (planes fluvio-deltaiques) és un factor favorable per al desenvolupament d'aquest escenari tan poc desitjat.

B8.3. Les aigües superficials

Segons les dades del *Pla Hidrològic de les Conques Internes de Catalunya (CIC)*, aproximadament el 65% dels recursos generats són d'origen superficial. A la conca de l'Ebre, el percentatge s'acostaria al 100%. Això vol dir, doncs, que l'explotació de rius, a través de derivacions o embassaments és la principal opció d'abastament. S'ha de dir, però, que els grans rius de Catalunya –excepte el riu Fluvià– presenten una intensa regulació, ja sia en forma d'embassaments de grans dimensions o amb derivacions per a reg o per a mini-centrals elèctriques.

Des de la perspectiva hidrològica, els cabals registrats en les diverses estacions d'aforament corresponen al resultat de la gestió hidràulica aigües amunt. Així, és pràcticament impossible poder determinar les tendències en la variació dels cabals experimentades durant les darreres dècades. Només el riu Fluvià permet una anàlisi d'aquestes característiques, com s'explica més endavant,

En termes generals, les variacions de cabal observades arreu del món són coherents amb les

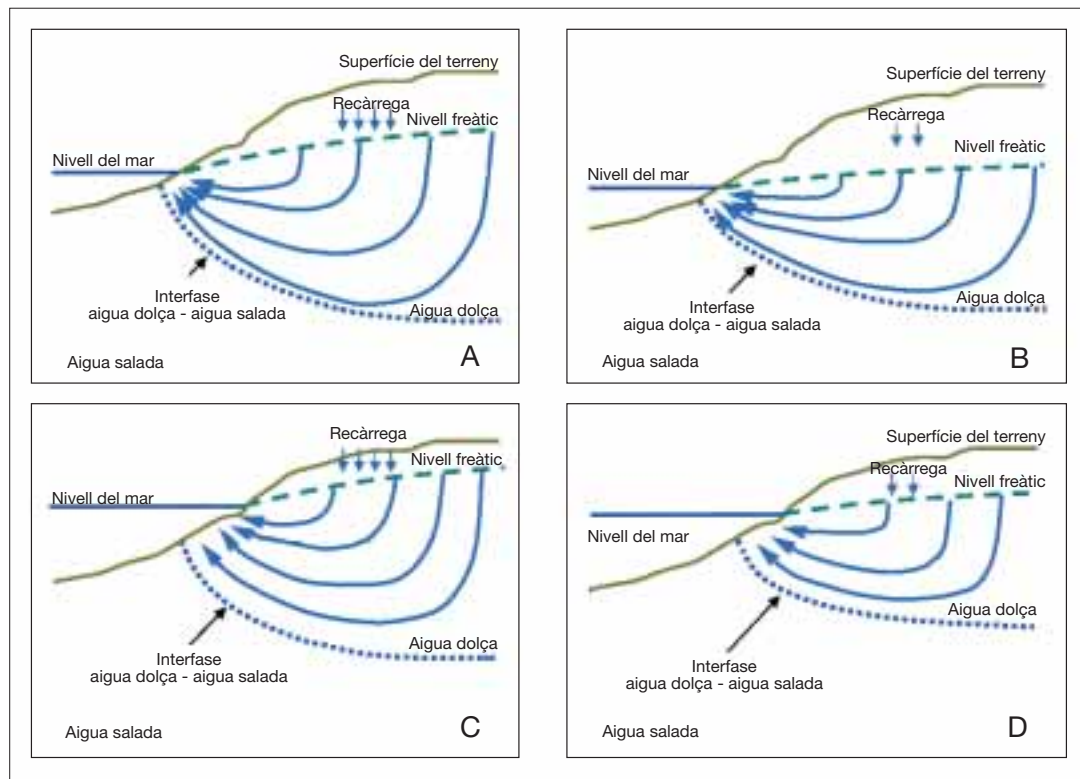


Figura B8.4. Modificació de la dinàmica hidrològica a les zones litorals com a conseqüència de les tendències climàtiques. L'esquema A mostra la situació actual, amb un gradient hidràulic i una falca marina establerts. El gràfic B mostra les conseqüències resultants de la disminució de la recàrrega per precipitació: disminució del nivell freàtic i ascens de la falca marina. El gràfic C representa les variacions causades per un ascens del nivell del mar: inundació d'àrees litorals, elevació relativa del nivell freàtic i la conseqüent modificació de la falca marina. Finalment, l'esquema D inclou ambdós efectes: la disminució de la recàrrega i la variació del nivell del mar.
 Font: elaboració pròpia.

variacions en la precipitació, malgrat que sovint les intervencions humanes dificulten distingir els efectes nets (IPCC, 2001). Tanmateix, la freqüència dels cabals baixos tendirà a augmentar. Amb els escenaris de precipitació descrits, també s'incrementa el risc d'inundacions associat a cabals extrems.

Pel que fa a les aigües superficials, la modificació dels sistemes hidrològics ha estat valorada en algunes conques de Catalunya en funció dels possibles efectes del canvi climàtic o de canvis d'ús del sòl. Ambdós són interessants ja que quantifiquen la resposta del sistema a una realitat canviant. En aquest apartat es mostren algunes ca-

racterístiques dels rius catalans i les valoracions esmentades anteriorment.

B8.3.1. Les aportacions dels rius

L'aforament dels rius catalans per part de l'Administració (actualment, l'Agència Catalana de l'Aigua) permet observar el registre de cabals durant considerables períodes de temps –sovint dècades–.

Les dades exposades a la taula B8.1 mostren l'evolució dels cabals en diferents rius de Catalunya, així com una comparació de la mitjana entre les dades del període 1910-1990 i les de l'any hidrològic 1998/99, el qual s'inclou en el darrer pe-

Rius i afluents	Superfície (km²)	Estació d'aforament	Aigua aportada (període 1910-1999)						Any 1998/99	
			Anys	tardor	hivern	primavera	estiu	Total (hm³)	Total (hm³)	
Conques internes										
Muga	854	Castelló d'Empúries	26	29,4	39,4	23,9	8,8	101,5	-	
Fluvià	1.125	Garrigàs	23	87,7	106,5	86,9	45,8	326,9	106,8	
Ter	3.010	Roda de Ter	59	136,1	123,2	178,8	96,8	534,9	427,2	
Ridaura	74	Sta. Cristina d'Aro	27	2,0	2,7	1,1	0,2	5,9	1,0	
Tordera	894	Sant Celoni	74	7,9	8,0	6,5	2,5	24,9	6,6	
Besòs	1.039	Sta.Coloma de Gramenet	31	39,4	39,8	35,7	18,5	133,4	88,4	
Congost		la Garriga	75	7,1	6,3	5,4	2,0	20,9	-	
Llobregat	4.948	Martorell	77	160,6	162,0	207,3	116,5	646,3	300,6	
Cardener	1.373	Manresa	84	49,0	48,0	60,1	37,0	194,1	-	
Anoia	929	St. Sadurní d'Anoia	38	17,6	18,6	19,8	16,6	72,6	34,0	
Foix	312	Castellet de Foix	66	2,9	2,4	2,2	1,4	8,9	-	
Gaià	423	Vilabella	24	4,4	5,6	4,6	3,0	17,6	6,0	
Francofí	838	Tarragona	25	11,4	12,1	9,3	2,9	35,7	9,0	
Siurana	627	Comudella de Montsant	39	2,0	2,2	2,3	0,9	7,3	7,2	
Conca de l'Ebre										
Ebre	15.634	Tortosa	56	3.629,0	5.280,0	4.650,0	1.547,0	14.909,0		
Segre	22.579	Lleida	23	587,5	608,8	889,5	448,7	2.677,0		
Valira	562	la Seu d'Urgell	47	50,9	40,6	188,4	57,0	339,8		
Noguera Pallaresa	2.820	la Pobla de Segur	31	208,7	194,5	550,0	207,5	1.170,0		
Noguera Ribagorçana	2.046	el Pont de Suert	32	108,6	82,3	210,0	124,6	529,1		

Taula B8.1. Dades dels cabals a diferents estacions d'aforament de Catalunya.

Font: IDESCAT (2002).

riode de sequera (1995-2001). Aquestes dades són indicatives dels recursos hidrològics superficials i mostren la important influència de l'estacionalitat en el règim de cabals. No obstant això, el fet de passar pel filtre dels embassaments, amb les conseqüents regulacions i les extraccions per a diferents usos al llarg del seu recorregut, fa que aquestes dades siguin poc representatives del comportament *natural* del sistema i, per tant, del possible efecte del canvi climàtic.

La conca del riu Fluvià permet realitzar un exercici més acurat. Atès que no existiesen grans infraestructures de regulació a la seva conca, els únics aprofitaments es deuen a les derivacions per a us domèstic i industrial. Concretament, la conca del riu Fluvià presenta tres estacions d'aforament (a Olot, Esponellà i Garrigàs), representatives del 12, 71 i 80% de la superfície de la conca (974 km²), respectivament. Atès que les dues primeres iniciaren la recollida de dades l'any

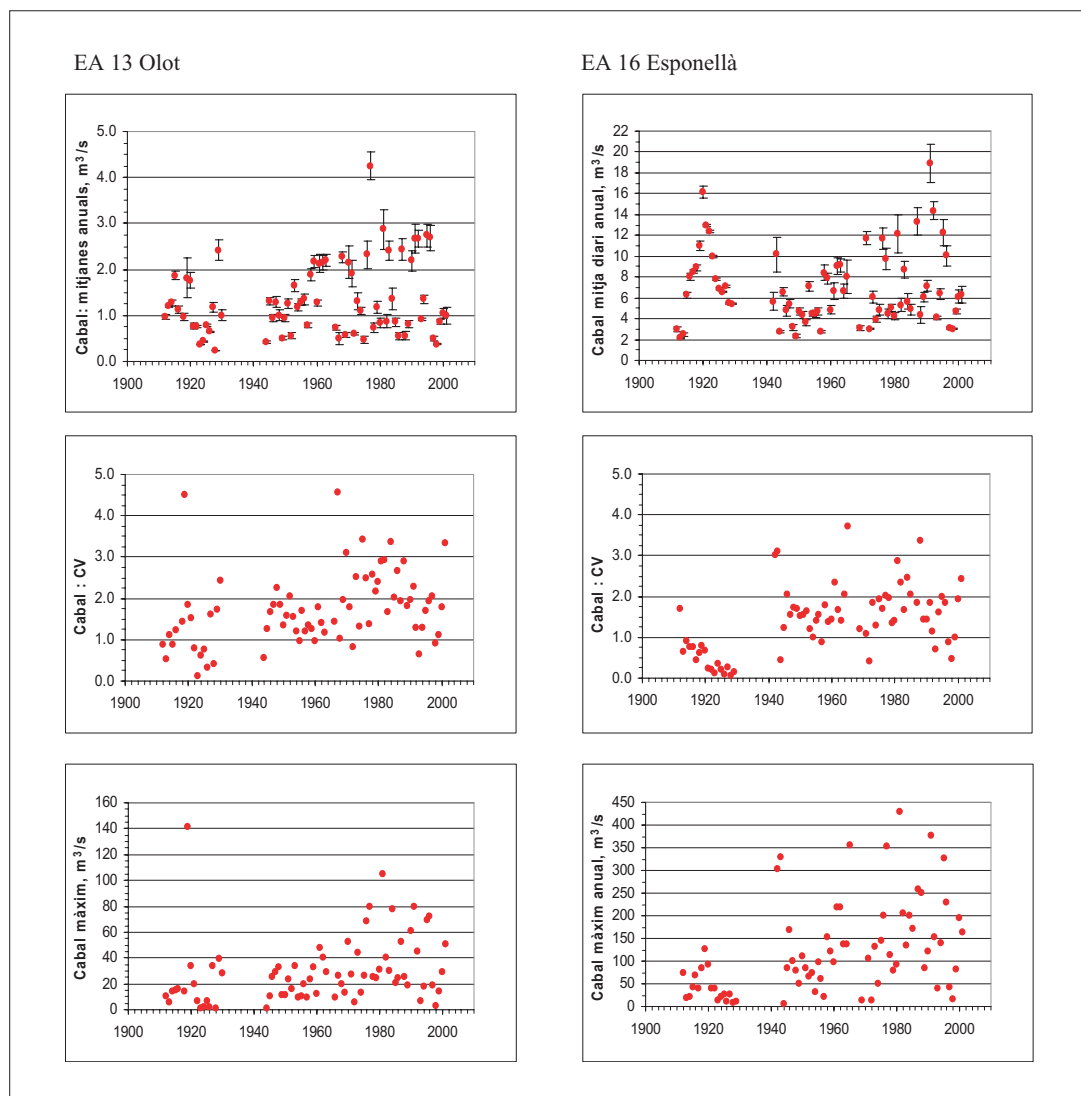


Figura B8.5. Anàlisi dels cabals mitjans diaris a les estacions d'aforament d'Olot i Esponellà a la conca del riu Fluvià. Font: elaboració pròpia a partir de dades de l'Agència Catalana de l'Aigua.

1912, ofereixen un registre de cabals suficientment llarg per poder identificar canvis temporals en la dinàmica de la conca. L'estació de Garrigàs està en funcionament des de l'any 1971 i presenta una bona correlació del cabal mitjà diari anual amb l'estació d'Esponellà. Per aquestes raons, no s'inclou Garrigàs en aquesta anàlisi.

Per tal d'observar possibles variacions de la dinàmica hidrològica a la conca del Fluvià, s'ha estudiat l'evolució del cabal diari mitjà anual durant els anys de registre, com indicador de les aportacions totals anuals, de la seva variabilitat intranual amb la mesura del coeficient de variació (CV) i dels cabals mitjans diaris màxims anuals. Els resultats per a les dues estacions es mostren a la figura B8.5 i alguns valors estadístics a la taula B8.2.

Al llarg dels gairebé 90 anys dels que es disposa de dades (anys hidrològics 1912-1913 / 2001-2002), en les dues estacions s'observa una evolució similar, caracteritzada pels trets següents:

- A partir de 1960 s'observa una tendència a l'augment de la variabilitat interanual dels cabals mitjans diaris, mostrant dos grups de valors ben diferenciats amb absència de valors intermedis. A Olot, el primer grup se situa en cabals menors a 1,5 m³/s i el segon en cabals superiors 2,0 m³/s, amb absència de cabals en el rang intermedi (1,5-2,0 m³/s). A Esponellà es manté l'agrupació d'anys amb cabal "baix" (< 7 m³/s) i anys amb cabal "alt" (> 9 m³/s). La figura B8.6 mostra la diferència del cabal mitjà anual entre dos anys consecutius i reflecteix com la variabilitat interanual és més elevada en les dues estacions d'aforament considerades a partir de 1960 que en anys anteriors.
- El coeficient de variació, com a representant de la variabilitat intraanual respecte al valor mitjà, també mostra un increment clar a la segona meitat del segle xx i amb valors més elevats a partir de 1980, especialment a l'estació d'Olot.
- Pel que fa als cabals mitjans diaris màxims anuals, s'observa que els valors més elevats també es presenten en els anys més recents. Com

	EA 13 Olot	EA 16 Esponellà
<i>n</i>	26.583	26.331
<i>Mitjana (μ)</i>	1,334	6,921
<i>Desv. Std.(σ)</i>	3,059	13,080
<i>Error = σ/√n</i>	0,019	0,081
<i>CV = σ/μ</i>	2,292	1,890
<i>Mínim</i>	0,00	0,00
<i>Màxim</i>	141,21	430,00

Taula B8.2. Paràmetres estadístics bàsics dels cabals mitjans diaris a la conca del Fluvià.

Font: elaboració pròpia a partir de dades de l'Agència Catalana de l'Aigua.

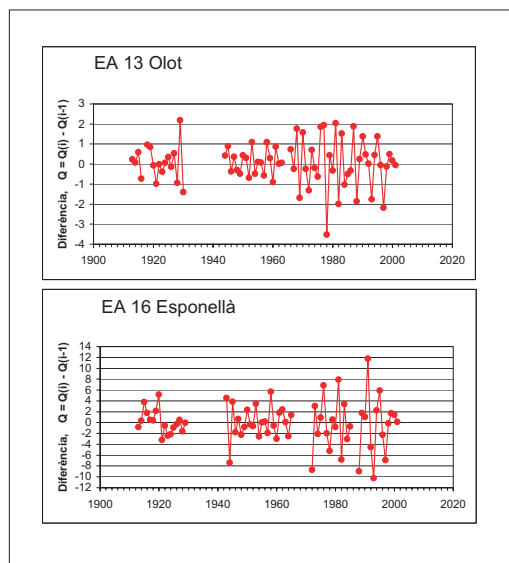


Figura B8.6. Diferència de cabals mitjans diaris entre anys consecutius a les estacions d'aforament d'Olot i Esponellà, a la conca del riu Fluvià. Font: elaboració pròpia a partir de dades de l'Agència Catalana de l'Aigua.

que són processos extrems, no ha d'estranyar que el màxim cabal a Olot s'enregistrés l'any 1919. No obstant això, crida l'atenció l'acumulació dels valors alts durant les darreres dècades.

Afirmar, o tant sols comentar, fins a quin punt aquestes tendències responen a causes climàti-

ques és molt arriscat. Cal tenir present que les comarques de la conca del Fluvià, especialment la Garrotxa, han incrementat l'activitat socio-econòmica en els darrers vint-i-cinc anys i han modificat els usos i la demanda d'aigua. No obstant això, en aquest cas concret, els registres hidrològics semblen mostrar tendències i variacions més amples que les atribuïbles exclusivament a la possible influència antròpica.

D'altra banda, hi ha coincidència entre el comportament del Fluvià i algunes de les prediccions del comportament hidrològic modificat pel canvi climàtic com, per exemple, l'augment de la variabilitat intraanual i l'augment de la magnitud dels cabals màxims. Aquestes dades no mostren cap tendència a la disminució del cabal mitjà, sinó unes fortes variacions interanuals iniciades a la dècada de 1960. Amb tot, aquesta simple anàlisi exploratòria de les dades de cabals diaris no permet extreure conclusions causals de cap mena, sinó únicament apuntar unes tendències indicatives de la dinàmica hidrològica de l'única conca no regulada de les conques internes, que poden ser objecte de recerca en el futur.

B8.3.2. El cas de l'Alt Cardener a l'embassament de la Llosa de Cavall

En l'*Estudi d'actualització de l'avaluació dels recursos hídrics de les Conques Internes de Catalunya*, l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA, 2002a) considerava de forma explícita les incerteses que la possibilitat del canvi climàtic projecta sobre la

quantificació dels recursos hídrics. Amb un detallat tractament de les dades de pluviometria i cabals i amb la modelització del balanç hídric mitjançant el *model Sacramento*, l'estudi estima els recursos hídrics bruts a les conques internes i els diferents components en què es descompon la precipitació: evapotranspiració i escolament (entès exclusivament com aportació superficial).

El fet de disposar d'un model calibrat que simula la dinàmica del sistema hidrològic ha permès reproduir la resposta d'una conca, en aquest cas la de l'Alt Cardener a l'embassament de la Llosa de Cavall (195 km² de superfície), en diferents escenaris atribuïbles a la influència del canvi climàtic. Els trets dels distints escenaris contemplats han estat els següents (ACA, 2002a):

- Escenari 1: augment d'1°C de la temperatura mitjana anual, sense variacions en la precipitació.
- Escenari 2: augment d'1°C de la temperatura mitjana anual i disminució d'un 5% de la precipitació mitjana anual.
- Escenari 3 o extrem: augment de 4°C de la temperatura mitjana anual i disminució d'un 15% de la precipitació mitjana anual.

Els resultats dels canvis en l'evapotranspiració potencial (ETP; és a dir, el total d'aigua que retornaria a l'atmosfera si estigués disponible en la superfície o en el subsòl) i en les aportacions del riu es mostren de forma simplificada a la taula B8.3.

	Condicions		Resultats	
	T	P	ETP	Aportació
Sense canvi climàtic		860 mm	707 mm	80,54 hm ³
Escenari 1	+ 1°C	—	+ 4,6%	- 2,7%
Escenari 2	+ 1°C	- 5%	+ 4,6%	- 11,3%
Escenari 3 - extrem	+ 4°C	- 15%	+ 22%	- 34,5%

Taula B8.3. Simulació del canvi climàtic a l'embassament de la Llosa de Cavall.
Font: ACA, 2002a.

Així, en l'escenari més realista (el número 2) s'estima una pèrdua de recursos lleugerament superior al 10%. Aquest resultat, com adverteix l'estudi, no és extrapolable a altres conques ni és significatiu a nivell de les conques internes, ateses la diversitat meteorològica i d'àmbits hidrològics que comprenen. Malauradament, la modelització emprada no ha permès calcular els canvis en la recàrrega d'aigües subterrànies que s'esdevindria en cada cas.

L'experiment de simulació realitzat a la conca de l'Alt Cardener il·lustra la magnitud en què el canvi climàtic pot influir en la disponibilitat de recursos hídrics i indica el control determinant que l'evapotranspiració té en el total de les aportacions. En aquest sentit, convé examinar les raons per les quals pot incrementar-se la capacitat evapotranspirant d'una conca. En la simulació, s'assumeix que aquesta és una funció de la temperatura sense qüestionar els canvis en la vegetació que produiria aquest augment de la temperatura. No obstant això, els canvis en la coberta vegetal poden obeir a diferents causes, alienes a les variacions ambientals. Concretament, la modificació dels usos del sòl i el canvi en el percentatge poden ser determinants, com ho mostren els estudis realitzats a la conca de l'Ebre.

B8.3.3. Influència de canvis d'ús del sòl a la conca de l'Ebre

Els canvis d'ús del territori, ja sia per un augment de l'activitat agrícola o per un abandonament d'aquesta, tenen una clara influència sobre el balanç hídric en una conca determinada. Així, per exemple, la forestació o revegetació de terrenys anteriorment destinats a l'explotació agrícola o forestal implica un augment del consum natural d'aigua de la conca per intercepció i transpiració, que és proporcional a la precipitació mitjana. Concretament, s'ha estimat que el desenvolupament forestal en una zona amb una pluviometria mitjana de 800 mm equival a una disminució de l'escorrentia anual de 150 mm (Bosch i Hewlett, 1982).

Els treballs de Gallart (2001) i Gallart i Llorens (2001, 2002a, b) han estudiat la influència de l'augment de la coberta forestal a la conca de l'Ebre, en relació a la disminució de cabal observada en els darrers anys i a les propostes de transvasament del Pla Hidrològic Nacional (PHN). A partir de les dades publicades en el Libro Blanco del Agua en España i en el PHN, s'han observat disminucions de les aportacions estadísticament significatives que no queden justificades per l'augment de consum agrícola o altres usos consuntius; les quals es quantifiquen en decrements de l'ordre del 0,2% anual de les aportacions mitjanes a l'Ebre.

El cabal del riu Ebre a Tortosa presenta, des de l'any 1965, una disminució superior a la de la precipitació. Els canvis d'usos del sòl i la recuperació de la massa forestal permeten explicar aquesta diferència. Així, considerant que les aportacions naturals corresponen a la suma de l'aportació de l'Ebre a Tortosa més els consums agrícoles nets arreu de la conca, el descens anual s'ha quantificat en 71 hm³, dels quals 38 hm³ poden atribuir-se a la tendència climàtica i els 33 hm³ restants a l'augment de la superfície forestada a les capçaleres de les conques.

En aquest sentit, els autors d'aquests estudis mostren la importància de considerar les variacions futures de la coberta vegetal en els balanços hídrics. Si bé aquestes variacions es deuen actualment a causes antròpiques, com l'abandonament dels conreus i pastures a zones de muntanya, cal considerar que variacions de la precipitació, temperatura i, amb elles, de la humitat del sòl, poden produir canvis lents en el mosaic de vegetació i, per tant, a la disponibilitat futura de recursos hidrològics.

B8.4. Les aigües subterrànies

Dins del cicle hidrològic, un dels termes més complicats de calcular és la infiltració al sòl i, a partir d'ella, el percentatge de recàrrega dels aqüífers. És per aquesta raó que cal avaluar les influències que les variacions en la temperatura i

en la precipitació poden tenir en aquest component del cicle hidrològic.

Tant a les conques internes de Catalunya com a la conca de l'Ebre, el 60% dels recursos hídrics utilitzats per a ús urbà és d'aigua superficial (460 hm³/a i 53,7 hm³/a, respectivament) i el 40% d'aigua subterrània (310 hm³/a i 35,4 hm³/a, respectivament). A les xarxes d'abastament municipal, la relació és de 74% d'aigües superficials respecte a un 26% de subterrànies a les conques internes i de 57% i 43%, respectivament, a les conques de l'Ebre. Pel que fa a l'abastament agrícola la proporció a les conques internes és 50-50% (387 hm³/a), essent les aigües superficials destinades als grans regadius i les subterrànies per als regs locals. A la conca de l'Ebre, la proporció és de 96,3% d'aigües superficials i 3,7% de subterrànies (1.800 hm³/a) (ACA, 2002b).

Pel que fa a la gestió dels recursos hídrics, la influència del canvi climàtic en la recàrrega dels aqüífers és tan important com els canvis que suposa en les aportacions dels rius. En el cas de les aigües subterrànies, estimar les tendències i, si és possible, la magnitud d'aquesta influència és més complex atès que, d'una banda, cal incorporar-hi l'heterogeneïtat del medi geològic i, de l'altra, el flux d'aigua natural des dels aqüífers a rius, zones humides i, finalment, al mar.

Una de les primeres influències que cal considerar és la variació de l'evapotranspiració, tant per un increment de la temperatura com per una reestructuració de la coberta vegetal per causes naturals o antròpiques. Tot i que no hi ha un relació directa, un augment de l'evapotranspiració representa una disminució de l'aigua al subsòl i, conseqüentment, de la recàrrega. Seguint el fil del cicle hidrològic, aquest fet implicaria una disminució dels nivells hidràulics, indicaria un emmagatzematge d'aigua als aqüífers més petit i la inversió de la relació amb aigües superficials i zones humides, amb un deteriorament de la seva qualitat ecològica.

La relació riu-aqüífer és especialment important. En el cas que tingui lloc una disminució dels nivells, se'n deriven dues conseqüències: la primera és que l'aqüífer lliure superficial deixa de subministrar un flux a lleres o aigüamolls, tot produint una disminució de cabal; la segona, en un estat més avançat, el riu esdevé influent i perd part del seu cabal per recarregar els aqüífers superficials amb nivells deprimits. Actualment, aquesta situació s'està produint a la conca de la Tordera, on la intensa extracció, molt superior a la recàrrega anual mitjana, provoca una situació de dèficit en què es donen els efectes esmentats.

Òbviament, si a l'augment de l'evapotranspiració s'associa una disminució de la precipitació, els efectes se sumen i les conseqüències esmentades s'amplifiquen. No obstant això, les previsions no garanteixen una disminució de la precipitació mitjana, sinó que aquesta presentaria una distribució diferent al llarg de l'any, amb períodes de precipitació intensa entre períodes d'escassetat pluviomètrica. Anteriorment ja s'ha comentat la influència d'aquest tipus de precipitació en la infiltració a nivell de conca. No obstant això, a escala de plana al·luvial o deltaica, on se situen la majoria dels aqüífers lliures més productius de Catalunya, la resposta és diferent atès que el pendent és molt baix i la xarxa de drenatge sol ser escassa i poc densa, fet que afavoreix la infiltració.

B8.4.1. Exemple d'un aqüífer al·luvial: el cas del riu Daró

A Catalunya, la major part dels aqüífers explotats —o més ben dit, intensament explotats— se situa damunt de materials al·luvials no consolidats, de naturalesa fluvial o fluvio-deltaica (ICC, 1992). Els nivells superiors solen presentar un caràcter d'aqüífer lliure i els inferiors són de tipus confinat, o semiconfinat atenent al caràcter aquítard de les formacions llimoses que els separen. Se sap que en els darrers anys molts d'aquests aqüífers han sofert restriccions en la seva explotació com a conseqüència d'un període pluriannual de sequera (de l'any 1995 al 2001) i

d'unes explotacions constants, sovint superiors a la recàrrega mitjana. Les observacions realitzades a l'aqüífer del Daró (Baix Empordà) durant el període 1990-2003 permeten il·lustrar la resposta d'un aquífer senzill a variacions de precipitació a petita escala temporal.

La conca del riu Daró, amb una superfície de 321 km², abarca una gran part del massís de les Gavarres i presenta un aquífer al·luvial a la seva part baixa, que enllaça amb les formacions fluviodeltaiques del Baix Ter. Aquest aquífer abasteix nombrosos municipis, entre els quals destaca la Bisbal d'Empordà, i s'explota intensament de maig a agost per a l'agricultura (blat de moro, fruiters). En diverses ocasions, el quasi esgotament de les reserves ha fet témer l'abastament a la població durant l'estiu. La figura B8.7 mostra l'evolució del nivell hidràulic del piezòmetre d'observació S-24 de l'ACA durant el període 1990-2003, juntament amb les precipitacions mensuals de l'observatori de Mas Badia, situat uns 10 km al nord.

En aquesta figura es fa palès el període de sequera que va abarcar des de l'any 1995 fins a la primavera de 2002, quan dos mesos de precipitacions elevades van interrompre la tendència decreixent del nivell hidràulic i s'assoliren valors similars als de l'inici de la sequera (24,2 m s.n.m., 12.06.2002; data pròpia). El fet més destacable és el descens continuat durant el període d'escassa precipitació, tant dels valors mínims assolits a final de l'estiu com dels valors màxims corresponents a l'hivern. Aquesta tendència mostra que amb precipitacions anuals inferiors¹ a, aproximadament, 600 mm no és possible recuperar els nivells i, al ritme d'extracció actual, comporta una severa disminució de les reserves de l'aqüífer. Amb la mateixa sintonia, pot indicar-se que precipitacions anuals su-

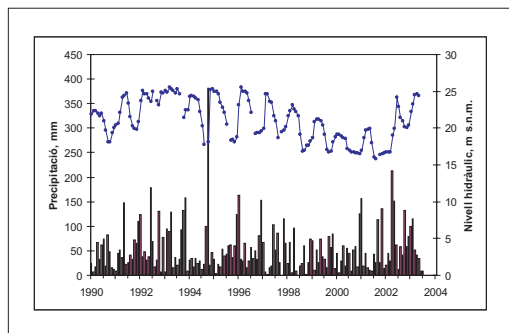


Figura B8.7. Evolució piezomètrica de l'aqüífer al·luvial del Daró i del registre pluviomètric durant el període 1990-2003 (segons dades de l'Agència Catalana de l'Aigua i del Servei Català de Meteorologia, respectivament). Hi destaca el període de sequera comprès entre els anys 1996 i 2001 i la recuperació del nivell freàtic arran de les precipitacions de la primavera de 2002.

Font: elaboració pròpia.

periors a 800 mm, com les registrades entre 1992 i 1994, permeten una recuperació dels nivells màxims i, per tant, de les reserves emmagatzemades.

Finalment, la precipitació acumulada del darrer any, que entre abril 2002 i abril 2003 a Mas Badia fou de 900,3 mm —és a dir, un 40% superior a la mitjana del període 1990-2003 (640 mm)—, ha permès una excel·lent recuperació dels nivells més baixos registrats des de l'any 1974 (15,8 m s.n.m., agost 2001).

El comportament del piezòmetre del Daró és només indicatiu de la resposta dels aquífers lliures superficials als episodis de precipitació. Amb referència al canvi climàtic, aquest exemple permet il·lustrar dos aspectes significatius: quin és el comportament d'un aquífer quan els anys humits són poc freqüents i què succeeix quan s'experimenten episodis de precipitació elevats. En el primer aspecte, és possible estimar el decreixement de les reserves en funció de les entrades del sistema i, igualment important, de les extraccions produïdes. En el segon, cal apuntar que un any humit permet una acumulació significativa de reserves suficients per mantenir l'explotabilitat de l'aqüífer durant un període posterior de precipitacions escasses. També s'observa com les

1. Aquest valor indicatiu és en referència a l'estació meteorològica de Mas Badia (www.meteocat.com) que, en aquest exemple, s'ha considerat representativa de la plana del Baix Empordà.

precipitacions extraordinàries de la tardor de 1994 no produïren cap augment espectacular del nivell hidràulic i el deixaren al voltant de la cota de 25 m s.n.m. La raó és que, a partir d'aquesta cota, la relació riu-aqüífer esdevé de caràcter efluent i dona lloc a un important augment del cabal superficial del riu Daró i, per tant, al drenatge natural dels recursos subterranis.

Amb tot, el comportament observat al Daró correspon a un aqüífer amb una hidrogeologia relativament senzilla i una explotació moderada. En altres indrets –als deltes del Ter, de la Torredra o del Llobregat, per exemple– la complexitat del sistema fluvio-deltaic i de la seva explotació fan que les respostes del sistema a la recàrrega no siguin ni tan immediates ni tan directes com les de l'exemple exposat.

B8.4.2. El cas de les zones de muntanya

Les zones de muntanya presenten uns trets hidrogeològic diferent als de les planes al·luvials. En primer lloc, la geologia sol presentar formacions consolidades, amb permeabilitats i porositats diverses, i amb importants deformacions estructurals. Això implica que la recàrrega està més localitzada i que, sovint, els aqüífers presenten un temps de residència molt més llarg que en els al·luvials. Conseqüentment, la resposta que hom pot esperar d'aquestes sistemes hidrogeològics davant del canvi climàtic és molt complexa i de difícil predicció. Part de la dificultat ve donada pel fet que no existeix el control piezomètric intensiu que l'Administració ha desenvolupat en els aqüífers més explotats i, sovint, el coneixement de la seva hidrogeologia està limitat a estudis locals, sovint de caire acadèmic i sense continuïtat temporal, i no es disposa de sèries de temps suficientment llargues per establir tendències en el seu comportament.

No obstant això, hi ha una observació qualitativa que pot ser indicativa de canvi: “a l'estiu, els torrents no solen dur el cabal que portaven ara fa cinquant anys”. Com a tantes altres zones de Catalunya, aquest fet ha estat observat al massís del

Montseny (M.Boada, *comentari personal*) i pot prendre's com a punt de partida per suggerir possibles causes dels canvis ambientals en el cicle hidrològic observats durant les darreres dècades. En aquestes consideracions, *a priori* es descarta un augment de les extraccions per activitats antròpiques: la demanda agrícola i ramadera és pràcticament nul·la i les captacions de la indústria envasadora d'aigua mineral tenen lloc bàsicament al massís de les Guilleries i a l'àrea d'Arbúcies, suficientment allunyades de la zona d'observació i, conseqüentment, no influeixen a la part alta del Montseny.

El canvi ambiental al Montseny ha estat intensament documentat per Boada (2002). En referència a les variacions de la coberta vegetal produïdes pels canvis d'usos territorials en els darrers 50 anys, és significatiu l'augment de la superfície de zona forestal (alzinar, 20,1%; sureda, 113,6%, castanyeda, 17,9%) i la reducció d'àrea conreada (32,7%) com a conseqüència de la modificació dels sectors productius locals.

Amb aquests antecedents, les causes proposades per a la reducció de cabal a les rieres del Montseny són les següents:

- 1) Modificació del tipus de precipitació. Actualment, les aportacions per innivació són escasses comparades amb temps passats, la qual cosa impedeix una infiltració lenta i contínua durant la primavera, resultant de la fusió de la neu. Si el total de la precipitació és en forma de pluja, un percentatge elevat es transforma en escorrentia superficial i, per tant, no penetra al subsòl. En aquest sentit, pot esperar-se una descens generalitzat del nivell freàtic arreu del massís.
- 2) Canvi de la coberta vegetal. L'abandonament de les pràctiques agrícoles i ramaderes ha convertit camps i pastures en superfícies forestals, on les espècies arbòries impliquen una demanda hídrica més elevada que cal satisfer per transpiració dels recursos del subsòl.

- 3) Canvi en l'ús del territori i en la gestió de l'aigua. Antigament existien xarxes de distribució de l'escorrentiu superficial destinades al reg, aprofitaments de fonts i mines i altres formes d'emmagatzematge d'aigua que la retenien i la distribuïen durant els períodes de sequera, amb què donaven lloc a una alimentació contínua del subsòl en determinades zones del massís.

Aquestes causes, extremadament simples, suggereixen la vulnerabilitat de determinats sistemes hidrològics a modificacions naturals i, especialment, antròpiques. Els efectes del canvi climàtic –actuals o futurs– se sumen a aquestes causes ja existents i, en funció de la seva intensitat relativa, podran canviar la magnitud i/o sentit de la influència o, senzillament, resultar indiferenciables de les causes actuals.

B8.4.3. La problemàtica a les zones litorals

L'afectació del canvi climàtic sobre els aqüífers litorals és especialment preocupant per dues raons:

- 1) Són àrees on se sumen la potencial reducció del nivell freàtic per pèrdua de recàrrega amb l'ascens del nivell del mar.
- 2) Els aqüífers existents han estat explotats intensament ja que concentren una gran part de la demanda urbana (àrea metropolitana de Barcelona, Maresme, Costa Brava, etc.), agrícola (planes deltaïques dels rius Fluvià, Ter, Tordera, Llobregat i Ebre; Maresme) i industrial (zones de Barcelona-Llobregat i Tarragona).

L'explotació d'aquest aqüífers ha comportat, en alguns casos, la seva sobreexplotació en diferents èpoques de la història (Camp de Tarragona, delta del Llobregat) i, actualment, l'atenció se centra en el delta de la Tordera, el qual, si bé no és l'únic aqüífer afectat, presenta alts nivells de salinitat.

Els possibles efectes del canvi climàtic exposats a l'apartat B8.2.2 són vàlids per a situacions no in-

fluenciades, és a dir, per a aquells casos on la falca marina respon a la dinàmica natural, sense cap afectació antròpica. Les conseqüències teòriques, mostrades a la figura B8.4, serien vàlides per a zones molt reduïdes del litoral català, on l'explotació dels recursos subterranis s'ha substituït per captacions d'aigua superficial i l'explotació és limitada. En tot cas, els aqüífers lliures superficials al litoral solen presentar habitualment una significativa salinitat, indicadora d'una intrusió salina resultant de la seva explotació.

En els aqüífers que actualment estan salinitzats, la solució més efectiva per a la recuperació de nivells i de la qualitat de l'aigua subterrània consisteix en limitar les extraccions i esperar que l'aqüífer retorni a la seva dinàmica natural. Així, s'ha aconseguit reduir la salinització als aqüífers del Llobregat i del Camp de Tarragona mitjançant el transvassament d'aigua d'altres zones per al consum local (Custodio, 2002). A l'Alt Empordà, per exemple, l'aqüífer fluvio-deltaic de la Muga assolí concentracions de clorur properes a 1.500 mg/l l'any 1982². Aquestes degueren ser encara més elevades l'any 1987, quan se substituï l'explotació d'aigua subterrània per l'aportació d'aigua superficial de la Muga per a l'abastament de Castelló d'Empúries, Empúriabrava, Roses i Cadaqués. Actualment, el nivell hidràulic i la qualitat en els aqüífers profunds explotats anteriorment s'han recuperat totalment, tot i que la salinització és encara elevada a l'aqüífer superficial. Finalment, la desalinització d'aigua salada ha estat l'opció escollida a la Tordera per limitar el volum de les extraccions i contribuir a la recuperació de l'aqüífer.

En base a les previsible repercussions del canvi climàtic, caldrà un esforç de control sever de la demanda si, a part de voler millorar la magnitud actual de la intrusió marina, es vol impedir que aquesta s'agreugi. Addicionalment, l'avanç de la falca salina hipotecarà una franja litoral més ampla que l'actual per a l'extracció d'aigua amb una

2. E. Viñals, comunicació personal.

salinitat adequada, tot limitant així el volum útil de formació geològica no salinitzada i, per tant, les reserves existents. És per aquest motiu que la dessalinització es presenta com una opció vàlida per aportar nous recursos localment, sense incrementar la pressió a altres conques veïnes i per reduir l'avançament de la falca salina.

B8.5. Impactes en el proveïment, la qualitat i el medi natural. Riscos derivats del canvi climàtic

En els apartats precedents s'han descrit els efectes que el canvi ambiental tindria sobre la dinàmica hidrològica en base al funcionament del cicle hidrològic i a les relacions entre els seus components. Des d'una perspectiva més realista, cal valorar la incidència socioeconòmica del canvi climàtic, és a dir, com condiciona el desenvolupament regional. El fet que actualment la demanda sigui molt propera o, fins i tot, superior als recursos locals en determinats sistemes hidrològics, posa de manifest un fet indefugible: qualsevol reducció dels recursos disponibles esdevé una amenaça per al desenvolupament, que cal afrontar amb una planificació adequada. També és probable, com indica explícitament l'estudi de l'IPCC (2001), que en un termini curt (aproximadament 20 anys) l'impacte del canvi climàtic sigui inferior al d'altre tipus de pressions, concretament les d'origen antròpic.

Així doncs, en aquest apartat es considera l'impacte en termes de proveïment d'aigua per als diferents usos, sense oblidar les necessitats ecològiques. En el balanç total, la natura s'ha de considerar com un actor més –sinó el primer– que sol·licita, en definitiva, un volum d'aigua que cal restar dels recursos disponibles per a ús antròpic. Tanmateix, els canvis comporten un factor de risc³ en les activitats humanes, entès

3. Sovint es considera el canvi climàtic com un risc. En aquest capítol, però, no s'entén com a tal, sinó com una certesa sobre les conseqüències de la qual se'n deriven unes modificacions de les dinàmiques naturals que comporten, per si mateixes, un risc associat.

com el desencadenant de processos naturals que poden causar pèrdues humanes, econòmiques i/o limitar actuacions en el territori. L'increment de la probabilitat de processos extrems, com les inundacions, la pèrdua de qualitat i el dany a valors naturals (relacionats amb processos hidrològics) poden ser algunes de les conseqüències del canvi climàtic. Finalment, davant del panorama descrit, les adaptacions destinades a mitigar els impactes i riscos esmentats constitueixen les conclusions de l'anàlisi dels efectes del canvi ambiental.

B8.5.1. Impactes sobre l'abastament de recursos hídrics

A les conques internes, la demanda actual és de l'ordre del 70-80% dels recursos generats anualment⁴. Aquesta dada, malgrat la seva incertesa, indica un fet bàsic en la planificació: no existeix un excedent de recursos significant, la qual cosa implica afinar moltíssim la gestió dels recursos disponibles; i més encara en les condicions restrictives que resultaran del canvi ambiental. En aquest sentit, doncs, és necessari intentar preveure els efectes que pot tenir sobre l'abastament hídric de diversos usos: domèstic, industrial i agrícola.

Respecte a la demanda domèstica a les conques internes, cal recordar que el 74% de l'abastament municipal procedeix de recursos superficials i que un alt percentatge d'aquest prové del sistema Ter-Llobregat per a l'àrea metropolitana de Barcelona i la regió de Girona-Costa Brava centre. Tanmateix, durant la sequera experimentada entre l'any 2001 i la primavera de 2002, l'escassetat

4. El càlcul d'aquest percentatge és complex atès que: 1) si bé els recursos superficials poden quantificar-se amb certa precisió amb els registres de cabals a les estacions d'aforament, els recursos subterranis són molt menys coneguts i, en el còmput total, estan subestimats; i 2) és difícil avaluar les necessitats ecològiques, com els cabals de manteniment, la descàrrega superficial a mar, etc. Cal dir que en el *Pla Hidrològic de les Conques Internes (PHCIC)*, de l'any 1992, la relació entre la demanda i els recursos generats era del 95%. Amb les noves dades de demanda (ACA, 2002b), i considerant l'estimació de recursos del PHCIC, el percentatge es redueix a la xifra indicada en el text.

de reserves en els embassaments donà lloc a una acció legislativa⁵, que limità els usos agrícoles i ecològics al sistema Ter-Llobregat per garantir el subministrament domèstic. En aquest sentit es posava en evidència l'estret marge de maniobra en l'abastament urbà després de cinc anys de precipitacions escasses. Segons els estudis realitzats per l'ACA (2002b), la demanda domèstica actual és de l'ordre de 238 l/hab/dia a les CIC i de 284 l/hab/dia a la conca de l'Ebre. D'acord amb els mateixos treballs, es preveu un horitzó de variació en tots dos àmbits en el que, mitjançant l'estalvi, es redueixin aquests consums en un 7 i un 15%, respectivament. Aquesta perspectiva de futur és favorable a la potencial pèrdua de recursos que suposaria el canvi climàtic.

Recentment, els estudis realitzats sobre la hidrologia de l'àrea urbana de Barcelona han proporcionat una dada rellevant i alhora innovadora: el subsòl de les grans zones urbanes pot contenir reserves d'aigua significants fins ara oblidades. En el cas de Barcelona (Vázquez-Sunyé, 2003), on un alt percentatge de l'aigua distribuïda procedeix d'aportacions dels rius Llobregat i Ter, el fet de disposar de recursos hidrològics locals *a priori* aptes per al consum públic i industrial és un valor afegit que permet un estalvi notable d'aigua "importada". La integració d'aquests recursos en els sistemes de distribució, sovint amb una qualitat no apta per a ús domèstic però adequada per a altres serveis, és un dels reptes més interessants en la gestió hidrològica de les zones urbanes.

De fet, qualsevol iniciativa destinada a l'estalvi de recursos és un pas cap a una gestió sostenible de l'aigua i, en una altra escala, una contribució per mitigar els efectes del canvi climàtic, on la pèrdua de volums d'aigua disponibles per satisfer la demanda és el temor més fonamentat. Així,

algunes alternatives, com la reutilització d'aigua procedent de les estacions depuradores per a reg, particularment en els camps de golf, que ja s'estan aplicant a Catalunya, suposen un altre pas significatiu per a l'estalvi.

En el vessant industrial és on les innovacions tecnològiques poden ser més eficients a l'hora de reduir l'impacte en el seu proveïment. Concretament, un increment de l'eficiència de l'aigua en els diferents estadis del procés productiu i, especialment, en els sistemes de refrigeració, pot marcar una diferència important. Aquesta serà més significativa en aquelles conques hidrològiques menors, amb recursos molt limitats, possiblement amb una explotació intensiva, on diferències de l'ordre de un hm³ anual o menors poden significar un considerable millora dels nivells freàtics i de la dinàmica ecosistèmica de zones de ribera.

Finalment, a Catalunya l'agricultura i la ramaderia representen, conjuntament, un 35% de la demanda a les conques internes i un 94% a la conca de l'Ebre. Òbviament, aquesta diferència obliga a considerar escenaris diferents per a cada una de les conques en que es divideix el país. Concretament, els canvis poden modificar la necessitat d'irrigació, tant en la quantitat com en les estacions de l'any que ho requereixin, essent un dels factors –però no l'únic– de la influència del canvi climàtic en l'agricultura (Sebastià, 2003).

Amb referència al context hidrològic regional, les zones amb una demanda de reg més elevada a les conques internes (387 hm³ /any en total) són les planes de la Muga-Fluvià i Baix Ter, alguns municipis de la depressió de la Selva (conca de l'Onyar) i Baix Llobregat i l'àrea del Foix-Gaià-Francolí (ACA, 2002b; figura B8.8). Aquestes àrees ja presenten determinats problemes en l'abastament, els quals han estat comentats anteriorment, com per exemple:

- La salinització considerable de determinats nivells aquífers del sistema Muga-Fluvià i Baix Ter.

5. Decret 22/2002, de 22 de gener, d'establiment i millora de les mesures per a la gestió dels recursos hídrics. DOGC de 05/02/2002, i modificacions posteriors, Decrets 114/2002 i 153/2002.

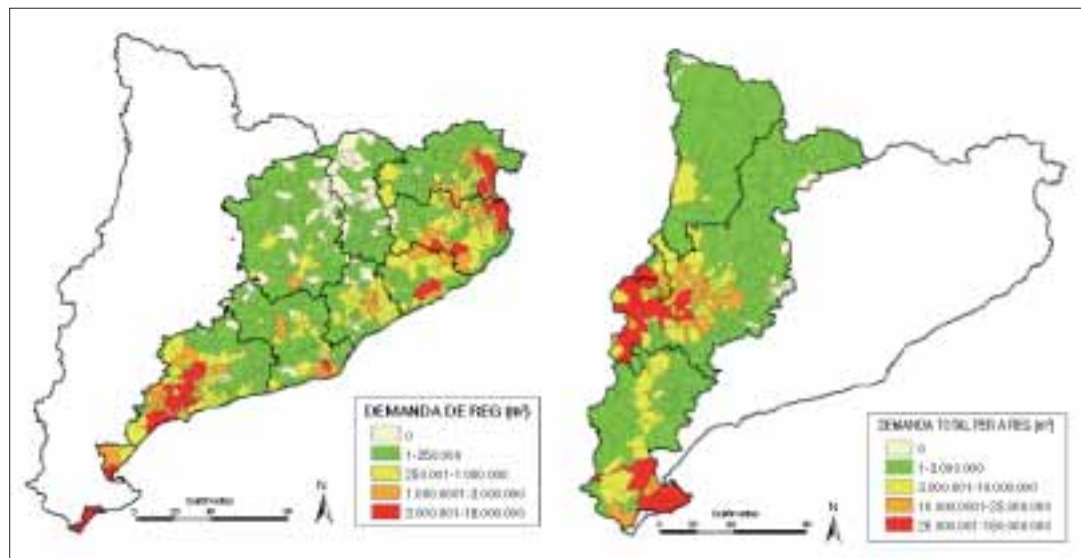


Figura B8.8. Distribució de la demanda de reg a Catalunya: conques internes i conques de l'Ebre.
Font: extret de ACA, 2002 (a) (b).

- La dependència dels canals de reg del Baix Ter respecte les derivacions existents aigües amunt per abastament de les àrees metropolitanas de Barcelona i Girona-Costa Brava centre (com succeí l'any 2001).
- La recàrrega limitada i l'absència de sèries històriques de control a la comarca de la Selva, que permeten elaborar una proposta de gestió bàsica.
- La zona del Llobregat ha presentat problemes hidrològics crònics des de fa dècades, tot i que parteix amb dos avantatges: ésser un sistema aquífer molt ben conegut i monitoritzat amb molt de detall, i posseir una comunitat d'usuaris competent que vetlla pel correcte abastament de les necessitats.
- A l'àrea tarragonina del Foix-Gaià-Francolí, amb les 13.400 ha de reg de Riudecanyes-Francolí, només està servida un 35% de la demanda com a reg de suport.

En l'àmbit de les conques de l'Ebre, el volum d'aigua sol·licitat és de 1.816 hm³/any, és a dir, de l'ordre de 4,5 vegades el de les conques internes. L'agricultura de regadiu es concentra prin-

cipalment a les comarques del Segrià, l'Urgell i el Pla d'Urgell, així com al delta de l'Ebre. Això es pot explicar, en bona part, per la distribució d'aigua superficial a través dels canals d'Aragó-Catalunya, d'Urgell i de la xarxa de canals del delta (ACA, 2002b; figura B8.8). Cal afegir-hi el recentment iniciat canal Segarra-Garrigues. En el sector lleidatà, l'impacte sobre el proveïment està relacionat amb les modificacions en el balanç hídric al Pirineu, que nodreix els embassaments on s'originen els canals. En el cas del delta de l'Ebre, ja s'han comentat els estudis referents a la sensibilitat del cabal de l'Ebre als canvis en el territori. Addicionalment, la realització del Pla Hidrològic Nacional, amb els transvasaments projectats, hagués pogut comportar una disminució de cabal que hagués pogut afectar molt severament l'abastament d'aigua al delta, així com els processos geomorfològics, hidrològics i ecològics que sustenten el territori i, per tant, l'activitat agrícola. El cas de l'Ebre és, possiblement, l'exemple paradigmàtic de conca gran on els canvis antròpics podran superar considerablement les influències climàtiques.

B8.5.2. Impactes en la qualitat dels recursos.

Si fins aquest moment s'ha considerat la influència del canvi climàtic sobre la quantitat dels recursos hídrics, no s'ha d'oblidar que el binomi quantitat/qualitat és inseparable en la gestió hidrològica. Les repercussions que pugui tenir en la qualitat dels recursos és tan preocupant en el cas de les aigües superficials com en les subterrànies, tot i que els diferents temps de residència de la massa d'element o del paràmetre anòmal en el sistema és diferent en cada cas. Això implica diversos nivells de vulnerabilitat dels sistemes hidrològics.

Els factors que determinen la qualitat química de l'aigua d'un riu són diversos: la massa o càrrega en diferents elements i compostos (naturals o introduïts), però a més el cabal i la temperatura de l'aigua. La relació entre la càrrega d'una substància nociva i el cabal del riu és fonamental, atès que determina el nivell de dilució i, conseqüentment la seva concentració. En base a les perspectives referents a les aigües superficials, l'augment de períodes amb cabals baixos, més petits que els actuals, fomentarà l'increment de nutrients i de matèria orgànica, donant lloc a processos d'eutrofització i a una disminució d'oxigen en el medi aquàtic (IPCC, 2001). En sentit contrari, la concentració de la precipitació en períodes curts afavoreix la generació de cabals punta extraordinaris, que produirien un rentat de la contaminació acumulada. No obstant això, els efectes tòxics per al medi natural i, fins i tot, sanitari, cal referir-los al concepte de dosi. És a dir, al contacte o a la ingesta contínua d'uns volums i unes concentracions determinades.

L'acumulació de nutrients i concentracions baixes i, fins i tot, nul·les d'oxigen dissolt es produeix en moltes rieres de Catalunya on, durant llargs períodes anuals, el cabal es deu exclusivament als abocaments de les depuradores d'aigües residuals. Tot i els esforços destinats al sanejament de les aigües residuals per part de l'Administració, els cabals de molts rius i rieres són insuficients per diluir els efluents de les de-

puradores i donen lloc a cabals amb una càrrega contaminant considerable. La situació és, sovint, la següent: els abocaments d'aigua sanejada tenen lloc en una riera on el cabal natural ha estat derivat per canals i sèquies o induït pel bombeig de l'aqüífer al·luvial relacionat. Com que hi ha una dil·lució insuficient, el flux superficial té una qualitat dolenta i, a causa dels baixos nivells freàtics, s'infiltra a l'aqüífer, i deteriora la qualitat de les aigües subterrànies. Aquests efectes no es corregirien en les condicions descrites amb el canvi climàtic.

En el cas de les aigües subterrànies, el principal factor de dil·lució és la recàrrega. Així, amb una infiltració disminuïda, la migració del contaminant al subsòl es veuria limitada, tot afectant un menor volum d'aqüífer per unitat de temps. Contràriament, la dil·lució seria més petita i la concentració de la zona afectada seria més elevada. Addicionalment, el temps de trànsit en el sistema (habitualment de l'ordre de dècades a segles) augmentaria. A nivell superficial, és previsible que els processos bioquímics que actuen en el sòl en la retenció, transformació i eliminació de substàncies potencialment contaminants fossin afectats per canvis en la temperatura i contingut d'humitat del sòl.

L'impacte sobre la qualitat pot ser encara més elevat si es consideren les múltiples substàncies contaminants d'origen industrial actualment ja identificades a rius i aqüífers de Catalunya. En l'activitat agrícola, l'excedent de nitrat d'origen ramader amb relació a la demanda agrícola és un dels problemes amb més impacte sobre la qualitat de les aigües subterrànies i, en menor grau, superficials del país. Si actualment aquest nitrogen ja no és assimilable pel medi, les conseqüències derivades del canvi climàtic indiquen que augmentaria la seva presència en el subsòl. Novament s'evidencia com les pràctiques antròpiques tenen una influència més elevada sobre la degradació dels recursos hidrològics que la que pugui esperar-se d'esdeveniments futurs.

B8.5.3. Impactes sobre el medi natural

La variabilitat en les variables climàtiques principals (la temperatura i la precipitació) i la regulació que efectuarà en el cicle hidrològic modificarà intensament el medi natural, produint variacions en la distribució actual dels ecosistemes i les seves característiques. En aquest apartat, es volen exposar breument els principals impactes resultants de les modificacions en la dinàmica hidrològica esmentades en aquest capítol, ja que els efectes sobre els sistemes naturals han estat tractats explícitament a l'apartat B.9 d'aquest estudi (Peñuelas, 2005).

Els efectes dels trastorns hidrològics produïts pel canvi climàtic tindran un impacte més elevat en els ecosistemes de ribera i zones humides, entre les quals destaquen els aiguamolls i les maresmes litorals. En aquest sentit, hi ha dos fets atribuïbles a aquest canvi que modificaran la qualitat dels ecosistemes. D'una banda, la possibilitat que el total de precipitació es concentri en períodes concrets perllongaria els episodis sense aportacions de pluja, afectant el cabal d'esgotament dels rius i, per tant, els cabals de manteniment. De l'altra, però lligat amb l'anterior per la relació riu-aqüífer, una recàrrega més petita, a la qual contribuiria un augment de l'evapotranspiració, significaria nivells freàtics més deprimits, la qual cosa impediria l'accés de les arrels a les reserves d'aigua (increment del dèficit d'humitat al sòl) i l'aportació necessària de cabal als rius que subministri un cabal de manteniment adequat.

És evident, doncs, que els ecosistemes de ribera serien dels més afectats en els procés de canvi. Tanmateix, les zones humides interiors relacionades amb la posició del nivell freàtic al subsòl també experimentarien una pèrdua important de superfície i, fins i tot, la seva desaparició. No obstant això, la influència antròpica és, sens dubte, determinant en la pervivència d'aquests àmbits. Actualment, la pressió que l'activitat humana exerceix sobre les zones fluvials és molt intensa i comprèn distintes formes, com és fàcilment observable a molts rius de Catalunya:

- Ocupació física de l'espai fluvial. Les zones de protecció definides en la legislació són insuficients per disminuir la pressió contra el medi natural.
- Modificació de la geometria de la llera, la qual no presenta la morfologia de la dinàmica fluvial pròpia dels factors geològics i climàtics locals, sinó la imposada per canalitzacions i altra obra civil.
- Captació de recursos, tant superficials com subterranis, que comporten una disminució del cabal i, fins i tot, l'assecamment total de la llera durant el període estival.
- Abocament d'aigües residuals depurades a lleres amb insuficient cabal per a una dilució eficient de la matèria orgànica, nitrogen i d'altres compostos abocats.
- Altres efectes, com l'extracció d'àrids o el desenvolupament de pràctiques que afavoreixin l'erosió i transport de sediment, poden ser causa de degradació de les zones humides anteriors.

Sembla evident que aquests efectes antròpics tenen en un termini de temps curt una magnitud superior a les influències previstes pel canvi climàtic, les quals contribuirien a potenciar els efectes negatius ja esmentats.

En el cas de les zones humides litorals, l'equilibri estacional entre aigua dolça i aigua salada pot veure's severament alterat i, amb ell, l'equilibri d'aquest medi natural. Una disminució potencial de la recàrrega, juntament amb l'ascens del nivell del mar, variaria substancialment, d'una banda, la dinàmica hidrològica i de l'altra, però no menys important, els processos geodinàmics fluvials i marins que originen aquests ambients sedimentaris.

B8.5.4. Riscos associats al canvi climàtic

El risc, entès com la probabilitat d'ocurrència d'un fet perjudicial que comporta un perill estimable en pèrdues, és un element important associat a les conseqüències dels canvi climàtic. En el cas dels recursos hidrològics, el concepte de risc apareix amb relació a la modificació de

processos dinàmics que interactuen amb l'ocupació del territori, com és el risc d'inundació. Aquest ha estat citat freqüentment com un dels efectes potencials del canvi climàtic, malgrat que no ha estat extensivament documentat (IPCC, 2001). Atès que aquest tipus de risc és present a Catalunya, és convenient considerar, a partir de les prediccions existents, com es modificarà en l'escenari del canvi climàtic.

Els fenòmens extrems, com les avingudes o les inundacions, formen part del comportament aleatori de la natura. Actualment, s'hi conviu i, en certa manera, hom està "acostumat" que ocorrin amb una certa freqüència en determinades zones. Cal distingir, però, en aquella part del risc corresponent al comportament erràtic de la natura i a la component antròpica que, indiferent al procés, facilita que els efectes destructors de la riuada impactin sobre les activitats humanes.

En el cas de les inundacions, aquesta component antròpica ha estat responsable de la major part dels desastres i tragèdies ocorregudes a Catalunya. L'ocupació per habitatge (Vallès), ús industrial (riu Congost) o de lleure (zones de muntanya: Biescas, Montserrat) de les zones inundables⁶ ha augmentat el risc de pèrdues. En aquests casos, es manifesta una certa ignorància dels processos geodinàmics en l'ordenació del territori, que permet l'ocupació d'aquestes zones de risc. D'altra banda, la mateixa ocupació del territori ha modificat el propi procés, a vegades limitant el seu àmbit d'actuació (per exemple, la modificació de seccions de lleres) o incrementant alguns dels paràmetres associats al risc (l'augment del temps de concentració d'una riuada per impermeabilització del terreny).

Aquesta és la situació actual, on es revela clarament la influència antròpica. Les previsions del

canvi climàtic contemplen que la precipitació tindrà lloc en períodes més concentrats i, per tant, amb major intensitat per efecte de l'escalfament global. En el cas de l'àmbit mediterrani, a diferència d'altres climes més humits, sovint la riuada es deu més a la intensitat de la precipitació que al volum de pluja durant un període llarg. En aquestes circumstàncies, augmenta la possibilitat d'ocurrència dels fenòmens extrems i, amb ella, el risc de pèrdues econòmiques o humanes.

A Catalunya hi ha cartografia de zones inundables, a escala 1:50.000, en què es diferencien aquelles franges de terreny a banda i banda dels rius que poden quedar inundades en diferents períodes de retorn (ACA, 2001). És una eina vàlida per a la gestió territorial, elaborada amb els registres de cabals aforats fins a l'actualitat i amb l'evidència geomorfològica, que proposa uns criteris tècnics per ordenar els plans urbanístics i territorials en l'àmbit d'influència fluvial. Tanmateix, la *Llei 2/2002, de 14 de març, d'urbanisme*, expressa la prohibició d'urbanitzar i edificar en zones inundables, però sense una major precisió dels paràmetres hidrològics de risc en aquestes àrees.

En aquest sentit, si bé la cartografia segueix essent aproximadament vàlida, no ho seran els límits corresponents a cadascun dels períodes de retorn, els quals es veuran modificats si canvia la freqüència d'ocurrència de les precipitacions extraordinàries i la seva magnitud. Les tendències del canvi climàtic indiquen, finalment, que caldrà ser molt més estrictes en l'ús del territori i ampliar els marges de protecció avui dia dissenyats.

B8.6. Adaptació al canvi climàtic

En els apartats precedents s'han descrit les possibles afeccions del canvi ambiental en el cicle hidrològic, dins del context de la realitat hidrològica de Catalunya, i els possibles impactes i riscos que en deriven. Un dels principals aspectes a destacar és que la dinàmica hidrològica a Catalunya està intensament regulada, explotada i, finalment, gestionada amb diversos criteris, intensitats i encerts depenent de la zona, de la

6. En aquest apartat es fa esment al risc derivat de processos fluvials, però és igualment extrapolable a processos torrencials o gravitacionals que tenen lloc arran d'una dinàmica extrema de caràcter puntual.

vulnerabilitat dels recursos i de la implicació de la societat i/o l'Administració. En aquesta situació, les conseqüències del canvi ambiental són una externalitat que cal incorporar a la planificació i a la gestió dels recursos. L'adaptació als canvis esmentats, bàsicament definits per la garantia d'abastament d'aigua de qualitat en funció de l'ús i de respecte cap als processos naturals i ecosistemes, és una tasca indefugible. Tanmateix, és una oportunitat per revisar estratègies actuals en l'explotació dels recursos hidrològics que no poden qualificar-se, precisament, de sostenibles.

Actualment, a Catalunya hi ha un debat sobre la gestió hidrològica, com a conseqüència dels conflictes sorgits del Pla Hidrològic Nacional (PHN) –derogat, finalment–, especialment a les terres de l'Ebre, i de les aportacions dels integrants de la Fundació per a una Nova Cultura de l'Aigua⁷. És per aquesta raó que es disposa d'abundants opinions científiques, de caràcter hidrològic, biològic, econòmic i social per fonamentar un debat rigorós.

La descripció realitzada dels efectes del canvi ambiental podrien conduir a la conclusió errònia i simplista que, senzillament, fa falta més aigua i, conseqüentment, cal importar-la d'altres conques mitjançant transvasaments. Aquesta opció és intensament debatuda actualment. D'una banda, l'aportació de recursos de l'Ebre, com proposava el PHN, ha estat sòlidament refusada per nombrosos experts en base a la manca de sostenibilitat de la proposta i als profunds impactes que la disminució de cabal hagués tingut en la dinàmica hidrològica del delta, els seus ecosistemes i la seva estructura socioeconòmica. De l'altra, l'alternativa de transvasament del Roine, si bé sembla ser que no produiria un impacte ambiental elevat en el seu sistema fluvial, es discuteix en funció de la seva justificació real, el cost, la dependència de recursos externs i, molt

probablement, pel temor que, disposant d'una font d'aigua addicional, es rebaixaria l'exigència en la gestió dels recursos locals. La qüestió és si, al capdavant, actualment hi ha un ús eficient dels recursos disponibles i si aquests estan adequadament avaluats i gestionats.

En aquest procés de planificació, la consideració dels canvis climàtic i antròpic sobre els sistemes hidrològics és fonamental per adaptar-se als impactes que tindrà en la disponibilitat d'aigua, el control d'avingudes, la generació d'energia hidroelèctrica, el control de la contaminació i el manteniment d'hàbitats. Així, cal considerar quines adaptacions poden fer-se tant des del costat de l'oferta com de la demanda. Per oferta s'entén els recursos disponibles mitjançant infraestructures hidràuliques, normatives d'explotació i acords institucionals. Per demanda, les necessitats antròpiques i naturals, les quals han de ser gestionades de manera eficient i en funció de la sostenibilitat local.

En el cas de Catalunya, es pot afirmar que hi ha un coneixement acceptable dels recursos superficials basat en la xarxa d'estacions d'aforament a les conques internes i conques de l'Ebre. Òbviament, la densitat de la xarxa és millorable, sobretot amb la ubicació d'estacions en conques menors que també presenten problemes hidrològics notables, els quals, pel fet de no estar correctament monitoritzats, sovint passen desapercebuts en les memòries o informes oficials. Tanmateix, les xarxes piezomètriques de control de nivells de les aigües subterrànies estan situades en aqüífers molt concrets, molts d'ells amb greus problemes hidrològics, però que no representen la totalitat dels sistemes del país. No obstant això, en la darrera actualització dels recursos (ACA, 2002a) es reconeix explícitament aquesta mancança i només s'avaluen els recursos en aquells en que hi ha una fiabilitat en les dades. Aquesta restricció implica que els recursos subterranis en diverses àrees no entren en el comput dels recursos, tot i que constitueixen la principal font d'abastament.

7. <http://www.unizar.es/fnca>

Recursos		Demanda	
Opció	Comentaris	Opció	Comentaris
1. Proveïment domèstic			
1.1. Increment de les infraestructures d'embassament i regulació.	Hi ha poques opcions de construir nous embassaments en el territori català. Forta oposició social. Impacte ambiental notable.	1.1. Incentius d'estalvi (política de preus).	Limitacions en l'aplicació. Cal iniciativa institucional i pacte social.
1.2. Augment de la derivació de rius i les captacions en aqüífers.	La majoria dels rius presenten cabals per sota els mínims desitjables, amb importants trams secs a l'estiu (o períodes més amplis). La possibilitat d'explorar aigües subterrànies és encara factible en algunes localitats, especialment en zones de muntanya i àrees urbanes.	1.2. Increment del reciclatge i reutilització d'aigües residuals.	Viable, localment costós per duplicació de xarxa de distribució. Millorar la qualitat dels efluents abocats a lleres on pràcticament no hi ha dilució per manca de cabal natural.
1.3. Transvasaments o augment dels cabals trasvasats	Costosos, alta oposició social, fort impacte ambiental (fins al límit de ser inviables) en qualsevol riu de Catalunya	1.3. Reducció de les pèrdues a la xarxa de distribució.	Costós a les instal·lacions més antigues.
1.4. Dessalinització. Foment de la tecnologia per a tractaments potabilitzadors.	L'ús d'aigua salina és un opció viable, socialment acceptada. Costosa, però sensiblement inferior al preu del transvasament. Pot suposar una reducció important de recursos hidrològics en àrees litorals. La millora dels tractaments permet l'ús de recursos anteriorment desestimats per raons de qualitat (per exemple, el Besòs).		
1.5. Reutilització	Limitacions d'ús pel que fa a la qualitat. Apte per a reg (golfs) i usos públics.		
2. Ús agrícola			
2.1. Increment de les infraestructures d'embassament i regulació.	Costoses, impacte ambiental i social notable. Escasses possibilitats de crear-ne de noves per limitacions territorials.	2.1. Increment de l'eficiència.	Mitjançant l'ús de tecnologia o d'una política de preus.
		2.2. Canvi a conreus amb menor necessitat d'irrigació.	Difícilment aplicable per l'especialització de determinades àrees amb certs productes i per les limitacions de mercat i legislatives de la CE a través de la política agrària.
3. Ús industrial (refrigeració)			
3.1. Ús d'aigua de menys qualitat i/o reutilització.	Viable.	3.1. Foment de la reutilització.	Depèn del procés industrial.
		3.2. Increment de l'eficiència de les turbines.	Cal inversió en millora tecnològica.

(Segueix en la pàgina següent).

Recursos		Demanda	
Opció	Comentaris	Opció	Comentaris
4. Plantes hidroelèctriques			
4.1. Increment de la capacitat dels embassaments.	Costós, impacte ambiental notable		
4.2. Previsió d'entrades per simulació.	Poca fiabilitat davant la incertesa de la magnitud del canvi climàtic		
5. Control de la contaminació			
5.1. Increment de la capacitat de tractament.	Costós.	5.1. Reducció del volum dels efluent a tractar.	Inversions o tecnologia o amb impostos als cabals abocats.
		5.2. Gestió dels abocaments a escala de conca. Equilibri territorial en la producció/eliminació de residus.	Especialment per als abocaments difusos (purins).
6. Gestió d'avingudes			
6.1. Construcció de motes i repeses de contenció.	Costós, impacte ambiental en l'àmbit de ribera. Limiten l'ús del territori afectat.	6.1. Millora dels sistemes de prevenció i protecció.	Molt limitat en conques petites amb un temps de resposta curt, com és propi dels rius a Catalunya, amb excepció de l'Ebre.
6.2. Elements a capçalera per reduir el pic d'avinguda.	Només es efectiu en conques petites. Cal un manteniment periòdic.	6.2. Influència en el desenvolupament territorial limitant l'ús de les àrees inundables.	Connotacions polítiques i econòmiques. Caldria actuar sobre actuacions urbanes i industrials existents des de fa anys en aquestes àrees.

Taula B8.4. Opcions alternatives davant del canvi climàtic.

Font: elaboració pròpia.

L'avaluació de la demanda està, ara per ara, més documentada que els recursos disponibles; malgrat la dificultat en estimar, per exemple, les extraccions per a reg. És per això que la incidència en el control de la demanda és possiblement la manera més efectiva d'adaptar-se als canvis anunciats. Algunes de les possibles opcions en ambdós costats—recursos i demanda—es presenten a la taula B8.4.

Les opcions recollides a la taula B8.4 tenen moltes limitacions, des de l'actuació damunt de actuacions ja existents i dinàmiques socials adquirides amb els anys fins a importants inversions en infraestructures i tecnologies, sense oblidar els costos polítics derivats d'algunes de les possibles alternatives. I com que en molts casos la solució adaptativa és difícilment aplicable, ja sigui per les possibilitats territorials, el seu cost o el termini d'execució, les estratègies basades en la reutilització i l'estalvi són les que adquireixen una major rellevància i aplicabilitat.

Concretament, la reutilització d'aigües residuals depurades ja és una realitat en diversos camps de golf a Catalunya, tot i que l'ús agrícola o públic (neteja de carrers, reg de jardins, fonts ornamentals, etc.) és encara reduït. Dins l'àmbit urbà, els estudis realitzats a Barcelona han evidenciat els recursos hidrogeològics disponibles en el subsòl urbà i el considerable estalvi d'aigua de xarxa que suposaria emprar-los en les tasques d'ús públic.

L'estalvi és, possiblement, la part més significativa a l'hora de cercar propostes per mitigar el canvi ambiental, tant en la seva vessant climàtica com, principalment, l'antròpica. És a dir, per modificar els hàbits d'ús que actualment defineixen una situació d'escassetat. El foment de l'estalvi d'aigua depèn de dues accions bàsiques: una política de preus que assumeixi el valor real de l'ús de l'aigua en tots els sectors, fet que afavoriria una aplicació eficient, i una educació ambiental, en el sentit més ampli, de tots els usuaris. I, finalment, considerar la manca de recursos

hídrics locals com un factor condicionant del creixement i desenvolupament, la qual cosa pot comportar determinades transformacions socioeconòmiques territorials a termini mitjà. La discussió, amb aquests elements damunt la taula, es concreta en quines transformacions estem disposats a assumir, i amb quin cost, per assolir una sostenibilitat adequada en l'ús dels recursos hidrològics en el marc d'una situació de canvi.

Referències bibliogràfiques

- AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA (ACA) (2000). *Delimitació de zones inundables per a la redacció de l'Inuncat. Conques Internes de Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient. <www.gencat.net/aca/cat/planificacio/inuncat/>
- AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA (ACA) (2002a). *Estudi d'actualització de l'avaluació dels recursos hídrics de les Conques Internes de Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient. Maig 2002 <www.gencat.net/aca>
- AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA (ACA) (2002b). *Estudi de caracterització i prospectiva de les demandes d'aigua a les conques internes de Catalunya i a les conques catalanes de l'Ebre*. Barcelona: Departament de Medi Ambient, Generalitat de Catalunya. Maig 2002 <www.gencat.net/aca>
- ALLEY, W.M.; REILLY, T.E.; FRANKE O.L. (1999). *Sustainability of Ground-Water Resources*, USGS Circular 1186
- AYALA-CARCEDO, F.J. (2001). "Impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos y humedales en España y políticas de agua y medio ambiente". Extret d'Internet (juny 2003)
- AYALA-CARCEDO, F.J.; IGLESIAS, A. (2000). "Impactos del posible cambio climático sobre los recursos hídricos, el diseño y la planificación hidrológica en la España Peninsular". A: Balairón ed., *El cambio climático*. Madrid: Servicio de Estudios del BBVA.
- BOADA, M. (2002). *El Montseny; cinquanta anys d'evolució dels paisatges*. Publicacions de l'Abadia de Montserrat. (Cavall Bernat, 42).
- BOSCH, J.M.; HEWLETT, J.D. (1982). "A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation on water yield and evapotranspiration". *Journal of Hydrology*, núm. 55, p. 3-23.
- CONSELL ASSESSOR PER AL DESENVOLUPAMENT SOSTENIBLE DE CATALUNYA (CADS) (2003). *Informe*

sobre l'evolució de l'estat del medi ambient a Catalunya, 1: Aire, aigües continentals i residus. Barcelona: Generalitat de Catalunya.

CUSTODIO, E. (2002). "Aquifer overexploitation: what does it mean?" *Hydrogeology Journal*, núm. 10, p. 254-277.

DOMENICO, P.A.; SCHWARTZ, W.W. (1998). *Physical and Chemical Hydrogeology*. Wiley (2a ed.).

GALLART, F. (2001). "La estimación de los recursos hídricos en el Plan Hidrológico Nacional: Insuficiencias del método empleado ante los cambios de uso y cubierta en las cabeceras de las cuencas". A: P. ARROJO (coord.) *El Plan hidrológico Nacional a debate*. Bilbao: Fundación Nueva Cultura del Agua, Bakeaz.

GALLART, F.; LLORENS, P. (2001). "Efectos de los cambios de uso y cubierta del suelo en los aportes del río Ebro y su evolución futura". A: N. PRAT; C. IBÁÑEZ (eds.) *El curso inferior del Ebro y su delta*. Univ. de Cantabria-Univ. de Barcelona, p. 51-57.

GALLART, F.; LLORENS, P. (2002a). Estimación de los aportes en régimen natural en el Bajo Ebro. <<http://www.unizar.es/fnca>>

GALLART, F.; LLORENS, P. (2002b). "Water resources and environmental change in Spain. A key issue for sustainable catchment management". A: J.M. GARCÍA-RUIZ; J.A.A. JONES; J. ARNÁEZ (Eds.) *Environmental change and Water sustainability*. Zaragoza: IPE (CSIC).

INSTITUT CARTOGRÀFIC DE CATALUNYA (ICC) (1992). *Mapa d'àrees hidrogeològiques de Catalunya*. E

1:250 000. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Política Territorial i Obres Públiques, Servei Geològic de Catalunya, ICC.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (2001). *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge: Cambridge University Press.

LEÓN LLAMAZARES, A. (1989). *Caracterització agroclimàtica de les províncies de Barcelona, Girona, Lleida i Tarragona*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

MARTÍN-VIDE, J. (2005). *Factors geogràfics, regionalització climàtica i tendències de les sèries climàtiques a Catalunya*. Capítol 3 d'aquest llibre. Barcelona: Generalitat de Catalunya (CADS)-Institut d'Estudis Catalans.

PEÑUELAS, J. (2005). *Sistemes naturals: ecosistemes terrestres*. Capítol 15 d'aquest llibre. Barcelona: Generalitat de Catalunya (CADS)-Institut d'Estudis Catalans.

SEBASTIÀ, M.T. (2005). *Agricultura i silvicultura*. Capítol 11 d'aquest llibre. Barcelona: Generalitat de Catalunya (CADS)-Institut d'Estudis Catalans.

SHOWSTACK, W. (2004). "Discussion of challenges facing water management in the 21st century". *Eos*, vol. 85, n. 6 (febrer), AGU Transactions, p. 58.

SOPHOCLEOS, M. (2000). "From safe yield to sustainable development of water resources". *Journal of Hydrology*, núm. 235, p. 27-43.

VÁZQUEZ-SUNYÉ, E. (2003). *Urban groundwater: Barcelona city case study*. Barcelona: UPC. (Tesi doctoral).

B9. Sistemes naturals: ecosistemes terrestres

Josep Peñuelas i Iolanda Filella

Unitat d'Ecofisiologia CSIC-CEAB-CREAF, CREAF (Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals)

Santi Sabaté i Carles Gràcia

CREAF i Departament d'Ecologia de la Universitat de Barcelona

Josep Peñuelas i Reixach (Vic, 1958) és professor d'Investigació del Consell Superior d'Investigacions Científiques (CSIC). Dirigeix la Unitat d'Ecofisiologia CSIC-CEAB-CREAF (Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals, Universitat Autònoma de Barcelona). Especialitzat en ecofisiologia, estudia les interaccions biosfera-atmosfera. Alguns dels àmbits on ha treballat recentment són: el canvi global, el canvi climàtic, la contaminació atmosfèrica, la teledetecció, l'ecofisiologia vegetal i el funcionament i l'estructura dels ecosistemes mediterranis. Ha publicat 5 llibres d'ecologia, 350 articles en revistes i llibres científics (200 dels quals en revistes recollides en el *Science Citation Index*) i més de 250 articles de divulgació científica en mitjans com *La Vanguardia*, *l'Avui* i *El País*.

Professor visitant o investigador visitant a les universitats de Stanford, Los Angeles, Washington, Duke, Lancaster, Avinyó, París, Saint Adrews, Mèxic, Tokio, Lancaster i Sheffield. Professor titular d'ecologia de la Universitat de Barcelona fins l'any 1990. Ha dirigit 14 tesis doctorals, 12 màsters i ha tingut al seu càrrec 11 estudiants post-doctorals. Ha dirigit nombrosos projectes de recerca subvencionats per les agències científiques dels governs català, espanyol i per la Comissió Europea, així com per capital privat. És membre del consell editorial i col·labora en l'avaluació i revisió d'articles de nombroses revistes científiques de referència de gran prestigi (per exemple, *Ecology Letters*, *Remote Sensing of the Environment*, *Ecology*, *Global Change Biology*, *Science*) i en l'avaluació de projectes de diversos programes d'investigació nacionals i internacionals.

És president de la Institució Catalana d'Història Natural, membre de nombroses acadèmies i associacions científiques nacionals i internacionals. Ha rebut nombroses beques i distincions, tant nacionals (Comte de Barcelona, per exemple), com internacionals (NASA, Ministeri de Ciència del Japó, etc.).

Iolanda Filella Cubells (la Palma d'Ebre, Tarragona, 1967) és científic titular del CSIC. Pertany a la Unitat d'Ecofisiologia CSIC-CEAB-CREAF. Ecòloga especialitzada en fisiologia vegetal. Els seus temes de recerca més recents són el canvi global, el canvi climàtic, la contaminació atmosfèrica, la teledetecció, l'ecofisiologia vegetal, la fenologia i el funcionament i l'estructura dels ecosistemes mediterranis.

Dels resultats dels seus estudis destaquen el desenvolupament de tècniques de teledetecció del funcionament d'ecosistemes, que ara són utilitzats àmpliament a escala internacional, i l'estudi d'evidències de l'efecte del canvi global i climàtic sobre l'estructura i el funcionament dels ecosistemes (amb especial atenció als ecosistemes mediterranis).

Ha dirigit i/o participat en nombrosos projectes subvencionats per les agències científiques dels governs català, espanyol i europeu, així com per capital privat. Col·labora en l'avaluació i la revisió d'articles de nombroses revistes científiques de referència (entre altres, *International Journal of Remote Sensing*, *Remote Sensing of Environment*, *Environmental and Experimental Botany*, *Tree Physiology*, *New Phytologist* i *Journal of Environmental Quality*). Ha publicat 70 articles en revistes científiques, 50 dels quals en revistes recollides en el *Science Citation Index*. També ha participat força activament en la divulgació als mitjans de comunicació dels resultats dels estudis realitzats (per exemple, TVC, TVE i BTV).

Santi Sabaté i Jorba (Barcelona, 1960) és biòleg. Actualment és professor titular d'ecologia al Departament d'Ecologia de la Universitat de Barcelona i investigador del Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF). Especialitzat en ecologia forestal, la seva activitat docent i de recerca se centra en l'estudi de l'estructura i la funció dels ecosistemes, els balanços de carboni, aigua i nutrients, i les respostes ecofisiològiques dels boscos al canvi climàtic, la sequera, els incendis i la gestió. Aquesta activitat es desenvolupa tant en treballs experimentals com en el de la modelització.

És coautor de GOTWILA+, un model de simulació del creixement dels boscos sota diferents escenaris de gestió i condicions ambientals (inclosos escenaris de canvi climàtic). Ha participat i continua participant activament en nombrosos projectes de recerca europeus, estatals i catalans. És membre del comitè de gestió de l'acció europea COST E-21 (contribució dels boscos i el sector forestal a la mitigació dels efectes dels gasos amb efecte d'hivernacle). Ha dirigit i publicat nombrosos treballs de recerca, incloent llibres i articles científics. És membre de nombroses acadèmies i associacions científiques nacionals i internacionals.

Carles A. Gràcia i Alonso (Saragossa, 1951) és biòleg. Actualment és professor titular d'ecologia al Departament d'Ecologia de la Universitat de Barcelona i investigador del Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF). Està especialitzat en ecologia forestal i la seva activitat docent i investigadora se centra en l'estudi de l'estructura i funció dels ecosistemes, els balanços de carboni i aigua, així com les respostes ecofisiològiques dels boscos al canvi climàtic. Aquesta activitat es desenvolupa tant en treballs experimentals com de modelització.

És coautor del GOTWILA+, un model de simulació del creixement dels boscos sota diferents escenaris de gestió i condicions ambientals (inclosos escenaris de canvi climàtic). Ha participat i continua participant activament en nombrosos projectes de recerca europeus, estatals i catalans. Actualment és vicepresident de l'Asociación Española de Ecología Terrestre (AEET) i vocal de la Sociedad Española de Ciencias Forestales (SECF). Ha estat director de l'*Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya* (IEFC).

Ha dirigit nombroses tesis, tesines i màsters al llarg de més de 25 anys de dedicació a l'ecologia. Ha publicat llibres i articles científiques així com de divulgació i opinió a *El Periódico* i altres diaris. És membre de nombroses acadèmies i associacions científiques nacionals i internacionals.

Síntesi	521
B9.1. Estudis paleoecològics, històrics, observacionals, experimentals i de modelització en el temps i en l'espai a Catalunya	523
B9.2. El canvi climàtic de les darreres dècades: escalfament i eixutesa	524
B9.3. Els canvis temporals i l'alteració dels cicles vitals dels éssers vius	525
B9.3.1. Les alteracions de les comunitats	
B9.3.2. Les alteracions en l'activitat dels ecosistemes i la biosfera	
B9.4. Altres canvis als ecosistemes terrestres en resposta al canvi climàtic i a les interaccions d'aquest amb altres components del canvi global	529
B9.4.1. Increment en la freqüència de les sequeres severes	
B9.4.2. Increment de la freqüència i intensitat dels incendis forestals	
B9.4.3. Increment de l'emissió de compostos orgànics volàtils	
B9.4.4. Increment de la presència de nitrats a les aigües	
B9.4.5. Efectes directes de l'augment de CO ₂ sobre els ecosistemes	
B9.5. Canvis estructurals i en la distribució espacial dels ecosistemes	534
B9.6. El futur dels ecosistemes terrestres mediterranis davant el canvi climàtic previst per a les properes dècades	536

B9.6.1. Els boscos mediterranis	
B9.6.2. Els matollars mediterranis	
B9.6.3 . Els processos d'erosió i desertització	
B9.7. Els efectes del canvi climàtic sobre els béns i serveis proporcionats pels ecosistemes terrestres i la seva gestió	541
B9.7.1. Els balanços de carboni als boscos i matollars catalans	
B9.7.1.1. Entrades de carboni: la fotosíntesi	
B9.7.1.2. Sortides de carboni: la respiració	
B9.7.1.3. La renovació foliar	
B9.7.1.4. La respiració heterotròfica i el balanç de carboni de l'ecosistema	
B9.7.1.5. Els models en l'exploració d'escenaris futurs	
B9.7.2. Algunes actuacions per als propers anys: més recerca i millores en la gestió dels ecosistemes	
B9.8. Instal·lats en el canvi	550
Referències bibliogràfiques	551

Síntesi

A Catalunya, com passa arreu del planeta, ja es disposa d'una quantitat substancial d'evidències observacionals sobre els efectes biològics del canvi climàtic. L'arribada de la primavera s'ha avançat i la de l'hivern s'ha retardat, de manera que en els darrers cinquanta anys el període vegetatiu s'ha perllongat, per terme mitjà, uns 5 dies cada dècada. De la mateixa manera, a les muntanyes la vegetació mediterrània sembla desplaçar-se cap a cotes més elevades. Aquestes no són les úniques manifestacions del canvi climàtic observades durant les darreres dècades, sinó que se'n poden destacar, entre altres, les següents: episodis de secada dels boscos més freqüents i severs, risc d'incendi més elevat i més emissió de compostos orgànics volàtils biogènics per part dels ecosistemes existents a Catalunya.

L'escalfament i la disminució de les precipitacions previstos per a les properes dècades, si es produeixen, afectaran la fisiologia, la fenologia, el creixement, la reproducció, l'establiment i, finalment, la distribució dels éssers vius, i per tant l'estructura i funcionament dels ecosistemes. De fet ja s'ha comprovat, en estudis experimentals que simulen aquest escalfament i aquesta sequera, com unes espècies resulten més afectades que altres, amb la qual cosa se n'altera l'habilitat competitiva i s'acaba alterant la composició de la comunitat. S'ha observat, per exemple, una disminució de la diversitat dels nostres matollars. En els casos més extrems, les poblacions d'algunes espècies es troben en perill per la sinergia entre l'estrès produït pel canvi climàtic, que fa inadequats els hàbitats en què viuen, i la fragmentació del territori, que en dificulta la migració cap a hàbitats amb condicions més adients per a la seva supervivència.

A més d'aquests canvis estructurals, en aquests estudis també s'han constatat canvis funcionals

com, per exemple, la disminució de l'absorció de CO₂ produïda per les sequeres o un increment en el ritme de pèrdua de nutrients -a través dels lixiviat- com a conseqüència de la possible intensificació dels episodis de pluja produïda per l'escalfament del clima. Aquests canvis afecten i afectaran els múltiples serveis proporcionats pels ecosistemes terrestres, tant els de caràcter productiu (subministrament de béns naturals renovables com ara aliments, medicines, productes derivats de la fusta, caça, bolets, pastures, etc.) com ambiental (manteniment de la biodiversitat, regulació de la composició atmosfèrica i el clima, conservació dels sòl i l'aigua, emmagatzematge de carboni, etc.) i social (usos recreatius, educatius i de lleure, valors tradicionals culturals, turisme i excursionisme, etc.). Un exemple d'això podria ser el paper de molts dels nostres ecosistemes terrestres com a embornals de carboni, el qual podria veure's seriosament compromès durant les properes dècades.

En els propers anys, i per tal de pal·liar tant els efectes del canvi climàtic com l'augment de CO₂ atmosfèric, les polítiques d'aforestació d'espais agrícoles abandonats i de reforestació de zones pertorbades haurien de tenir en compte les condicions que s'estan projectant per al futur immediat. Entre aquestes destaca la d'una decreixent disponibilitat hídrica com a conseqüència tant de la disminució de les precipitacions i/o l'augment de l'evapotranspiració potencial, com de la major demanda d'uns ecosistemes més actius per l'augment de CO₂ i de la temperatura. La gestió dels espais forestals, i dels naturals en general, hauria d'incorporar una planificació a gran escala que considerés la combinació d'espais de tipus divers, així com el seu múltiple ús i l'efecte de les pertorbacions (com, per exemple, els incendis forestals).

B9.1. Estudis paleoecològics, històrics, observacionals, experimentals i de modelització en el temps i en l'espai a Catalunya

L'efecte d'hivernacle està produint i sembla que ha de produir un augment de la temperatura i de l'eixut a Catalunya (Peñuelas, 1993; Piñol et al. 1998; IPCC, 2001; Peñuelas et al., 2002). Per conèixer millor en quin grau s'alteren el funcionament i l'estructura dels ecosistemes mediterranis, s'estan duent a terme un nombre creixent d'estudis, les condicions experimentals dels quals s'intenta que s'apropin tant com sigui possible a les naturals, i s'aprofiten els avenços tecnològics per aplicar-los a les diferents escales temporals i espacials que puguin donar una idea de l'abast de l'alteració dels processos (Peñuelas, 2001).

L'estudi dels efectes que aquests canvis climàtics tenen sobre els ecosistemes terrestres de Catalunya es porta a terme mitjançant cinc tipus d'activitats que recorren diferents escales temporals. Abasten des dels períodes més remots al futur més immediat, tot passant pels períodes històrics més recents:

- 1) L'estudi paleoecològic de testimonis sedimentaris d'èpoques pretèrites, des de milions a milers d'anys enrera.
- 2) L'estudi de material històric divers, com ara espècimens d'herbari, peces de museu, arxius, anells dels arbres, etc., corresponents als darrers segles.
- 3) L'estudi dels canvis ecofisiològics, biogeoquímics i demogràfics dels ecosistemes mediterranis en resposta a les condicions climàtiques canviants de les darreres dècades i anys.
- 4) L'estudi experimental dels ecosistemes mediterranis sota condicions més o menys controlades, que simulen els canvis previstos pels models climàtics per a les properes dècades.
- 5) La modelització dels canvis passats i futurs, en l'espai i en el temps.

Els estudis paleoecològics de testimonis sedimentaris mostren els canvis ecosistèmics associats als canvis climàtics d'èpoques passades com l'holocè recent. Destaquen per la possible similitud amb el canvi que ara vivim les transicions de períodes humits a més secs, amb canvis importants de la vegetació i el desenvolupament de processos erosius, com el que va tenir lloc després de l'òptim climàtic de fa 5-6.000 anys, especialment evident en zones àrides i càlides com les del sud de la península Ibèrica o, més a prop nostre, a Menorca i Mallorca (Peñuelas, 2001), que il·lustren com poden ser els escenaris futurs si continua el canvi climàtic que vivim i el previst pels models de l'IPCC.

Els estudis d'èpoques més properes, els darrers segles, duts a terme amb anells dels arbres i amb materials d'herbari recol·lectats als Països Catalans han mostrat canvis en la morfologia i fisiologia de les plantes produïts en paral·lel als canvis atmosfèrics i climàtics. S'ha comprovat, per

exemple, que en els darrers dos segles la densitat estomàtica ha disminuït en un 21% i la discriminació del ^{13}C en un 5,2% en el conjunt de catorze espècies estudiades, cosa que indica una possible adaptació a les condicions més càlides i àrides de l'actualitat mitjançant una eficiència més elevada en l'ús de l'aigua (Peñuelas i Matamala, 1990; Peñuelas i Azcón-Bieto, 1992).

A part d'emprar eines paleoecològiques i històriques per analitzar els efectes del canvi climàtic al llarg del temps, l'estudi d'aquest fenomen i les seves conseqüències requereix anar ascendint successivament en l'escala espacial, des de la fulla fins l'ecosistema, la regió i el globus terraqüífer. Per estudiar què passa a escala regional i planetària s'utilitzen tècniques de teledetecció, que es basen en el fet que la llum reflectida, després d'incidir en un material, presenta diferents característiques, en funció del tipus de material i del seu estat (Peñuelas i Filella, 1998). Els espectroradiòmetres instal·lats en avions o en satèl·lits poden mesurar la biomassa verda per la proporció de radiació reflectida en l'infraroig i en el roig. Aquesta és la manera com, des de fa unes dècades, s'estudia l'evolució anual de les masses vegetals. Tanmateix, l'estricta estimació de la biomassa, malgrat el seu gran interès, no satisfà del tot les necessitats dels ecòlegs. Interessa mesurar, no solament la biomassa, sinó també el funcionament de la vegetació i, si pot ser, el dels ecosistemes.

Ara es disposa d'espectroradiòmetres més sensibles, capaços de mesurar amb unes resolucions espectral i espacial molt elevades i aportar, d'aquesta manera, informació sobre el contingut hídric i la fisiologia de la vegetació (Peñuelas i Filella, 1998). Tot això és especialment interessant, per exemple, per a l'estudi dels ecosistemes mediterranis, que sovint presenten la biomassa foliar verda durant tot l'any. Les noves eines permeten apreciar la pràctica inactivitat de l'alzinar o dels pins a l'estiu o la seva màxima activitat a la primavera, quan hi ha aigua disponible, així com també els canvis interanuals. D'aquesta

manera, doncs, en l'estudi dels efectes ecològics del canvi climàtic i dels altres components del canvi global, com ara els canvis en els usos del sòl, convé no desaproveitar les noves possibilitats obertes pels avenços tecnològics.

Entre aquests, hi ha els que estan permetent, tornant a l'escala temporal, estudiar experimentalment i amb models el que pot passar als ecosistemes en cas que continui el canvi climàtic, com preveuen els models climàtics de l'IPCC. I en aquesta mateixa escala temporal, interessa repassar el que ha tingut lloc en els ecosistemes terrestres de Catalunya, durant les darreres dècades i els darrers anys, en resposta i en interacció amb aquest fenomen que es coneix com a «canvi climàtic» i que està associat al «canvi atmosfèric» produït per l'activitat humana.

B9.2. El canvi climàtic de les darreres dècades: escalfament i eixutesa

La Terra s'ha escalfat, de mitjana, entre 0,6 i 0,7 °C durant les darreres dècades, tot i que en molts punts de Catalunya l'augment ha superat amb escreix 1°C (Piñol et al., 1998; IPCC 1996, 2001; Peñuelas et al., 2002). Aquest és, potser, el símptoma més clar que el planeta accentua la seva activitat biogeoquímica. La població d'una de les seves espècies, la humana, i l'ús que aquesta espècie fa dels recursos i de l'energia en les seves activitats exosomàtiques, com el transport o la indústria, han seguit creixent exponencialment. Això ha generat –i continua produint– tota una sèrie de canvis de caràcter global entre els quals destaca, pels seus efectes sobre els organismes i els ecosistemes, aquest escalfament (Peñuelas, 1993).

Com a conseqüència de l'absorció de la radiació infraroja pels gasos amb efecte d'hivernacle (com ara el CO_2 o el metà) i del seu increment continuat, pràcticament tots els models preveuen que aquest escalfament s'accentui en les properes dècades. Centenars de climatòlegs, ecòlegs, economistes, geògrafs, químics, advocats i altres professionals varen generar el tercer informe del Grup Intergovernamental d'Experts sobre el

Canvi Climàtic (IPCC, 2001), algunes conclusions del qual ja s'esmenten en altres capítols d'aquest informe, però que aquí mereixen atenció.

Les proves de l'existència d'un escalfament d'àmbit planetari i d'altres canvis en el sistema climàtic són, actualment, encara més clares i contundents que les recollides al segon informe elaborat per l'IPCC l'any 1996. Les dues últimes dècades han estat les més càlides de l'últim mil·lenni. La superfície gelada de l'Àrtic ha disminuït un 15% en els darrers 50 anys. El nivell del mar ha pujat uns 15 cm aquest segle passat. El règim de precipitacions ha canviat en algunes regions i ha augmentat la freqüència i la intensitat d'alguns fenòmens, com «*El Niño*». Sembla que tots aquests canvis s'accentuaran en les properes dècades, ja que l'atmosfera segueix canviant a causa de les activitats antròpiques (que creixen exponencialment i segueixen basades, en bona part, en la combustió de materials fòssils).

Pel que fa a la temperatura global, es preveu un augment d'1 a 5°C durant el segle XXI, en funció de l'evolució de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. A Catalunya, la temperatura mitjana de molts llocs ha augmentat més d'1°C durant els últims 50 anys i sembla que les condicions de bonança meteorològica es posen de manifest abans. Les temperatures que fa 50 anys es registraven a primers d'abril, ara es donen a primers de març (Peñuelas et al., 2002).

Tot i que la precipitació no ha disminuït en les darreres dècades (Piñol et al., 1998; Peñuelas et al., 2002), l'augment de temperatura ha produït un increment de l'evapotranspiració, de manera que moltes de les localitats i regions mediterrànies són ara més càlides i més seques que en les dècades anteriors. Així, per exemple, l'observatori de Roquetes ha registrat un increment de 13 mm en l'evapotranspiració potencial al llarg del segle XX, mentre que la humitat relativa ha disminuït 0,85% per dècada (Piñol et al., 1998). Tot i que les prediccions climàtiques, especialment les relatives a la precipitació, es fan extre-

madament complexes a escala local i regional, l'increment de temperatures previst per molts models de circulació global a la regió mediterrània per a mitjans del segle XXI –d'entre 1 i 3°C–, augmentaran encara més l'evapotranspiració.

B9.3. Els canvis temporals i l'alteració dels cicles vitals dels éssers vius

L'activitat de l'espècie humana, així com la de tots els organismes vius, està fortament influïda per la temperatura. Per tant, és d'esperar que un canvi en les condicions climàtiques produeixi alteracions d'aquesta activitat (figura B9.1).

No ha d'estranyar, doncs, que l'escalfament s'hagi traduït ja en canvis significatius en els cicles vitals de plantes i animals (Peñuelas i Filella, 2001a). Cal tenir present que el pas per les diferents fases d'aquests cicles depèn, entre altres factors, de la temperatura acumulada, d'allò que el biòlegs anomenem *graus-dia*, és a dir, del total d'energia requerida per un organisme per tal de poder-se desenvolupar i passar d'un estadi a un altre del seu cicle vital.

Les evidències d'aquestes alteracions en els cicles vitals són fàcilment observables per tots aquells que segueixen la natura i tinguin uns quants anys i, de fet, ja s'han descrit a diverses regions del món, des dels ecosistemes freds i humits fins als càlids i secs, a partir de l'observació dels registres fenològics disponibles. Aquests canvis fenològics (la fenologia és la ciència que estudia els cicles vitals dels organismes) s'han convertit en el símptoma més clar que el canvi climàtic ja està afectant la vida.

Catalunya és un dels llocs on els canvis fenològics observats són més importants (Peñuelas et al., 2002). No obstant això, les observacions fetes en terres catalanes (figura B9.2) són comparables a altres fetes arreu del món –tot i que cal precisar que aquest tipus d'observacions són més abundants als països rics, amb un nombre d'investigadors més important i més tradició científica (Peñuelas i Filella, 2001a).

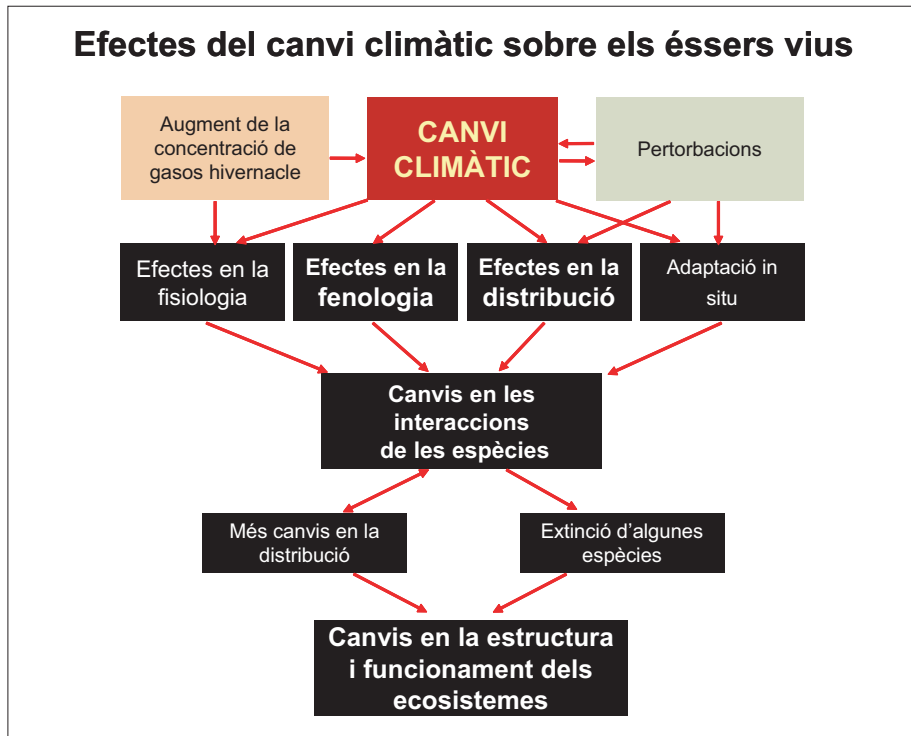


Figura B9.1. Efectes biològics del canvi climàtic.
 Font: elaboració pròpia, a partir de l'estudi de Hughes (2000).

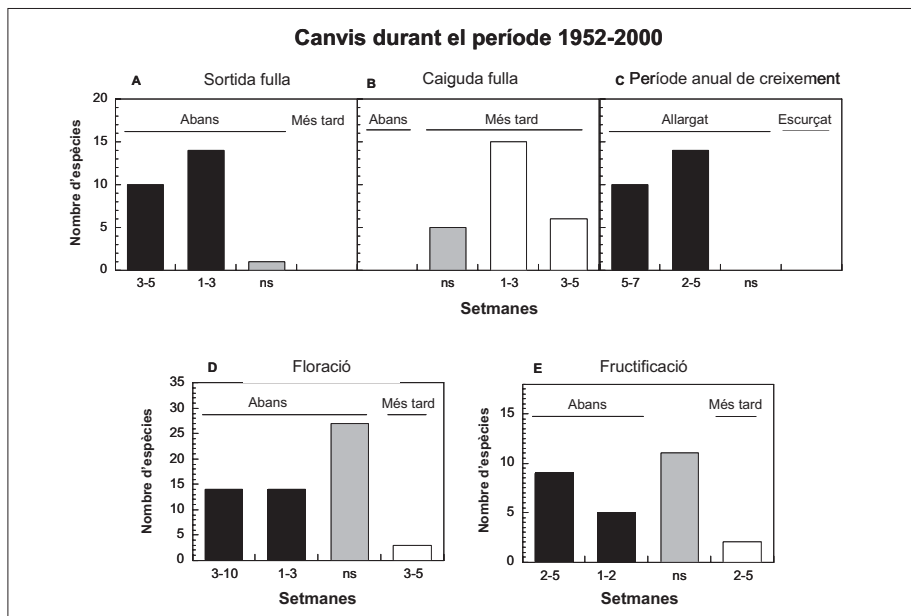


Figura B9.2. Freqüència d'espècies vegetals i animals amb fenologia alterada durant les darreres cinc dècades (període 1952-2000) a Cardedeu (Vallès Oriental).
 Font: Peñuelas et al., 2002.

Com recull la figura B9.2, actualment a Catalunya les fulles dels arbres surten, de mitjana, uns 20 dies abans que no pas fa una cinquantena d'anys. D'aquesta manera, doncs, sembla que la pomera, l'om o la figuera treuen les fulles amb un mes d'antelació i que l'ametller i el pollancre ho fan uns quinze dies abans. N'hi ha d'altres, però, com el castanyer, que semblen immutables al canvi de temperatura (segurament són més dependents d'altres factors com el fotoperíode o la disponibilitat hídrica). D'altra banda, les plantes també estan florint i fructificant, de mitjana, 10 dies abans que fa 30 anys.

Els cicles vitals dels animals també estan sent alterats per aquest procés de canvi. Així, per exemple, l'aparició d'insectes, que passen pels diferents estadis larvaris més ràpidament en resposta a l'escalfament, s'ha avançat 11 dies. Aquest fenomen haurà estat observat pels amants de les papallones, ja que actualment aquestes apareixen abans, són més actives i allarguen el seu període de vol (Stefanescu et al., 2004), tal i com mostra la figura B9.3.

Tota aquesta activitat prematura de plantes i animals pot posar-los en perill per les gelades tardanes. No obstant això, la freqüència d'aquestes gelades ha disminuït en aquest ambient cada cop més calent. Per exemple, fa cinquanta anys a Cardedeu es donaven unes 60 gelades anuals, i ara han passat tan sols a 20 (Peñuelas et al., 2002). Això implica, per tant, que també hagi disminuït el risc de malmetre fulles i flors joves. En molts indrets del planeta s'han descrit respostes similars en l'avançament, d'entre 3 i 4 dies per dècada, de les fenofases de plantes i animals (invertebrats, amfibis, ocells, etc.) durant la primavera (Peñuelas i Filella, 2001a; Walther et al., 2002; Root et al., 2003; Parmesan i Yohe, 2003). Així doncs, sembla que es tracta d'un fenomen general, amb la variabilitat regional, local i específica pròpia de tot fenomen biològic (Peñuelas et al., 2004).

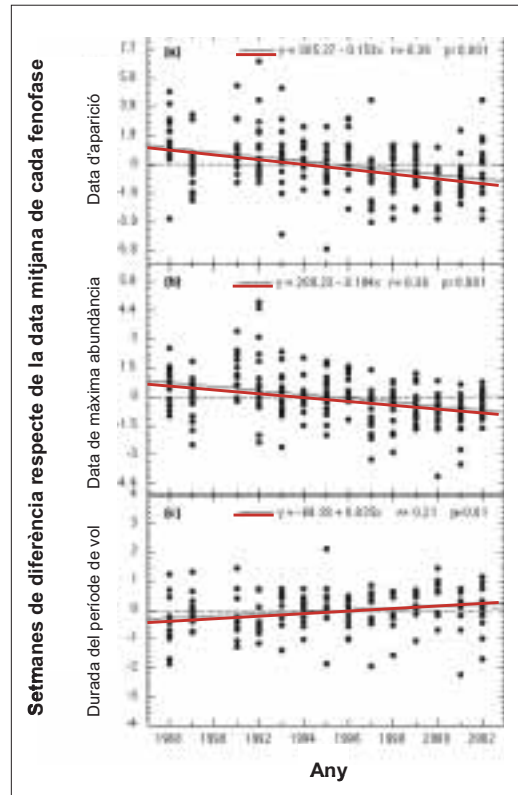


Figura B9.3. Canvis en l'aparició, el pic d'abundància i la durada del vol de 13 espècies de papallones als Aiguamolls de l'Empordà durant els darrers 15 anys.

Font: Stefanescu et al., 2003.

B9.3.1. Les alteracions de les comunitats

Tots aquests canvis fenològics no són simples indicadors del canvi climàtic, sinó que tenen una importància ecològica crítica, ja que afecten l'habilitat competitiva de les diferents espècies, la seva conservació, i, per tant, l'estructura i el funcionament dels ecosistemes.

Com que la natura no és homogènia, les respostes a l'escalfament són diferents depenent de l'espècie (i àdhuc dels individus). Per exemple, el vern i la ginesta floreixen amb més d'un mes d'avançament, les roselles ho fan quinze dies abans, les alzines una setmana, l'olivera no s'immuta i el pi pinyoner fins i tot triga uns dies més. Aquestes respostes tant heterogènies al canvi climàtic poden produir importants desincronitza-

cions en les interaccions entre les espècies, per exemple entre les plantes i els seus pol·linitzadors, o entre les plantes i els seus herbívors, i alterar així l'estructura de les comunitats.

Un exemple paradigmàtic de les desincronitzacions entre nivells tròfics es pot trobar en el cas de les aus migratòries, els hàbits de les quals sembla que també ha estat alterat pel canvi climàtic. Davant de l'avançament detectat en la floració i la fructificació de les plantes, així com en l'aparició dels insectes, i, per tant, l'avançament en la disponibilitat de menjar per a les aus, s'esperaria una arribada més primerenca de les aus migratòries. Paradoxalment, això no és així, i l'arribada d'algunes aus tan comunes i populars com el rossinyol, l'oreneteta, el cucut o la guatlla sembla que s'està retardant de mitjana dues setmanes respecte a fa trenta anys (Peñuelas et al., 2002).

Aquest retard segurament ve determinat pel canvi climàtic que s'està produint al lloc d'on parteixen (les regions subsaharianes) o a les terres que creuen en la seva ruta migratòria. Així, la sequera i la desforestació del Sahel –i la conseqüent manca d'aliment– poden dificultar la preparació del seu viatge i afavorir aquesta arribada més tardana.

Tots aquests canvis poden representar una amenaça per a algunes aus migratòries, que arriben en un moment inapropiat per explotar l'hàbitat, ja que han de competir amb les espècies que s'han quedat durant l'hivern i es troben en millor estat competitiu. De fet, el declivi en el nombre d'aquestes aus migratòries que arriben a Europa en els darrers anys pot ser-ne una conseqüència. D'altra banda, hi ha espècies abans migratòries que aprofiten que aquí l'hivern és cada vegada més suau i ja no se'n van de la península. Aquest es el cas de la puput o de les cigonyes.

B9.3.2. Les alteracions en l'activitat dels ecosistemes i la biosfera

Quan s'estudien els canvis fenològics a escala global (Peñuelas i Filella, 2001a), s'observen al-

teracions tan importants com ara l'augment, en un 20%, de l'activitat biològica del planeta en els últims 30 anys. Aquest increment és atribuïble, en gran part, a aquest allargament fenològic del període productiu, i és apreciable tant en les imatges dels satèl·lits d'observació de la Terra com en les dades de concentració atmosfèrica de CO₂.

Per al seguiment de les masses vegetals des de l'espai s'empra un índex de vegetació normalitzat conegut per l'acrònim anglès NDVI, que es basa en el quocient entre la radiació infraroja i la roja que la superfície terrestre reflecteix cap a l'espai. Com més gran és aquest quocient, més gran és la biomassa verda. Doncs bé, aquest índex NDVI corrobora les dades fenològiques dels observadors terrestres i mostra com en els darrers 20 anys l'estació de creixement dels vegetals s'ha allargat 18 dies a Euràsia i com això s'ha traduït en un augment de la biomassa verda, com a mínim a latituds superiors als 40° (Myneni et al., 1997). L'increment de la productivitat vegetal de les darreres dècades que s'havia atribuït a l'efecte fertilitzador del CO₂ i de les deposicions de nitrogen pot atribuir-se, també en part, a aquest augment de temperatura i a aquest allargament de l'estació de creixement (activitat vegetativa).

Tot això també ve corroborat per les dades de concentració atmosfèrica de CO₂, que mostren un augment de l'amplitud de l'oscil·lació estacional de CO₂ en les últimes dècades a causa d'una disminució més gran de la concentració de CO₂ durant la primavera (Keeling et al., 1996). Aquest allargament de l'estació de creixement juga un paper molt important en la fixació global del carboni, la quantitat de CO₂ de l'atmosfera i en els cicles de l'aigua i dels nutrients, i, per tant, té conseqüències molt importants en el funcionament dels ecosistemes i en el balanç de carboni, ara tan important a la llum del Protocol de Kyoto.

B9.4. Altres canvis als ecosistemes terrestres en resposta al canvi climàtic i a les interaccions d'aquest amb altres components del canvi global

A Catalunya, els ecosistemes terrestres presenten una gran variabilitat climàtica, una complexitat topogràfica important, uns gradients en els usos del sòl i en la disponibilitat d'aigua molt marcats i, també, una biodiversitat molt elevada. Segurament tot això explica la seva especial sensibilitat als canvis atmosfèrics i climàtics, així com als canvis en usos del sòl, demogràfics i econòmics.

El canvi climàtic augmenta l'estrès hídric de la vegetació mediterrània, la qual ja acostuma a viure al límit de les seves possibilitats, com en el cas d'alguns alzinars i pinedes que presenten taxes d'evapotranspiració quasi iguals a les de precipitació. A més d'accentuar la poca disponibilitat d'aigua, l'escalfament accentua altres trets característics dels ecosistemes terrestres de Catalunya, com ara els incendis forestals o l'emissió de compostos orgànics volàtils. I, a més, el canvi climàtic interactua amb altres components del canvi global, com ara el mateix augment de la concentració de CO₂ a l'atmosfera.

B9.4.1. Increment en la freqüència de les sequeres severes

Els models de circulació general (GCM) preveuen, per a Catalunya, un augment de la freqüència i intensitat dels períodes de sequera (IPCC, 2001). Com a exemple dels efectes de períodes càlids i secs es pot prendre l'any 1994, molt calorós i sec, que va afectar profundament la vegetació mediterrània, tot danyant de forma molt severa molts boscos i matollars de la península Ibèrica (així, el 80% de les 190 localitats peninsulars estudiades presentaven espècies danysades, Peñuelas et al., 2001b).

Les alzines, per exemple, es van assecar en moltes localitats de Catalunya (Lloret i Siscart, 1995).

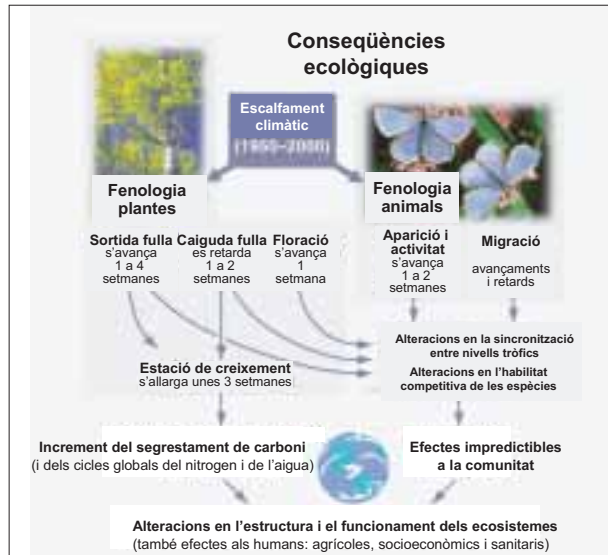


Figura B9.4. Efectes ecològics dels canvis fenològics produïts pel canvi climàtic. Font: Peñuelas i Filella, 2001a.

Estudis isotòpics amb C¹³ i N¹⁵ van mostrar que durant els anys posteriors aquests alzinars van romandre afectats, de manera que van utilitzar menys l'aigua que tenien disponible i es va afavorir la pèrdua dels nutrients del sòl (Peñuelas et al., 2000), una conseqüència secundària greu tenint en compte que aquests ecosistemes solen estar limitats pels nutrients (principalment fòsfor als sòls calcaris i nitrogen als silícics) (Rodà et al., 1999, Sardans et al., 2004).

La severitat diferencial dels efectes sobre els diversos boscos del país va venir donada, entre altres, pels factors següents:

- 1) L'orientació dels vessants (més afectació als solells) (Peñuelas et al., 2000)
- 2) La litologia del sòl (més afectació als sòls profunds i penetrables per les arrels com, per exemple, els esquistos) (Lloret i Siscart, 1995; Peñuelas et al., 2000)
- 3) L'espècie dominant (afectació més important d'alzines que de falsos aladerns, que creixen menys però són més resistents a l'embolisme, utilitzen més eficientment l'aigua i dissipen

millor l'excés d'energia (Peñuelas et al., 1998)

- 4) La gestió forestal (els boscos aclarits són menys afectats que els densos) (Gracia et al., 1999a).

El grau d'afectació fou diferent depenent del tipus funcional i de la història evolutiva de les diverses espècies (Peñuelas et al., 2001b). Els gèneres mediterranis *Lavandula*, *Erica*, *Genista*, *Cistus* i *Rosmarinus*, en la seva majoria arbustius i evolucionats sota les condicions climàtiques mediterrànies, és a dir, posteriorment als 3,2 milions d'anys del Pliocè, foren aparentment més afectats per la sequera que els gèneres evolucionats amb anterioritat, com els *Pistacia*, *Olea*, *Juniperus*, *Pinus* i *Quercus*, majoritàriament arboris. Tot i així, els gèneres mediterranis es recuperaren molt millor després d'uns anys de més disponibilitat hídrica. Un gènere al·lòcton com l'*Eucalyptus* fou fortament danyat per la sequera i no es recuperà en els anys successius. Els gèneres mediterranis post-Pliocè semblen més adaptats per respondre a un ambient difícil de predir amb una gran variabilitat estacional i interannual i subjecte a pertorbacions freqüents.

Entendre aquestes respostes és important per preveure la composició futura de les comunitats en cas que el canvi climàtic continuï. Aquest aspecte es discutirà en aquest mateix capítol, quan es repassin els estudis experimentals simuladors del futur immediat (apartat B4.7).

B9.4.2. Increment de la freqüència i intensitat dels incendis forestals

Aquestes condicions més càlides i més àrides, junt amb altres fenòmens relacionats amb el canvi global, com l'increment de biomassa i d'inflamabilitat associat a l'augment del CO₂, els canvis en els usos del sòl, com ara l'abandonament de terres de cultiu seguit d'un procés de forestació i acumulació de combustible, i/o les pràctiques i activitats del creixent nombre de ciutadans no avesats al bosc, augmenten la freqüència i la intensitat dels incendis forestals. Els

incendis, que han augmentat al llarg del segle XX (Piñol et al., 1998), ja constitueixen una de les pertorbacions més importants en els ecosistemes mediterranis (Terradas, 1996).

Els boscos i matollars mediterranis, caracteritzats per un fort eixut estival, són ecosistemes propensos als incendis. Ara bé, per tal que es produeixin els incendis fa falta un punt d'ignició. Actualment, a Catalunya només un 7% dels incendis tenen un origen natural, i la immensa majoria de les ignicions són provocades per les activitats humanes, sigui per negligència, accident, o intencionadament (Rodà et al., 2003).

La relació entre el foc i la vegetació és complexa. Així, el foc pertorba intensament la vegetació i el paisatge: filtra les espècies vegetals i animals que poden persistir, crea espais oberts, canvia l'estructura de l'hàbitat i l'oferta alimentària per a la fauna i determina mosaics espacials de regeneració que, segons l'escala d'espai i la recurrència dels incendis, poden generar més diversitat. Per altra banda, el foc ocasiona pèrdues de nutrients de l'ecosistema, afecta negativament les espècies de requeriments forestals estrictes i les que no tenen mecanismes adequats de persistència o dispersió, i pot produir una simplificació en la composició i l'estructura de les comunitats.

La resposta de les plantes varia molt segons el tipus i durada de l'incendi, la capacitat de regeneració de l'espècie (des de rebrotadores a germinadores) o l'estat previ a l'incendi. Tot i així, els efectes sobre la vegetació són bastant previsibles. Per exemple, si augmenta el nombre d'incendis, augmenta l'expansió d'espècies heliòfiles, intolerants a l'ombra i que requereixen espais oberts. En canvi, disminueix la presència de les umbròfiles i els focs acaben per mantenir comunitats en estadis successional primers (Terradas, 1996).

De fet, a totes les regions mediterrànies del món els incendis són considerats un factor ecològic i evolutiu dominant. La vegetació mediterrània ha

evolucionat amb els incendis, fins al punt que poden ser fins i tot beneficiosos per a la seva regeneració. No obstant això, l'increment que s'està produint en la recurrència dels incendis pot provocar que les comunitats no tinguin temps de recuperar-se, cremant-se repetidament abans que els nous individus puguin arribar a adults i reproduir-se. Això és especialment greu en algunes àrees de Catalunya, on en els darrers 20 anys s'han experimentat fins a 5 incendis (Díaz-Delgado et al., 2002), tal i com mostra la figura B9.5.

En qualsevol cas, els incendis contribueixen a reduir el contingut de matèria orgànica del sòl, la qual, a la seva vegada, pot disminuir la mida i l'estabilitat dels agregats del sòl. A més, com que hi ha una disminució de la coberta vegetal, pot reduir-se la infiltració de l'aigua al sòl i incre-

mentar-se l'escorrentia superficial. Tot plegat facilita l'erosió del sòl (vegeu previsions futures a l'apartat B9.6.3).

Des del punt de vista social i econòmic, els incendis forestals posen en perill vides humanes i propietats, eliminen durant molt de temps les rendes obtingudes de la fusta i alteren paisatges preuats sentimentalment i econòmicament (Rodà et al., 2003).

El risc d'incendis intensos i de conseqüències no desitjades és, doncs, molt alt als ecosistemes terrestres de Catalunya, sobretot als més mediterranis i als més madurs, on la fracció de combustible mort (amb menys humitat) augmenta significativament. Per això, s'han proposat diverses estratègies de gestió contra els focs intensos: pràctiques de crema freqüent podrien ser



Figura B9.5. Recurrència dels incendis forestals a Catalunya entre els anys 1975 i 1995.
Font: Díaz-Delgado et al., 2002.

adients en el cas de les comunitats joves, mentre que tallar mecànicament seria més adequat en el cas de les més velles i desenvolupades. S'han dut a terme diversos estudis comparant la recuperació després de l'incendi i de la tala mecànica, però les respostes no coincideixen i demostren la necessitat de dur a terme estudis en cada ecosistema específic. El coneixement de la dinàmica de la recuperació a curt i mitjà termini és bàsic per a la gestió de la comunitat, tant si el que es vol és preservar-la com si el que es vol és afavorir el progrés cap a estadis més madurs o mantenir els estadis inicials per a preservar la diversitat dels ecosistemes mediterranis.

B9.4.3. Increment de l'emissió de compostos orgànics volàtils

L'augment de temperatura té molts altres efectes directes sobre l'activitat dels organismes vius. Un que té una certa importància des del punt de vista ambiental és l'augment exponencial de les emissions biogèniques de compostos orgànics volàtils (COV), les quals afecten la química atmosfèrica, no solament pel que fa al cicle del carboni (emissions d'unes 1500 Tg C any⁻¹) o la formació d'aerosols, sinó pel seu paper en l'equilibri oxidatiu de l'aire (nivells d'OH, NO_x, O₃, etc.) (Peñuelas i Llusia, 2001, 2003).

Aquestes emissions són el resultat de la difusió dels COV en un gradient de pressió de vapor, des de les altes concentracions als teixits on es produeixen fins a l'aire circumdant, on les concentracions són baixes com a conseqüència de l'extrema reactivitat dels COV. Per tant, les emissions són controlades pels factors que alteren la concentració tisular, la pressió de vapor o la resistència a la difusió cap a l'atmosfera. La temperatura incrementa exponencialment l'emissió d'aquests COV en activar la seva síntesi enzimàtica i la seva pressió de vapor i en disminuir la resistència a l'emissió. Per altra part, la sequera redueix les emissions com a conseqüència de la falta de carbohidrats i ATP i de la disminució de la permeabilitat de la cutícula a l'intercanvi gasós.

Per tant, caldrà veure quin és el resultat final d'aquest antagonisme entre escalfament i sequera en un tema tant important ambientalment com és l'emissió biogènica de COV. A banda de la temperatura i de la disponibilitat hídrica, altres factors lligats amb el canvi climàtic i amb el canvi global controlen aquestes emissions. Entre aquests factors, un de sorprenent és la concentració d'ozó troposfèric, un dels productes d'aquests COV, en el que seria un fenomen de retroacció positiva de la contaminació per ozó (Llusia et al., 2002).

Lligada amb el canvi climàtic, una de les funcions més importants que semblen tenir alguns d'aquests COV (com els terpens) en la fisiologia vegetal és la d'actuar com a elements termoprotectors. El *Quercus ilex* empraria aquests compostos com a estabilitzadors de les membranes cel·lulars i, més concretament, d'aquelles membranes íntimament relacionades amb els fotosistemes, així com també com a desactivadors dels radicals oxidats per protegir-se de les altes temperatures de l'estiu (Peñuelas i Llusia, 2002).

No obstant això, a més de refrigerar la planta, aquestes emissions de COV podrien retroalimentar negativament l'escalfament del propi clima atmosfèric, en actuar com aerosols que disminueixen la irradiància. Aquest és un aspecte a estudiar amb més profunditat, perquè també, d'altra banda, podrien incidir positivament en l'escalfament a través del seu efecte d'hivernacle directe, en absorbir la radiació infraroja, i indirecte, en allargar la vida al metà i altres gasos amb efecte d'hivernacle (Peñuelas i Llusia, 2003). Aquest és un exemple més de l'important paper que juguen els ecosistemes sobre el mateix clima i el possible canvi climàtic, apart del més conegut i important efecte sobre el balanç del CO₂ a l'atmosfera (figura B9.6).

B9.4.4. Increment de la presència de nitrats a les aigües

Un dels processos biogeoquímics que és font de preocupació arreu del món i, en especial, a mol-

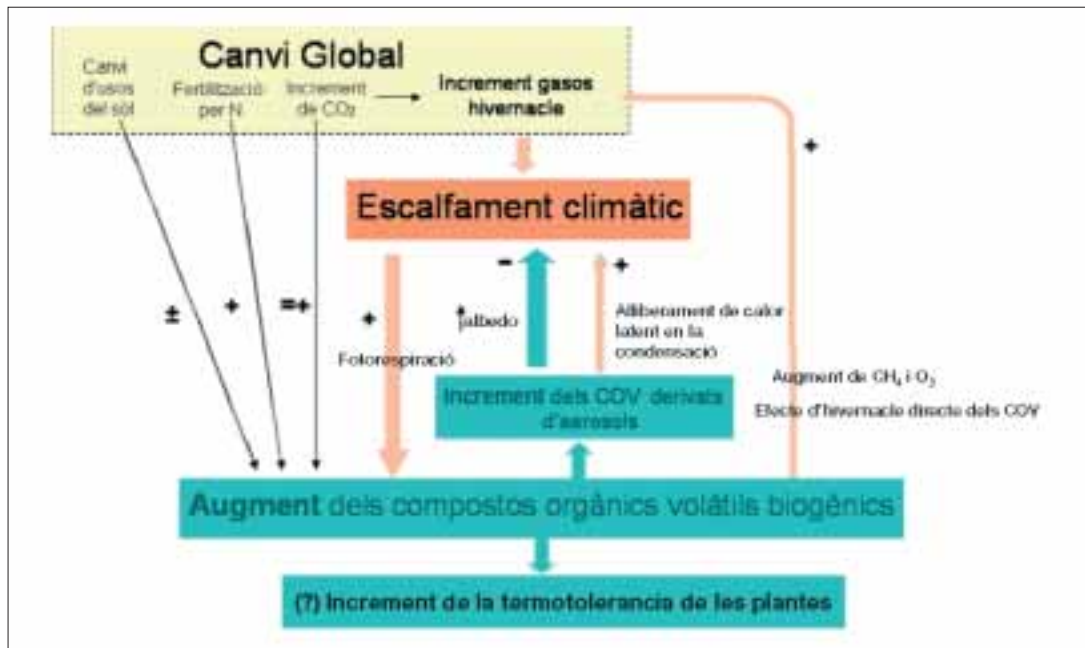


Figura B9.6. Interaccions entre els factors de canvi global i canvi climàtic i les emissions de COV.
Font: elaboració pròpia a partir de Peñuelas i Llusà, 2003.

tes comarques catalanes és la progressiva eutrofització, és a dir, l'enriquiment en nutrients (sobretot de nitrats), experimentat en moltes àrees i, especialment, en les aigües subterrànies. En el cas català, aquest fenomen està molt lligat a l'excés de purins, però l'augment de la temperatura i de les sequeres no en són del tot aliens: l'escalfament augmenta la mineralització i la sequera impedeix l'ús de nutrients per part de les plantes i facilita les pèrdues del sistema quan arriben les pluges.

De fet, la figura B9.7 mostra els resultats d'estudis experimentals realitzats en matollars (per a més informació vegeu l'apartat B9.6.2), on s'aprecia com l'escalfament i la sequera augmenten l'alliberament de nitrats als lixivats del sòl.

Un altre exemple d'alteració biogeoquímica és l'estimulació de la descomposició per l'escalfament. La falta d'aigua, per contra, l'alenteix. Convindrà estudiar el balanç de la interacció

d'aquests dos factors sobre el cicle de la matèria i el funcionament dels ecosistemes mediterranis (Emmet et al., 2003).

B9.4.5. Efectes directes de l'augment de CO₂ sobre els ecosistemes

Tots els factors analitzats fins ara (disponibilitat d'aigua, temperatura, incendis, COV i nutrients) interaccionen amb el principal factor generador del canvi climàtic: l'augment de la concentració de CO₂ a l'atmosfera. És per aquest motiu que s'han dut a terme milers d'estudis sobre els efectes directes que té l'augment d'aquest gas a l'atmosfera (Peñuelas, 1993; Korner, 2000; Peñuelas 2001).

Els estudis es duen a terme en plantes crescudes amb diferents concentracions de CO₂ en diversos sistemes experimentals, que van des de cambres controlades fins a sistemes de fumigació a l'aire lliure, tot passant per hivernacles i fonts naturals de CO₂. La majoria de les espècies estu-

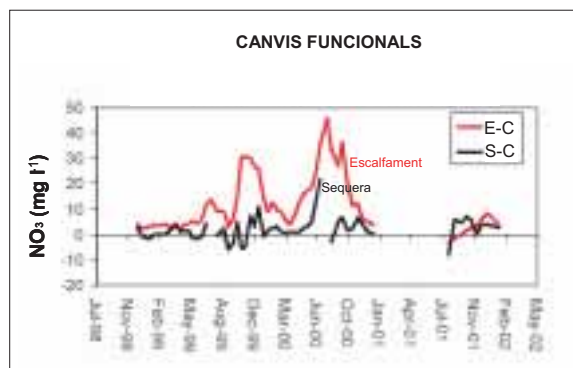


Figura B9.7. Exemple de canvi funcional ecosistèmic produït pel canvi climàtic a un matollar de bruguerola holandès: alliberament de nitrats a l'aigua del sòl en resposta a un escalfament del voltant d'un grau i a una disminució del 33% de la humitat del sòl. Es representa la diferència respecte a parcel·les control (E-C diferència entre escalfament i control; S-C diferència entre sequera i control). Font: elaboració pròpia (basada en Emmet et al., 2003).

diades sota concentracions creixents de CO_2 han mostrat taxes fotosintètiques més elevades, més productivitat i concentracions tissulars de nitrogen més petites, si més no en els estudis duts a terme a curt termini i amb plantes joves (Peñuelas et al., 1995; López et al. 1997). També redueixen la transpiració (menys conductància estomàtica i, de vegades, un nombre d'estomes més reduït) i augmenten, així, l'eficiència d'ús de l'aigua, entesa com els grams de biomassa assimilats per gram d'aigua transpirada. L'efecte últim de l'augment de CO_2 , però, depèn de la interacció amb altres factors ambientals: la temperatura, la radiació, la sequera, la disponibilitat de nutrients o la presència de contaminants atmosfèrics (Peñuelas, 1993; López et al. 1997) (figura B9.8).

Per exemple, els efectes hídrics semblen més accentuats en les condicions de sequera mediterrània que no pas en les pròpies del centre i nord d'Europa, i els efectes de l'ozó vénen moderats pel tancament estomàtic produït pel CO_2 . Les respostes al CO_2 són diferents depenent de les espècies (Peñuelas et al., 2001a) i àdhuc dels genotips (Castells et al., 2002), la qual cosa podria dur a canvis a nivell de comunitat a mesura que aquest gas augmenti.

De totes maneres, no està clar el que pot passar a llarg termini i en les complexes condicions dels ecosistemes. Cal ser prudents en l'extrapolació a partir d'experiments que han estat majoritàriament duts a terme en condicions molt controlades, amb plantes aïllades, joves i a curt termini. Per exemple, aquestes respostes podrien esmortir-se amb el temps. En algunes plantes hi ha hagut aclimatació de la fotosíntesi o han desaparegut les reduccions en les concentracions d'elements com el N després de sis anys de creixement amb una concentració elevada de CO_2 (Peñuelas et al., 1997). Tampoc hi ha una resposta única entre les espècies pel que fa a la química foliar (Peñuelas et al., 2001a).

Tot i així, la vegetació actual sembla presentar una eficiència més alta en l'ús de l'aigua i una concentració més petita de nitrogen i altres elements diferents del carboni que no pas la vegetació de fa uns decennis, tal com han posat de manifest els estudis morfològics, químics i isotòpics dels espècimens d'herbari de Catalunya (Peñuelas i Matamala, 1990; Peñuelas i Azcon-Bieto, 1992). Aquests estudis isotòpics indiquen, també, que els ecosistemes mediterranis podrien respondre a la demanda més gran de N, tot disminuint-ne les pèrdues, incrementant-ne la fixació i aprofitant la creixent fixació i deposició antropogènica (Peñuelas i Filella, 2001b).

B9.5. Canvis estructurals i en la distribució espacial dels ecosistemes

Tots aquests canvis funcionals en resposta al canvi climàtic i als canvis atmosfèrics poden acabar afectant l'estructura dels ecosistemes. Així, si s'accentuen les diferents respostes fenològiques entre les espècies, es repeteixen sovint fortes sequeres com la del 1994, els incendis augmenten i/o el CO_2 té efecte, es poden produir canvis importants en la composició i estructura dels ecosistemes terrestres del país.

Fins a quin punt tenen les plantes i animals ca-

pacitat per adaptar-se o aclimatar-se ràpidament a aquests canvis climàtics? Des d'un punt de vista evolutiu, les espècies tendeixen a ser bastant conservadores i a respondre a les perturbacions més amb la migració que amb l'evolució. A les muntanyes, les espècies poden respondre al canvi climàtic migrant verticalment distàncies curtes (per exemple, només cal pujar 500 metres per contrarestar un augment de 3°C).

Segons alguns estudis paleoecològics, a Catalunya i, en general a tot el planeta, ja s'han observat nombrosos desplaçaments de les àrees de distribució d'algunes espècies i formacions vegetals en resposta a canvis climàtics pretèrits. No obstant això, encara no hi ha gaire evidències com a resposta a l'escalfament actual. Cal recordar que aquests processos requereixen un temps. De totes maneres, recentment, s'ha comparat la distribució de la vegetació actual del Montseny amb

la de l'any 1945 i s'ha pogut apreciar que els ecosistemes mediterranis guanyen terreny als temperats (Peñuelas i Boada, 2003), tal i com es mostra a la figura B9.9.

El canvi en les condicions climàtiques, progressivament més càlides i àrides, i els canvis en els usos del sòl, principalment l'abandonament de la gestió tradicional (com ara la pràctica desaparició dels incendis associats a la ramaderia, que ara estan prohibits al parc del Montseny), que ara estan prohibits al parc del Montseny), són a la base d'aquests canvis, en un exemple paradigmàtic de com interactuen els diferents components del canvi global.

Els estudis paleoecològics suggereixen que moltes espècies vegetals poden migrar amb suficient rapidesa com per adaptar-se al canvi climàtic, però només si existeixen ecosistemes contigus no perturbats, la qual cosa posa de manifest la

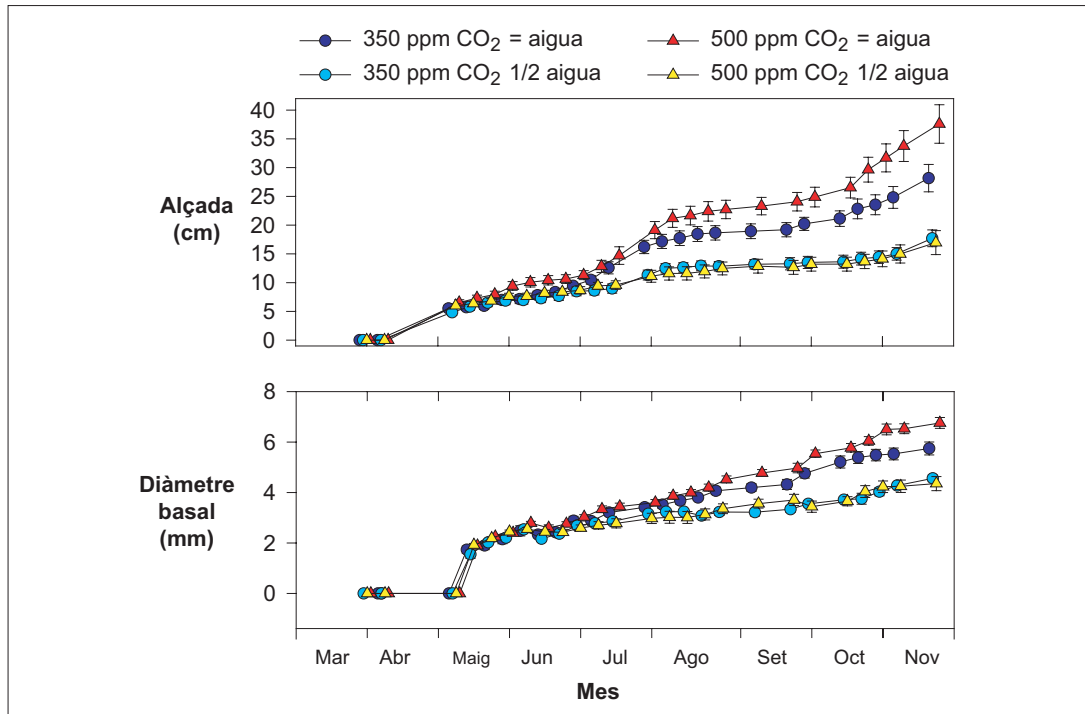


Figura B9.8. Creixement en alçada (cm) i diàmetre basal (mm) de plàntules d'alzina en condicions de CO₂ i aigua controlades. L'aigua es va dosificar reproduint el clima mediterrani de Prades (= aigua) o bé la meitat (1/2 aigua). El CO₂ es va mantenir a nivells de concentració de 350 i 500 ppmv. Font: López et al., 1997.

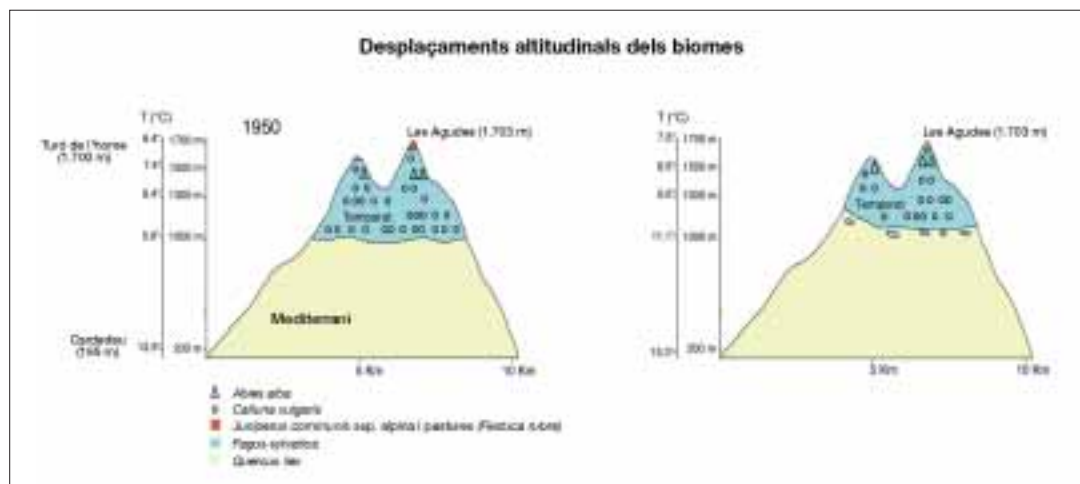


Figura B9.9. Esquema dels desplaçaments altitudinals de la vegetació del Montseny durant els darrers 50 anys. Font: elaboració pròpia a partir de Peñuelas i Boada, 2003.

importància de la fragmentació dels ecosistemes naturals com un altre factor del canvi global. I la fragmentació és elevada a moltes contrades catalanes, com es pot observar si es mira una foto aèria de les comarques de Barcelona. Pel que fa a les muntanyes, la migració cap a altituds més elevades comporta una reducció concomitant en l'àrea total de cada hàbitat, per la qual cosa les espècies que requereixen àrees més extenses poden extingir-se.

Aquests efectes de l'escalfament no han d'estranyar, ja que és ben conegut que els règims climàtics determinen la distribució de les espècies i dels biomes a través dels dintells específics de cada espècie pel que fa a la temperatura i la disponibilitat d'aigua. I tot això no només fa referència a les plantes, perquè els animals no són pas menys sensibles. Al contrari, responen més ràpidament a causa de la seva mobilitat. D'aquesta manera, doncs, s'han documentat força desplaçaments d'espècies animals relacionats amb el clima, entre els quals es pot destacar els desplaçaments de 34 espècies de papallones amb distribució europea, incloent-hi àrees catalanes, cap al pol nord, d'entre 35 i 240 km, durant el segle xx (Parmesan et al., 1999).

B9.6. El futur dels ecosistemes terrestres mediterranis davant el canvi climàtic previst per a les properes dècades

Entre els ecosistemes terrestres del país, els boscos i els matollars s'han estès durant les darreres dècades com a resultat de l'augment de temperatura, de la concentració atmosfèrica de CO₂, i/o de fertilitzants a l'ambient (eutrofització). Aquest fenomen, però, es pot explicar sobretot com a resultat de dos processos d'origen antròpic: la successió secundària a partir de pastures i camps de conreu abandonats, i la superposició d'impactes regressius sobre els ecosistemes terrestres. De fet, actualment aquests ecosistemes terrestres són, en bona part, resultat de l'activitat humana. Els diferents usos que els humans n'hem fet han produït un mosaic d'ecosistemes amb diferents graus de maduresa que formen paisatges heterogenis que garanteixen el manteniment de la diversitat d'aquestes regions mediterrànies. La majoria d'aquests ecosistemes mostren una gran resiliència a les pertorbacions i usualment es recuperen per un procés d'autosuccessió.

Tot i així, els freqüents incendis forestals dels darrers anys han cremat desenes de milers d'hectàrees, de manera que el resultat final pel que fa

al creixement o disminució del nostres boscos no és del tot clar. El que sí es pot afirmar és que, segons estimacions provisionals, l'estiu de 1993 (data de les ortoimatges de l'Institut Cartogràfic de Catalunya que serveixen de base per elaborar el Mapa de Cobertes) la superfície dels boscos de Catalunya amb un recobriment de capçades d'almenys un 5% era d'1.217.599 ha, equivalents al 38% del país.

La disponibilitat hídrica és el factor crític per avaluar els efectes del canvi climàtic sobre els ecosistemes terrestres. En efecte, tant l'allargament de la vida de les fulles dels caducifolis descrita en els apartats anteriors com l'acceleració de la renovació de les fulles dels perennifolis observada en estudis recents (Gracia et al., 2001; Sabaté et al., 2002), fenòmens associats a l'increment de la temperatura, comportaran un augment de l'aigua transpirada, que s'afegeix a l'evaporació potencial més elevada, resultant de l'augment de temperatura. En aquells llocs on el bosc disposa de prou aigua per compensar aquesta demanda hídrica més gran, es pot preveure que la producció forestal augmenti. Ara bé, als llocs amb dèficit hídric, que representen la majoria dels ecosistemes terrestres de Catalunya, es poden esperar canvis importants, que van des de la reducció de la densitat d'arbres fins a canvis en la distribució d'espècies (Gracia et al., 2002). En casos extrems, àrees actualment ocupades per bosc poden ser substituïdes per matollar i àrees actualment ocupades per matollars poden patir erosió.

A Catalunya es duen a terme estudis experimentals en què es manipula experimentalment la temperatura i la disponibilitat d'aigua de l'ecosistema per estudiar els canvis funcionals i estructurals que podrien tenir lloc si es complissin les previsions d'un augment de la temperatura i d'un eixut creixent al sud d'Europa, tal i com apunten els models climàtics. Entre els ecosistemes terrestres, que són els que més abunden en terres catalanes, els boscos i els matollars mediterranis són els més estudiats pel que fa a la seva resposta davant del canvi climàtic.

B9.6.1. Els boscos mediterranis

La disponibilitat hídrica constitueix un dels factors més determinants per al creixement i la distribució de les espècies vegetals mediterrànies. Els models climàtics preveuen un augment de la temperatura a les zones de clima mediterrani —entre les quals hi ha Catalunya—, la qual cosa implicaria un augment de l'evapotranspiració que, segons els mateixos models, no aniria acompanyada d'un augment en les precipitacions. Per tant, la disponibilitat hídrica dels boscos mediterranis podria disminuir en les properes dècades, encara més del que ho ha fet en les darreres.

Per estudiar els efectes d'una disminució en la disponibilitat hídrica en ecosistemes forestals mediterranis, s'està realitzant un experiment a l'alzinar de la Solana dels Torners (Serra de Prades). Es tracta d'un bosc d'uns sis metres d'alçada i una densitat mitjana de 16.617 peus ha⁻¹, dominat per *Quercus ilex*, *Phillyrea latifolia* i *Arbutus unedo*. L'experiment consisteix en l'exclusió parcial de l'aigua de pluja i de l'escorrentia superficial, amb la qual cosa s'assoleix una disminució d'un 15% de la humitat del sòl. Aquesta disminució alenteix els cicles de l'aigua, del C, del N i del P, i afecta l'ecofisiologia i demografia de les espècies. De fet, ve a corroborar estudis anteriors realitzats als mateixos boscos de Prades, on uns experiments de fertilització i irrigació van permetre comprovar que l'aigua va afectar el creixement diametral i el nitrogen a la dinàmica foliar (Sabaté i Gracia, 1994; Rodà et al., 1999).

El tractament de sequera actual ha reduït el creixement diametral dels troncs en un 37%, però no totes les espècies resulten afectades per igual. Algunes són bastant sensibles, com *Arbutus unedo* i *Quercus ilex*, que mostren respectivament un creixement diametral 77% i 55% més baix en condicions de sequera, mentre que altres, com *Phillyrea latifolia*, no experimentarien cap disminució apreciable en el creixement diametral (figura B9.10). La mortalitat dels individus mostra un patró semblant, ja que *Arbutus unedo* i *Quer-*

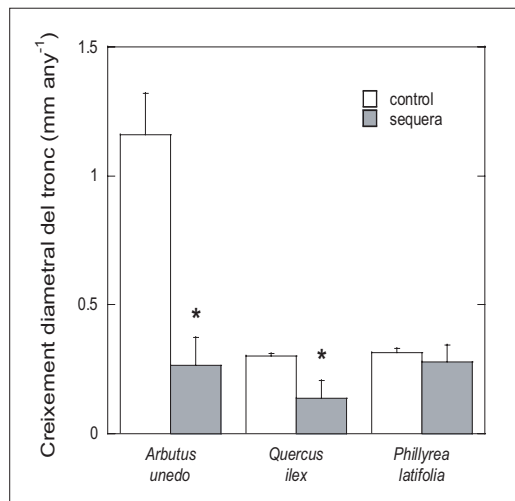


Figura B9.10. Respostes a la sequera (disminució del 15% de la humitat del sòl) de les tres espècies dominants de l'alzinar de Prades.

Font: elaboració pròpia a partir d'Ogaya et al., 2003.

cus ilex mostren una mortalitat més elevada que *Phillyrea latifolia*. Sota condicions de sequera, l'acumulació de biomassa total aèria del bosc ha minvat un 42% (Ogaya et al., 2002).

Per tant, l'experiment ha posat de manifest que sota condicions més àrides que les actuals, els boscos mediterranis poden reduir bastant les seves taxes de creixement i, per tant, la seva capacitat per segrestar carboni atmosfèric. A més, com que no totes les espècies vegetals resultarien igualment afectades, a llarg termini hi podria haver un canvi en la composició específica del bosc, resultant més afavorides, com és natural, les espècies més resistents a la sequera.

De totes maneres, les prediccions no són mai fàcils, atesa la complexitat de la vida. Els efectes del canvi climàtic es manifesten en la dinàmica de les poblacions vegetals a través de l'establiment de nous individus i de la mortalitat dels establerts. El balanç entre aquests dos processos indica les tendències de les comunitats. En aquest experiment s'ha estudiat l'aparició i supervivència de noves plàntules d'alzina i fals aladern

(*Phillyrea latifolia*), les dues espècies arbòries dominants. Aquestes espècies presenten, en el bosc estudiat, diferents estratègies de reclutament: plàntules de rebrot i llavor, respectivament.

Els resultats indiquen que l'aparició de noves plàntules de fals aladern està més afectada per la secada que el creixement de nous rebrots d'alzina. Aquestes diferències, però, desapareixen amb el desenvolupament de les noves plantes, de manera que la supervivència de plàntules i rebrots és semblant pocs anys després. Aquests resultats indiquen que els efectes de la secada són més importants en les fases inicials del desenvolupament. Tanmateix, les diferències entre espècies poden variar segons la fase de desenvolupament: els adults d'alzina semblen menys resistents a la secada que els de fals aladern, però les pautes de reclutament són les contràries. La cosa es complica encara més si es considera que la supervivència de noves plàntules de moltes d'aquestes espècies, com per exemple l'alzina, depenen de trobar condicions en les que no quedin exposades en excés a la radiació, sobretot en els estadis inicials. Si disminueix molt la cobertura arbòria com a conseqüència del canvi climàtic, també pot ser que disminueixi la disponibilitat d'àrees on les plàntules es puguin instal·lar.

B9.6.2. Els matollars mediterranis

També es duen a terme estudis de les respostes al canvi climàtic de l'altre gran grup d'ecosistemes terrestres: els matollars. Destaca, especialment, el d'escalfament amb tècniques no intrusives dut a terme al Garraf. Fins ara s'havien usat diverses tècniques per manipular la temperatura de l'ecosistema, com radiadors d'infraroig, cables enterrats i hivernacles, però aquests mètodes impliquen pertorbacions no desitjades d'alguns paràmetres físics (la llum, el vent o la humitat relativa) o, fins i tot, d'una part de l'ecosistema (sòl). A les brolles del Parc Natural del Garraf actualment s'utilitza una tècnica nova, l'*escalfament nocturn passiu*, per manipular la temperatura de l'ecosistema sense els inconvenients descrits anteriorment.

L'escalfament nocturn passiu s'indueix cobrint, durant la nit, unes parcel·les de l'ecosistema amb tendals fets d'un material refractari a la radiació infraroja. D'aquesta manera queda retinuda una part de l'energia acumulada per l'ecosistema durant el període de llum solar. Amb aquesta metodologia s'augmenta al voltant d'un grau la temperatura de l'ecosistema sense alterar altres variables ambientals. L'eixut s'indueix amb la mateixa tecnologia però cobrint les parcel·les amb tendals de plàstic impermeable mentre duren les pluges (Beier et al., 2003).

Aquests estudis mostren que la magnitud de la resposta a l'escalfament i a la sequera sembla molt diferent depenent de les condicions del lloc d'estudi. Els llocs freds i humits, com són els del nord d'Europa, són més sensibles a l'escalfament, mentre que el nostre país, més càlid i més sec, és més sensible a la sequera (figura B9.11). També depèn de l'estació de l'any: els processos són més sensibles a l'escalfament a l'hivern que no pas a l'estiu i, com passava als boscos, les respostes també depenen de l'espècie i, fins i tot, de l'individu (Peñuelas et al., 2003).

La diferent direcció de la resposta a l'escalfament en funció de l'estació de l'any lliga amb l'efecte que el fred hivernal té sobre la fisiologia de les espècies mediterrànies. Sorprenentment, els resultats mostren que les condicions d'alta irradiància i relativament baixes temperatures poden afectar l'activitat fotoquímica d'aquestes plantes, fins i tot més que no pas l'estrès produït per la sequera estival (Oliveira i Peñuelas, 2001, 2002).

L'experiment del Garraf s'ha realitzat en una de les localitats més eixutes i càlides d'un projecte d'àmbit europeu que estudia els efectes del canvi climàtic sobre les comunitats arbustives, de manera que s'estudien els efectes del canvi climàtic al llarg d'un gradient latitudinal i climàtic. En aquest gradient l'escalfament augmenta la respiració del sòl entre un 0-24%, mentre que l'eixut la disminueix un 12-29%. Per altra banda, la descomposició de la vïrosta no es veu afectada a llarg termini, tot i que a curt termini l'eixut en retarda la descomposició. Al llarg del gradient climàtic només s'observen quantitats positives de mineralització del nitrogen quan la humitat del sòl és superior al 20%, però està per sota del 60%. És en

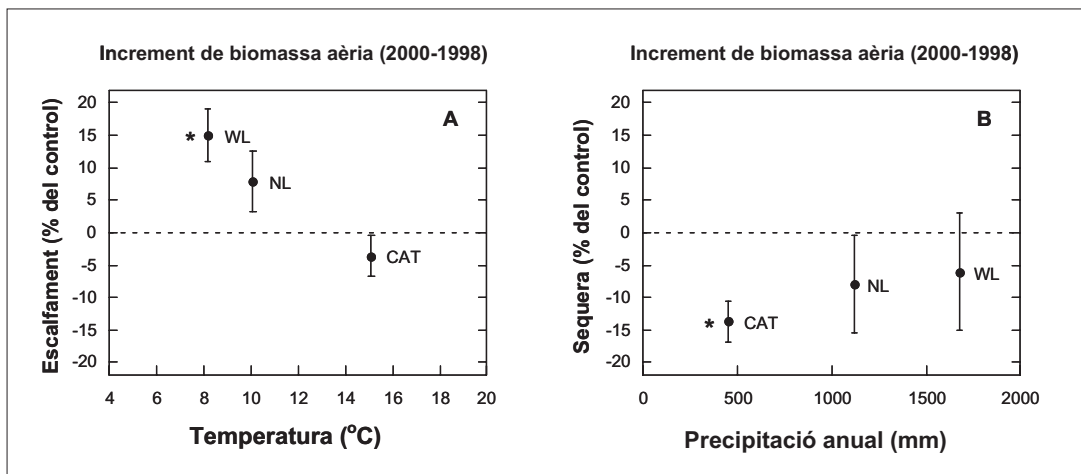


Figura B9.11. Canvis relatius en l'acumulació de biomassa aèria a broles d'ericàcies de tres països europeus (Gales-WL-, Holanda-NL-, i Catalunya-CAT-) produïts per un escalfament d'aproximadament 1°C i una sequera de 20-30% de disminució de la humitat del sòl, i representats en funció de la precipitació anual i de la temperatura mitjana anual ($p < 0,05$; diferència amb el control).

Font: Peñuelas et al., 2003.

aquest rang on s'observa una relació positiva amb la temperatura del sòl (Emmet et al., 2003).

D'aquesta manera es comprova, doncs, que els canvis de temperatura i d'humitat afecten el desenvolupament de la vegetació i el funcionament dels ecosistemes, alterant, per exemple, els cicles del carboni o del nitrogen, o els balanços d'energia (Beier et al., 2003; Emmet et al., 2003; Peñuelas et al., 2003). La figura B9.7 mostra, com exemple de canvi funcional provocat pel canvi climàtic, els resultats d'estudis experimentals a matollars holandesos on s'aprecia com l'escalfament augmenta l'alliberament de nitrats als lixiviats del sòl.

Els experiments de sequera i escalfament portats a terme al Garraf indiquen que la sequera fa disminuir el nombre de plàntules i la seva respectiva riquesa d'espècies, tal i com mostra la figura B9.12.

Aquesta disminució també es dona, però en proporcions molt més petites, en el tractament d'escalfament. Aquest efecte es produeix principalment a la germinació i, una vegada la plàntula s'ha establert, la seva supervivència està poc afectada pels tractaments. En general, les espè-

cies que actualment produeixen menys plàntules són les que tindrien més probabilitats de desaparèixer en un escenari climàtic més eixut. Quan les condicions, però, són més extremes, hi ha indicis que la resposta de les espècies pot ésser en alguns casos independent de l'abundància actual de les seves plàntules (Lloret et al., 2004).

Tots aquests estudis suggereixen transformacions importants en la composició de les comunitats vegetals com a conseqüència del canvi climàtic. Aquestes transformacions poden ser ràpides si les fluctuacions interanuals són importants i si existeixen característiques del medi que determinen llindars de resposta en condicions extremes.

Tota aquesta complexitat no fa gens fàcil predir el sentit i la intensitat de les respostes d'aquests ecosistemes al canvi climàtic, però aquests estudis mostren que hi haurà efectes importants. El que sí és cert és, que en qualsevol cas, les prediccions de la condició dels ecosistemes mediterranis en les properes dècades requereixen un millor coneixement de les seves respostes als canvis climàtics i de prediccions regionalitzades del clima i usos del sòl. Això encara és lluny de ser possible a causa de la variabilitat i impredictibilitat que són inherents al mateix sistema climàtic a escala regional i, especialment, a la regió mediterrània.

Convé recordar que és molt probable que els canvis i les respostes no siguin simplement lineals. Tampoc s'ha d'oblidar que la regió mediterrània viu, a més del canvi climàtic i atmosfèric, l'abandonament de terres de cultiu i la fragmentació dels ecosistemes com dos grans canvis en els usos del sòl. Amb tot això es pot preveure que, si tot continua com ara, és fàcil que en les properes dècades hi hagi més ecosistemes en estadi successional primerencs i menys complexos des d'un punt de vista ecològic.

B9.6.3. Els processos d'erosió i desertització

La disminució de la productivitat vegetal i de la reproducció en resposta a la sequera (o, en menor

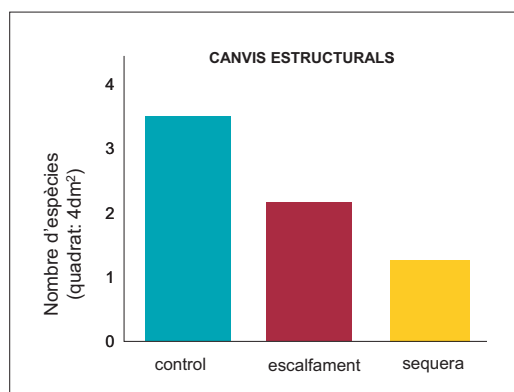


Figura B9.12. Exemple de canvis ecosistèmics estructurals produïts pel canvi climàtic: disminució de la densitat d'espècies reclutades en parcel·les de brolles mediterrànies del Garraf sotmeses a 1 °C d'escalfament o a una disminució de la humitat del sòl de 20%.

Font: elaboració pròpia a partir de Lloret et al., 2004.

grau, a l'escalfament) es tradueix en una disminució de la matèria orgànica que arriba al sòl i, també, del reclutament de noves plantes i del recobriments del sòl, tots ells fenòmens que produeixen una disminució de la capacitat d'aquest de retenir l'aigua. Si el contingut d'aigua del sòl minva, disminueix la productivitat de la vegetació, reduint-se encara més l'entrada de matèria orgànica, en un cercle viciós que es retroalimenta. Les disminucions de l'aigua del sòl incrementen el risc d'incendis i les disminucions de la coberta vegetal i de la matèria orgànica del sòl incrementen, a més, el risc d'erosió. De fet, els riscos d'incendis i d'erosió són els més greus pels matollars mediterranis, especialment a les zones més àrides.

Com més àrida és l'àrea considerada, més lenta és la recuperació de la vegetació després de sequeres múltiples i prolongades i/o d'incendis, fet explicable tant pel temps que tarda en construir nova biomassa com perquè sovint té lloc una degradació del sòl, especialment si hi ha sobreexplotació durant els períodes secs o si hi ha recurrència dels incendis. D'aquesta manera es facilita l'erosió i, en casos extrems, es pot arribar a la desertització. Aquest és un problema que ja és present en zones on els sòls dels ecosistemes degradats són incapaces de retenir l'aigua proporcionada per les tempestes ocasionals i extremes de la tardor, les quals provoquen avingudes i més erosió.

A les zones amb terrasses d'origen agrícola l'erosió és, probablement, una amenaça menys immediata que en zones similars sense terrasses. Les àrees cremades del sud de Catalunya i, sobretot, del País Valencià, són susceptibles de patir erosió perquè en gran part es localitzen en camps generalment sobre substrats margosos molt sensibles a l'erosió, on la precipitació és reduïda (350-600 mm o menys) i està concentrada principalment a la tardor i on, a causa de l'ús agrícola previ, hi ha un nombre d'espècies rebrotadores més petit. Aquests trets agreujarien els efectes directes de la sequera i portarien l'ecosistema a condicions més àrides.

L'atractiu d'aquests ecosistemes per activitats recreatives com ara l'observació de la natura o la cacera podria disminuir i la quantitat de carboni emmagatzemada i absorbida, també. És a dir, que els béns i serveis dels ecosistemes poden ser alterats profundament.

B9.7. Els efectes del canvi climàtic sobre els béns i serveis proporcionats pels ecosistemes terrestres i la seva gestió

Des del punt de vista antròpic, els ecosistemes terrestres són sistemes multifuncionals, que compleixen tres grans tipus de funcions (Rodà et al., 2003): productives, ambientals i socials. En la seva funció productiva, subministren béns naturals renovables, com els aliments, les medicines, els productes derivats de la fusta i els no fusters (pastures, suro, pinyes, caça, bolets, etc.).

Entre les funcions ambientals i ecològiques destaquen els serveis ecosistèmics prestats gratuïtament, com el manteniment de la biodiversitat, la regulació de la composició atmosfèrica i del clima, la regulació dels cicles biogeoquímics, la conservació del sòl i de l'aigua (per exemple, la prevenció de l'erosió) o el magatzematge de carboni.

Entre les funcions socials, les més rellevants són els usos recreatius, educatius i de lleure, les oportunitats per la recerca, els seus valors tradicionals culturals i emocionals, així com el paisatge agradable que constitueixen, funcions que permeten el desenvolupament d'activitats econòmiques importants com el turisme i l'excursionisme.

És evident que les transformacions produïdes pels canvis climàtic i atmosfèric tindran un impacte sobre molts d'aquests béns i serveis i, per tant, sobre els sistemes socioeconòmics (Winnet, 1998). També és clar que les influències del canvi climàtic són difícil de separar de les dels altres components del canvi global, com els canvis atmosfèrics o en els usos del sòl. D'entre aquestes funcions i serveis ecosistèmics interes-

sa especialment tractar la que fa referència al magatzematge de carboni per les implicacions que té en tots aquests serveis, ja que és la base de la producció vegetal que els sustenta, i per les implicacions que té en el balanç de CO₂ atmosfèric, origen últim del canvi climàtic.

B9.7.1. Els balanços de carboni als boscos i matollars catalans

Quan es parla de balanços de carboni, el que cal estudiar és fins a quin punt els boscos i matollars catalans estan actuant com a fonts o com a captadors i acumuladors de carboni. En aquest balanç intervenen molts processos, complexos i sotmesos a interaccions diverses. A continuació es presenten els trets més importants que poden explicar el balanç de carboni. Tancar aquest balanç al detall no és una tasca fàcil, i més quan en aquesta ànlisi intervenen escales de temps i espai diferents. També apareixen incerteses pel que fa a la comprensió de com afecten de forma combinada les condicions ambientals que interaccionen amb els processos implicats. Tot i que en els darrers anys s'ha avançat molt, encara queda molta recerca per fer.

El balanç de carboni depèn de forma important de dos processos essencials que formen part de l'activitat dels organismes: la fotosíntesi i la respiració. S'ha de dir, però, que encara que pels seus resultats ho semblin, fixació o alliberació de carboni del ecosistema no són passos inversos del mateix procés, sinó que són processos independents pel que fa a la seva evolució, localització i bioquímica.

B9.7.1.1. Entrades de carboni: la fotosíntesi

La fotosíntesi, realitzada en els cloroplasts de les plantes, és la via a través de la qual els productors primaris incorporen CO₂, i construeixen la matèria orgànica. De forma simplificada es pot dir que els productors primaris retiren CO₂ de l'atmosfera reduint-lo, gràcies als electrons que proporciona l'aigua i l'energia de la llum, produint així la matèria orgànica i alliberant oxigen. El carboni reduït emmagatzema l'energia d'ori-

gen lumínic en forma d'energia química a la matèria orgànica: la biomassa.

Aquesta via depèn de les condicions ambientals. D'entrada, es necessita llum i aigua, però també els nutrients que formen part de la maquinària fotosintètica i d'altres components de la matèria viva (nitrogen, fòsfor, potassi, etc.). Per fer arribar aquests nutrients des de les arrels (que els absorbeixen del sòl) fins als cloroplasts, situats a les fulles, la planta necessita aigua i energia que els faci pujar a través de la tija. A més, aquesta activitat també depèn de la temperatura: a temperatures baixes s'atura i, a temperatures massa elevades, es desorganitza. En aquest sentit, doncs, la temperatura òptima oscil·la entre 15 i 25 graus, en funció dels organismes. En evaporar-se l'aigua que puja des de les arrels fins a les fulles, a través de la transpiració, no només es contribueix a aquest aport de nutrients, sinó que també es permet que la planta es refrigeri. En aquest trajecte de l'aigua, els estomes de les fulles s'obren i deixen sortir l'aigua cap a l'atmosfera i entrar el CO₂, que és necessari per a la fotosíntesi.

Queda clar que la fotosíntesi va molt lligada a les condicions ambientals i que si aquestes canvien per un canvi climàtic, les plantes en poden resultar molt afectades. En els apartats anteriors ja s'han vist alguns d'aquests efectes. En les condicions mediterrànies, el clima es caracteritza per la manca d'aigua a l'estiu, coincidint amb el període de més energia de radiació disponible i temperatures més elevades. D'altra banda, les baixes temperatures de l'hivern, encara que no de forma excessiva, redueixen l'activitat fotosintètica. La primavera i la tardor són els períodes de més activitat en coincidir la disponibilitat d'aigua i temperatures òptimes per l'activitat de les plantes, sobretot a la primavera.

Si aquesta manca d'aigua s'accentua, la realització de l'activitat fotosintètica serà més complicada. Tancar els estomes com a conseqüència de la manca d'aigua significa barrar l'entrada del CO₂

i aturar la fotosíntesi, així com aturar la refrigereció de les fulles que a l'estiu reben, en el cas mediterrani, un excés de radiació. Si el CO_2 es fa més abundant a l'atmosfera, com està passant a causa de l'activitat humana, pot incrementar-se la facilitat de captació d'aquest gas, necessari per fer la fotosíntesi, a través dels estomes. La demanda d'evaporació de l'atmosfera, com s'ha dit en apartats anteriors, tendeix a incrementar-se eixugant els nostres ecosistemes de forma més intensa, i per tant estimulando la transpiració. Si això s'accentua i, a més, no s'incrementa la disponibilitat d'aigua –més aviat es preveu una reducció de pluja a les zones mediterrànies– les plantes mediterrànies veuran accentuat els seus estrès hídric i disminuïdes les seves opcions per fer fotosíntesi. A més, les plantes deixaran menys aigua al sòl, quedant més seques en els períodes d'eixut i més susceptibles a la combustió, afavorint la propagació d'incendis (com també s'ha esmentat anteriorment). La disponibilitat més elevada de CO_2 pot apaivagar l'efecte de la manca d'aigua, fent més eficient el seu ús, però el manteniment d'aquesta eficiència a llarg termini no està clar i pot no ser suficient per compensar-lo.

B9.7.1.2. Sortides de carboni: la respiració

La respiració és la via a través de la qual els organismes utilitzen l'energia química emmagatzemada a la matèria orgànica. Aquest procés és molt general i no només el realitzen les plantes que fan la fotosíntesi, sinó que també el realitzen els animals i els microorganismes (bacteris i fongs). Així, de manera simplificada, es pot dir que mentre s'oxida la matèria orgànica es consumeix oxigen, es produeix CO_2 i aigua, i s'aprofita l'energia química del carboni reduït durant la fotosíntesi. D'aquesta manera, el CO_2 troba el seu camí de retorn a l'atmosfera. Per tant, els productors primaris fan fotosíntesi i respiren, i depenen d'ells mateixos per produir matèria orgànica i utilitzar l'energia química que hi ha quedat dipositada. Per això, aquests es denominen organismes autòtrofs i la seva respiració rep el nom de respiració autotròfica.

La diferència entre el carboni fixat a la fotosíntesi (*producció primària bruta*) i la *respiració autotròfica* dona el *primer nivell del balanç de carboni*, que rep el nom de *producció primària neta*. Aquest balanç explica el creixement i el manteniment de la biomassa. Per tal que un sistema, bosc o matollar, mantingui la seva estructura o la incrementi, la producció primària neta no pot ser negativa.

A més, com que la resta d'organismes de l'ecosistema depenen d'aquest balanç positiu de carboni, se n'ha de produir prou com per compensar també el creixement i la respiració dels altres organismes de l'ecosistema que no són autòtrofs: els heteròtrofs. Aquests organismes depenen de la matèria orgànica fixada pels productors primaris. A la seva respiració, que funciona igual que la de les plantes, se la denomina *heterotròfica*. Aquest és el *segon nivell del balanç de carboni*. La producció neta de l'ecosistema, és a dir, la diferència entre la producció primària neta i la respiració heterotròfica.

Encara hi ha un tercer nivell del balanç de carboni, que correspon al nivell del bioma –el que s'anomena la producció neta del bioma. Aquest nivell incorpora l'espai i la seva heterogeneïtat a una escala més gran. És a dir, els matolls i boscos estan sotmesos a pertorbacions, com per exemple el foc, que acaben oxidant parcialment la matèria orgànica de l'ecosistema i retornant CO_2 a l'atmosfera en reduir-ne l'estructura. El balanç a nivell de bioma incorpora, doncs, el retorn de CO_2 atribuïble a les pertorbacions, integrant pel que fa al balanç de carboni escales de paisatge més grans, amb ecosistemes en diferents estadis de recuperació després de les pertorbacions a què han estat sotmeses en algun moment de la seva història o desenvolupament.

Tornant a la producció primària neta, aquesta constitueix l'acumulació d'estructura de l'ecosistema, però si els compostos de carboni són mòbils (com, per exemple, el midó) constitueixen les reserves d'energia que la planta pot utilitzar

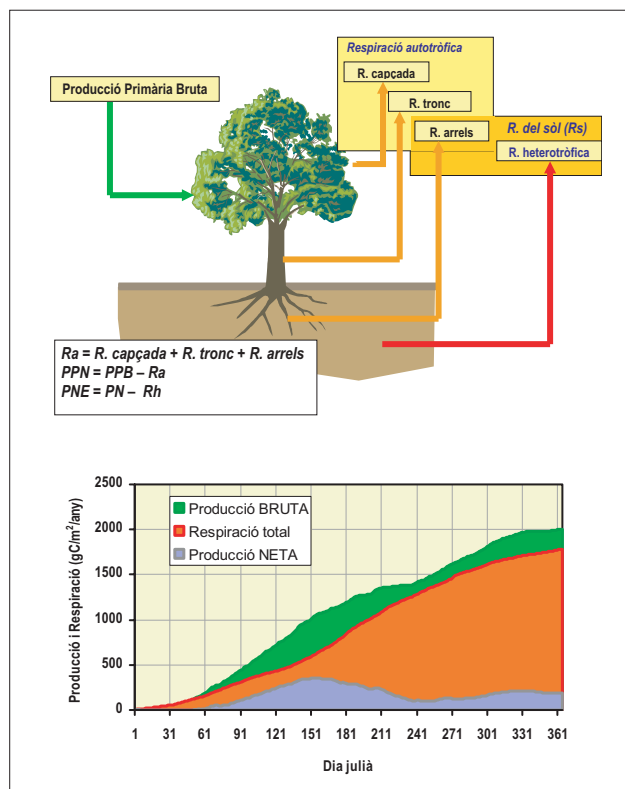


Figura B9.13. A dalt: representació esquemàtica i simplificada dels principals components pel càlcul del balanç de carboni als boscos i matollars. A sota: producció i respiració, les quals a escala anual són del mateix ordre de magnitud. El balanç de carboni és el resultat de restar aquests dos grans fluxos de signe contrari. Les dades corresponent a un bosc mediterrani típic.

Font: elaboració pròpia.

en períodes en què la fotosíntesi no és possible, ja sigui perquè és de nit o bé perquè es tracta de períodes amb estrès hídric, com s'ha esmentat anteriorment. La respiració depèn del substrat (la matèria orgànica que s'oxida) i de l'oxigen, que és prou abundant a l'atmosfera. En aquest cas, no es necessita ni la llum, ni el CO_2 (poc abundant comparat amb l'oxigen), ni l'aigua que no sigui la present a la matriu cel·lular.

Com a resultat d'això, la respiració, com la fotosíntesi, està condicionada per la temperatura, que afecta molt l'activitat metabòlica, però no pels altres factors que modulen la fotosíntesi. Tampoc no s'atura mentre l'organisme disposi

de substrat per respirar. Per tant, la respiració augmenta amb l'increment de temperatura, però aquesta ho fa encara més que la fotosíntesi, donat un cert increment de temperatura. Aquesta diferència determina que si augmenta la temperatura com a conseqüència del canvi climàtic, malgrat que ambdós processos puguin augmentar, la respiració ho fa més ràpidament.

L'augment de la temperatura és una de les variables de canvi més acceptades en el marc del canvi climàtic, per la qual cosa la producció primària neta es pot veure reduïda en no incrementar-se de forma equivalent la fotosíntesi. És més, en condicions de manca d'aigua, en les quals la fotosíntesi està aturada i la respiració continua activa, la producció primària neta pot quedar sensiblement reduïda. Ara bé, si la temperatura augmenta massa també s'arriba a una situació on la maquinària metabòlica es desorganitza, com ja s'ha esmentat en el cas de la fotosíntesi.

Si la respiració autotròfica va consumint les reserves de carboni, el bosc o matollar pot anar perdent estructura (fulles, per exemple) i, fins i tot, arribar a episodis de mortalitat si el consum de les reserves d'alguns individus és total. Per això, les reserves de carboni són tant importants per explicar les superacions de períodes d'estrès ambiental. Un exemple és l'episodi de sequera viscut l'any 1994, després del qual les alzines de les muntanyes de Prades van reconstruir les seves capçades, havent perdut pràcticament totes les fulles, gràcies a les seves reserves de midó (Gracia et al., 1996, 1999a).

B9.7.1.3. La renovació foliar

Altres aspectes relacionats amb la dinàmica del carboni a les plantes, lligats a la producció pri-

mària neta, tenen a veure amb la forma com aquestes plantes mantenen les seves estructures. Per exemple, la renovació foliar, que es pot representar per la vida mitjana de les fulles, està molt lligada a la temperatura.

S'ha observat, en el cas d'arbres de fulla perenne com l'alzina, que un increment de temperatura pot accelerar la seva dinàmica foliar i fer disminuir la durada de les fulles a les capçades. Aquest fenomen encara s'accentua més en condicions de sequera. Al Montseny, amb una temperatura mitjana de 10 °C i 700 mm anuals de pluja, la vida mitjana de les fulles d'aquesta espècie és de 2,8 anys, mentre que a Sevilla, amb una temperatura mitjana de 18,8 °C i 535 mm anuals de pluja, la vida mitjana de les fulles es redueix a 1,7 anys (Gracia et al., 2001). Això que s'observa a les fulles, també pot ser vàlid per les arrels fines, que a l'alzinar de Prades duren una mitjana de poc més de 100 dies i desapareixen en condicions de sequera (López et al., 1998, 2001a, 2001b).

Per tant, ambdues estructures necessiten utilitzar més carboni mòbil de reserva per fer front a la seva renovació. Si el canvi climàtic apunta cap a un increment de les temperatures, es dedueix que la renovació foliar i de les arrels fines pot experimentar una acceleració. Per altra banda, en apartats anteriors ja s'ha comentat que la durada de les fulles dels arbres de fulla caduca (faig, roure, etc.) a l'hivern s'està allargant. Això vol dir que les treuen abans i se'n desprenen més tard, fent que el període d'activitat vegetativa i, per tant, de producció, sigui més llarg. Ara bé, si aquestes espècies s'han d'enfrontar amb períodes d'eixut més accentuat del que estan adaptades per efecte del canvi climàtic, ho poden passar molt malament. No s'ha d'oblidar que les fulles d'un caducifoli són més tendres i més sensibles a les pèrdues d'aigua que les d'un perennifoli de fulla dura com l'alzina i que, per tant, podran aguantar pitjor les pèrdues d'aigua davant d'un increment d'estrès hídric.

B9.7.1.4. La respiració heterotròfica i el balanç de carboni de l'ecosistema

La respiració heterotròfica, com l'autotròfica, també depèn de la temperatura, tot i que es basa en la utilització, per part dels organismes heteròtrofs, de la matèria orgànica construïda prèviament per altres organismes, els productors primaris. Aquesta matèria orgànica pot ser processada quan encara forma part d'altres organismes vius, quan encara és biomassa, com fan els insectes defoliadors que s'alimenten directament de la biomassa foliar de les plantes, o els vertebrats herbívors.

No obstant això, també pot ser processada quan aquesta matèria orgànica ja no és viva, constituint el que s'anomena la necromassa. En aquest cas els organismes es denominen descomponedors (animals que viuen al sòl, fongs i bacteris). Aquesta necromassa s'acumula per la força de la gravetat al sòl, i, per tant, l'activitat de descomposició és molt important en aquest compartiment dels boscos i matollars.

Per tant, la respiració del sòl té dues components importants: la respiració autotròfica que realitzen les plantes a les arrels i la respiració heterotròfica que resulta, sobretot, de l'activitat de descomposició de la matèria orgànica del sòl. La respiració heterotròfica del sòl depèn de la temperatura, com ja s'ha esmentat anteriorment, però també del contingut d'aigua al sòl. Per accedir al substrat (les estructures de la necromassa), els principals organismes descomponedors (bacteris i fongs) necessiten un medi mínimament humit. Per tant, en períodes en què el sòl estigui molt sec, com l'estiu, tot i que les temperatures siguin prou altes aquesta activitat de respiració es veurà reduïda. Així doncs, si les condicions de canvi climàtic porten a sòls més secs, l'activitat de descomposició també es veurà frenada i, al mateix temps, també ho serà la reposició dels nutrients lliures i en sol·lució a l'aigua del sòl que poden tornar a ser utilitzats per les plantes.

Fins ara s'han descrit alguns processos i components importants del balanç de carboni i com

poden ser afectats per les condicions ambientals. Però per poder quantificar-los i avaluar la seva importància cal mesurar-los i entendre com funcionen amb relació a les variables ambientals (la radiació, la temperatura, la disponibilitat hídrica als ecosistemes, etc.). Això s'ha fet i es continua fent en diferents experiments mitjançant tècniques diverses, algunes de les quals s'han exposat en apartats anteriors. Aquestes tècniques consisteixen en la mesura de l'intercanvi d'aigua i CO_2 a diferents compartiment de l'ecosistema.

Aquest és el cas de mesures experimentals que es realitzen a l'alzinar del Montseny amb cambres dissenyades per mesurar el flux del sòl, de troncs i les capçades (Sabaté et al., *en preparació*). Aquest tipus de mesures també s'estan comparant amb altres tècniques, com la *eddy covariància*, que estima de forma integrada la producció neta de l'ecosistema. Això s'està realitzant a l'alzinar de Puechabon (prop de Montpeller, a França), on es disposa dels equipaments i les condicions idònies per aplicar aquesta metodologia.

La figura B9.14 presenta els valors obtinguts en un alzinar mediterrani. En general, es pot dir que el balanç de carboni a nivell d'ecosistema (producció neta de l'ecosistema) és un valor relativament petit ($140 \text{ g C m}^{-2} \text{ any}^{-1}$), que depèn de la diferència entre dos números molt més grans, la producció primària bruta per una banda ($1.602 \text{ g C m}^{-2} \text{ any}^{-1}$), i respiració total del ecosistema ($1.462 \text{ g C m}^{-2} \text{ any}^{-1}$).

Per altra banda, per entendre els fluxos de carboni és important quantificar les quantitats de carboni que hi ha als boscos. Pel que fa a la part aèria, es disposa de bones bases de dades, com les proporcionades pels inventaris forestals (com l'Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya), així com els nous inventaris estatals. La part menys coneguda és la biomassa subterrània, que en el cas dels boscos mediterranis és molt important i en el cas de l'alzinar pot representar més del 50% de la biomassa total (5.932 g C m^{-2} en front dels 5.393 g C m^{-2} de carboni a la bio-

massa aèria). A aquest carboni s'ha d'afegir la necromassa acumulada al sòl, que molt sovint és superior al carboni total de la biomassa, encara que la informació no és tant abundant com la disponible per la biomassa aèria. En el cas de l'alzinar de la figura B9.14 és de $10.237 \text{ g C m}^{-2}$. Actualment hi ha en marxa projectes europeus que tenen per objectiu la creació de bases de dades conjuntes, combinant les dades dels inventaris forestals clàssics amb les de les bases de dades dels inventaris de sòls. Aquestes bases de dades serveixen per quantificar el carboni en el moment actual i permeten fer projeccions de futur, tal i com es veurà a continuació.

B9.7.1.5. Els models en l'exploració d'escenaris futurs

La comprensió d'aquests processos permet la seva modelització en funció de les condicions ambientals. Això és el que s'està fent en el marc de diferents projectes europeus (LTEEF, LTEEF-II, SilviStrat, ATEAM) amb el model GOTILWA+, que s'està aplicant en diferents tipus d'ecosistemes (Gracia et al., 1999b; Sabaté et al., 2002). Aquest model, desenvolupat en el marc de condicions mediterrànies tot i que s'està aplicant arreu d'Europa, descriu el balanç de carboni i aigua, entre d'altres, seguint els processos indicats anteriorment i partint de la situació present tal i com reflecteixen els inventaris forestals i de sòls. Per acceptar els resultats d'un model com GOTILWA+ cal verificar i comprovar que el model reproduceix els valors de determinades variables de forma equivalent als valors independentment obtinguts al camp (vegeu Kramer et al., 2002).

Aquest procés és molt laboriós i representa un *feedback* constant de millora, a mesura que s'incorporen descripcions millors dels processos o es disposa de noves dades que en permeten la verificació. Per altra banda, no cal oblidar que si bé els resultat de les projeccions d'un model cap al futur depenen del propi model (i dels processos que descriu i de com els incorpora), també depenen dels escenaris de canvi climàtic amb què el

model es confronti. És a dir, quan es parla de canvi climàtic, això pot significar moltes coses diferents dins un ventall d'escenaris generats amb diferents criteris i assumpcions de partida.

En general, es pot afirmar que la majoria dels escenaris de canvi climàtic preveuen un increment de temperatura, a més del de CO₂, i, a la zona mediterrània, una disminució de la precipitació d'entre un cinc i un deu per cent. Per analitzar els impactes de cada escenari climàtic sobre els ecosistemes, s'ha de descriure acuradament quines són les condicions ambientals de la projecció climàtica futura. Això permet interpretar diferents respostes de l'ecosistema en funció de la combinació de condicions ambientals explorades a les que poden quedar exposades els ecosistemes mediterranis en un futur.

L'esquema de la figura B9.15 resumeix el procediment seguit per simular la situació a Catalunya. La informació estructural del bosc s'ha obtingut de les parcel·les de l'*Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya* (Gracia et al., 2000).

De les 10.644 parcel·les mostrejades entre els anys 1988 i 1994, s'han considerat 147 parcel·les representatives de les espècies més àmpliament distribuïdes. En cada comarca s'ha seleccionat les parcel·les de cada espècie que més s'aproximen a la densitat mitjana d'arbres i a l'àrea basal de l'espècie a la comarca. Les característiques del sòl, especialment en allò que fa referència a la textura, al contingut de matèria orgànica i altres propietats relacionades amb la reserva hídrica, s'han obtingut de les parcel·les de Catalunya de la *Red de seguimiento de los daños (Nivel I) en los bosques*

de España durante 1987-1996 (Montoya i López Arias, 1997).

Per dur a terme aquestes simulacions es requereixen els valors de variables climàtiques (radiació solar incident, precipitació, temperatura màxima i mínima, dèficit de vapor d'aigua a l'aire, velocitat del vent i concentració atmosfèrica de CO₂). Aquesta informació s'ha elaborat a partir de les dades del Servei Meteorològic de Catalu-

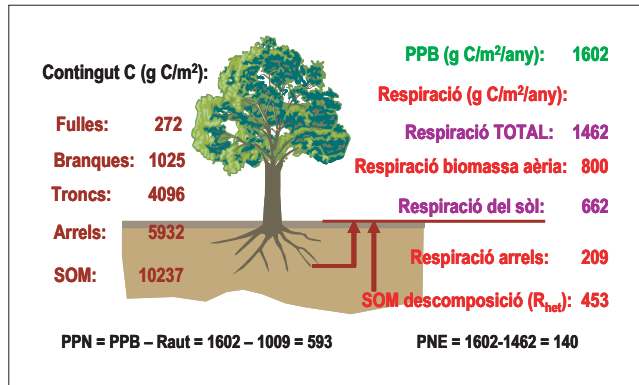


Figura B9.14. Contingut i fluxos de carboni en un alzinar tipus (dades procedents de Prades, el Montseny i Puechabon). Font: elaboració pròpia.

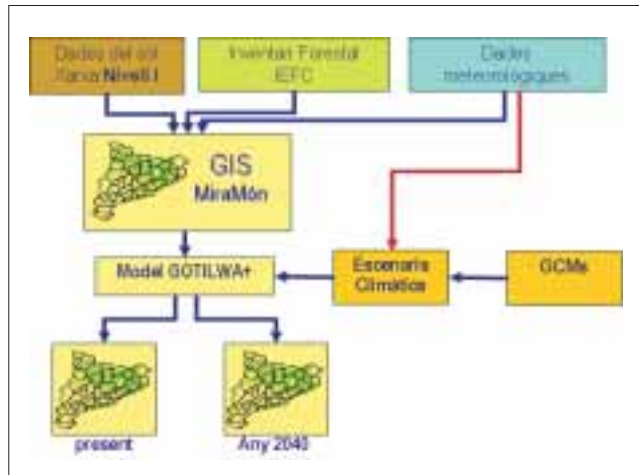


Figura B9.15. Representació esquemàtica del mètode d'anàlisi basat en l'aplicació del model GOTILWA+ per simular la situació actual i l'esperable el 2040 als ecosistemes forestals de Catalunya. Font: elaboració pròpia.

nya. A més de la situació actual, es va generar un escenari de canvi climàtic assumint un increment gradual de la temperatura de $0,04^{\circ}\text{C}/\text{any}$, un increment anual d'un 1% de CO_2 i d'una disminució de la pluja anual d'un $-0,03\%$ per any, que equival a un escenari de tipus mitjà dels previstos del IPCC.

Fent servir el sistema d'informació geogràfica MiraMón (Pons, 2001) s'han interpolat els resultats per la representació cartogràfica de la figura B9.16. La producció neta de l'ecosistema, mostrada a la figura B9.16 (a) és, en mitjana, de $60\text{ g C m}^{-2}\text{ any}^{-1}$. Resulta d'una producció primària bruta (fixació de carboni) de $1.522\text{ g C m}^{-2}\text{ any}^{-1}$ i una respiració total (incloent-hi l'heterotròfica) de $1.462\text{ g C m}^{-2}\text{ any}^{-1}$, tal i com es pot observar a les figures B9.16 (b) i B9.16 (c).

Durant els propers quaranta anys la producció neta de l'ecosistema variarà poc ($63\text{ g C m}^{-2}\text{ any}^{-1}$), malgrat que els seus components s'incrementaran considerablement. La producció bruta de l'any 2040 s'incrementarà un 56% respecte l'actual (fins a $2.370\text{ g C m}^{-2}\text{ any}^{-1}$) i la respiració total ho farà en un 58% (fins a $2.307\text{ g C m}^{-2}\text{ any}^{-1}$), tal i com recull la figura B9.16. A aquest increment de la respiració contribueix l'increment de la producció de fullaraca, que passa de $205\text{ g C m}^{-2}\text{ any}^{-1}$ a $377\text{ g C m}^{-2}\text{ any}^{-1}$ l'any 2040, com mostra la figura B9.16(d). És a dir, augmenta un 84%, en part com a conseqüència de la reducció de la vida mitjana de les fulles dels perennifolis, que passa del valor mitjà actual de 2,6 anys a un valor de 1,9 anys l'any 2040, fet que s'il·lustra a la figura B9.16(e).

Aquests canvis fenològics comporten canvis fisiològics importants i, sobretot, un increment de la transpiració anual. Com a conseqüència d'aquest fet, la reserva hídrica als sòls forestals, que actualment és de $32\text{ mm (l/m}^2\text{)}$ quan es considera el valor mitjà anual a cada punt passa a ser només de 24 mm –vegeu la figura B9.16(f)– que representa una disminució del 25% de la reserva hídrica. Aquest fet és particularment crític en un

ambient amb dèficit hídric estival com és la regió mediterrània. Segons aquests resultats, és fàcil comprendre que el paper de molts boscos mediterranis com a embornals de carboni pot veure's seriosament compromès durant les properes dècades.

B9.7.2. Algunes actuacions per als propers anys: més recerca i millores en la gestió dels ecosistemes

A partir de tots els estudis apuntats anteriorment, es constata com els canvis atmosfèrics i climàtics afecten de manera important el funcionament i l'estructura dels ecosistemes terrestres mediterranis, tant pels seus efectes propis com per les seves interaccions. Per tal de conèixer millor en quin grau ho fan i millorar-ne la gestió, fan falta nous estudis experimentals en condicions molt properes a les naturals, que aprofitin els avenços tecnològics, per exemple, aplicant-los als estudis del passat remot i proper i a la teledetecció. No cal dir, a més, que és necessari buscar les sinèrgies pròpies de la multidisciplinarietat. Aquests exemples de treballs que s'han presentat resumits en aquest capítol pretenen anar en aquesta línia.

En qualsevol cas, els ecosistemes mediterranis presenten una extraordinària varietat orgànica en l'espai i el temps, a més d'una gran resiliència. Aquesta heterogeneïtat multidimensional i aquesta resiliència són el resultat de la coevolució amb els humans i les seves activitats i els seus paisatges culturals. Evolucionen constantment com a conseqüència de les modificacions induïdes pels focs, els humans, el seu bestiar i les seves eines. I ara, a més, pel canvi climàtic. Així doncs, la dinàmica dels ecosistemes terrestres mediterranis, gairebé tots seminaturals, es pot entendre com una sèrie de degradacions antropogèniques i de regeneracions subseqüents.

De fet, tant la sobreexplotació com la protecció completa poden dur a estadis inferiors de l'atractiu escènic i de la utilitat econòmica d'aquests ecosistemes terrestres. La introducció

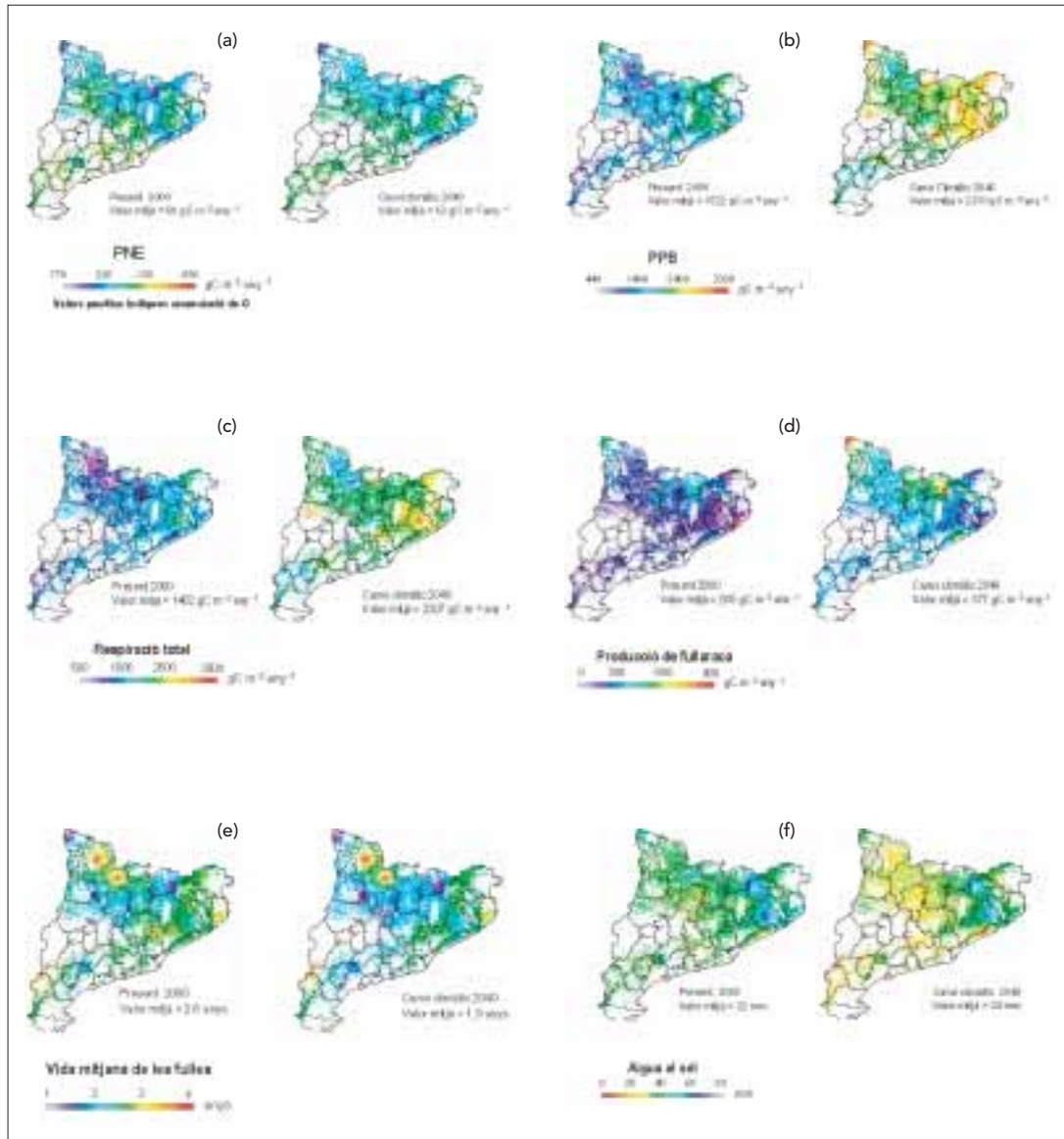


Figura B9.16. Representació cartogràfica dels resultats de l'anàlisi simulador esquematitzat a la figura B9.15 per simular la situació actual dels ecosistemes forestals de Catalunya i la prevista per al 2004: (a) producció neta de l'ecosistema; (b) producció primària bruta (fixació del carboni); (c) respiració total de l'ecosistema; (d) producció de fullaraca; (e) vida mitjana de les fulles; (f) reserva hídrica als sòls forestals.

Font: elaboració pròpia.

d'estratègies multiús per a la gestió i rehabilitació dels ecosistemes terrestres mediterranis requereix un gran esforç per part de l'Administració, però també en termes d'educació i de recerca, per poder donar esperança al desenvolupament futur d'alguns d'aquests ecosistemes terrestres, sovint negligits i desolats com els matollars mediterranis, i dels seus recursos en el marc dels canvis actuals de clima i usos del sòl.

Heus ací alguns pensaments sobre cap on sembla que hauria d'anar la gestió dels ecosistemes terrestres en relació al canvi climàtic:

- En els propers anys, les polítiques d'aforestació d'espais agrícoles abandonats i de reforestació de zones pertorbades haurien de tenir en compte les condicions que s'estan projectant per al futur immediat. Entre aquestes destaca la d'una reducció de la disponibilitat hídrica com a conseqüència tant de la disminució de les precipitacions i/o l'augment de l'evapotranspiració potencial com d'una demanda més elevada per part d'uns ecosistemes més actius.
- La gestió dels espais forestals, i dels naturals en general, ha d'incorporar una escala de paisatge, on s'inclougui una planificació a gran escala que consideri la combinació d'espais de tipus divers, així com el seu múltiple ús i l'efecte de les pertorbacions (com per exemple els incendis forestals).
- La política de recerca i inventari de recursos hauria de fer un esforç en la quantificació del carboni a la biomassa subterrània i als sòls, a més del de la biomassa aèria, ja que aquestes dades són escasses, tot i que es necessiten amb urgència.
- Per pal·liar el canvi climàtic mitjançant un increment en la captació de CO_2 i una reducció en les pèrdues d'aquest mateix gas s'hauria d'actuar sobre l'aforestació i la reforestació, tal i com s'ha apuntat abans, i, a més, s'hauria d'allargar la immobilització del carboni en els productes forestals i protegir els sòls.
- La gestió forestal hauria d'incorporar el canvi

de condicions ambientals, per exemple, a l'hora de definir les intensitats d'intervenció i la seva freqüència. Per exemple, reduir les densitats de rebrots en boscos d'alta densitat s'ha vist com una manera efectiva de disminuir l'impacte de sequeres extremes.

- Per fer arribar al gran públic la problemàtica del canvi climàtic i els seus efectes i les interaccions amb els ecosistemes terrestres, es disposa del canvi fenològic com a eina fàcil i popular que mostra a tothom com el canvi climàtic afecta la vida. També s'haurien d'aprofitar esdeveniments com la sequera de l'any 1994 per fer prendre consciència sobre els efectes d'una reducció d'aigua en els ecosistemes mediterranis. En aquests i en tots els altres termes esmentats s'haurien de difondre les activitats de recerca a través dels mitjans de comunicació. També s'hauria de donar suport a les activitats de comunicació (conferències, xerrades, etc.) on participin els actors implicats en la recerca i la gestió forestal i d'espais naturals.

B9.8. Instal·lats en el canvi

Catalunya, com la resta del planeta, viu instal·lada en el canvi. Un canvi que, en moltes ocasions durant la història de la Terra, ha estat espectacular, més que no pas el que ara es coneix amb el nom de *canvi global*. De totes maneres, molts d'aquests grans canvis s'han produït a escala geològica, moltes vegades en períodes de milions d'anys, mentre que l'actual és un canvi accelerat, que s'està produint en poques dècades (Peñuelas, 1993; IPCC, 2001). I, a més, és important recordar que tots els canvis descrits en aquestes darreres dècades s'han produït amb un escalfament que és només un terç o menys del previst per al segle que ve.

Els models climàtics no són perfectes, però la quasi unanimitat de tots ells, i el camí que estan seguint les temperatures fins ara, fan tèmper que les seves previsions puguin ser encertades. És cert que caldrà veure què passa en els propers anys –fins i tot podria passar que els models fallessin d'alguna manera (la màquina climàtica i

la vida són immensament complexes, sovint no lineals). No obstant això, de moment el que es veu és que la biosfera batega cada vegada amb més intensitat perquè una de les seves espècies, la humana, li proporciona recursos (CO₂ i fertilitzants) i energia (escalfament) de forma accelerada fins que actuï algun factor limitant: aigua, llum, contaminació, etc., o fins i tot canvis en el comportament dels humans (lliures o bé forçats pels mateixos esdeveniments). Seria, com a mínim, poc intel·ligent esperar sense actuar a veure si la calor, la sequera i les pluges torrencials desertitzen les terres catalanes o la mar engoleix el Delta.

Referències bibliogràfiques

- BEIER, C.; EMMET, B.; GUNDERSEN, P.; TIETEMA, A.; PEÑUELAS, J.; ESTIARTE, M.; GORDON, C.; GORISEN, A.; LLORENS, L.; RODÀ, F.; WILLIAMS, D. (2004). "Novel Approaches to Study Climate Change Effects on Terrestrial Ecosystems in the Field: Drought and Passive Nighitime Warming". *Ecosystems*, vol.7, p. 538-597.
- CASTELLS, E.; ROUMET, C.; ROY J.; PEÑUELAS, J. (2002). Intraspecific variability of phenolic concentrations and their responses to elevated CO₂ in two Mediterranean perennial grasses. *Environmental Experimental Botany*, núm. 47, p. 205-216.
- DÍAZ-DELGADO, R.; LLORET, F.; PONS, X.; TERRADAS, J. (2002). "Satellite evidence of decreasing resilience in Mediterranean plant communities after recurrent wildfires". *Ecology*, núm. 83, p. 2.293-2.303.
- EMMET, B.; BEIER, C. ; ESTIARTE, M.; TIETEMA, A.; KRISTENSE, H. L.; WILLIAMS, D.; PEÑUELAS, J.; SCHMIDT, I.; SOWERBY, I. (2004). "The responses of soil processes to climate change: results from manipulation studies across an environmental gradient". *Ecosystems*, vol.7, p. 625-637.
- GRACIA, C. A.; BELLOT, J.; SABATÉ, S.; ALBEZA, E.; DJEMA, A.; LEÓN, B.; LÓPEZ, B.; MARTÍNEZ, J. M.; RUÍZ, I.; TELLO E. (1996). "Anàlisi de la Resposta de *Quercus ilex* L. a tractaments de aclareo selectivo". A: *Restauración de la cubierta vegetal en la Comunidad Valenciana*. Fundación CEAM. p. 547-601.
- GRACIA, C. A.; SABATÉ, S.; MARTÍNEZ, J. M.; ALBEZA, E. (1999)a. "Functional responses to thinning". A: Rodà F., Retana J., Gracia C., Bellot J. *Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests. Ecological Studies Vol. 137* Heidelberg: Springer-Verlag, p. 329-338.
- GRACIA, C. A.; TELLO, E.; SABATÉ, S.; BELLOT J. (1999)b. "GOTILWA: An integrated model of water dynamics and forest growth". A: RODÀ F., RETANA J., GRACIA C., BELLOT J. *Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests. Ecological Studies Vol. 137* Heidelberg: Springer-Verlag, p. 163-179.
- GRACIA, C.; BURRIEL, J. A.; MATA, T.; VAYREDA, J. (2000). *Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya*. 9 volums. Bellaterra: Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals.
- GRACIA, C. A.; SABATÉ, S.; LÓPEZ, B.; SÁNCHEZ A. (2001). "Presente y futuro del bosque mediterráneo: balance de carbono, gestión y cambio global". A: *Ecosistemas mediterráneos. Análisis funcional*. Granada: AEET, CSIC Press.
- GRACIA, C. A.; SABATÉ, S.; SÁNCHEZ A. (2002). "El cambio climático y la reducción de la reserva de agua en el bosque mediterráneo". *Ecosistemas* 2. <<http://www.aeet.org/ecosistemas/022/investigacion4.htm>>
- HUGHES, L. (2000). "Biological consequences of global warming: is the signal already apparent?" *Trends in Ecology and Evolution*, núm 15, p. 56-61.
- IPCC (1996). A: HOUGHTON J.J., MEIRO FILHO L.G., CALLEDAER B.A., HARRIS N., KATTENBERG A., MASKELL K. *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- IPCC (2001.). A: HOUGHTON J. T., YIHUI D., et al. *The Scientific Basis. Third Assessment Report of Working Group I*, Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- KEELING, C.D.; CHIN, J.F.S.; WHORF, T.P. (1996). "Increased activity of northern vegetation inferred from atmospheric CO₂ measurements". *Nature*, 382, p. 146-149.
- KÖRNER, C. (2000). "Biosphere responses to CO₂ enrichment". *Ecological Applications*, núm. 10, p. 1.590-1.619.
- KRAMER, K.; LEINONEN, I.; BARTELINK H. H.; BERBIGIER, P.; BORGHETTI, M.; BERNHOFER C. H.; CIENCIALA, E.; DOLMAN A. J.; FROER, O.; GRACIA C. A.; GRANIER, A.; GRÜNWALD, T.; HARI, P.; JANS, W.; KELLOMÄKI, S.; LOUSTAU, D.; MAGNANI, F.; MATTEUCCI, G.; MOHREN, G. M. J.; MOORS, E.; NISINEN, A.; PELTOLA, H.; SABATÉ, S.; SANCHEZ, A.; SONTAG, M.; VALENTINI, R.; VESALA, T. (2002). "Evaluation of 6 process-based forest growth models based on eddy-covariance measurements of CO₂ and H₂O fluxes at 6 forest sites in Europe". *Global Change Biology*, vol. 8, p. 213-230.

- LLORET, F.; D. SISCART (1995). "Los efectos demográficos de la sequía en poblaciones de encina". *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, p. 77-81.
- LLORET, F.; PEÑUELAS J.; ESTIARTE M. (2004). "Experimental evidence of seedling diversity reduction by climate change in a Mediterranean-type community". *Global Change Biology*, vol.10, p. 248-258.
- LLUSIA, J.; J. PEÑUELAS; B. S. GIMENO (2002). "Seasonal and species-specific Mediterranean plant VOC emissions in response to elevated ozone concentrations". *Atmos. Environ.*, núm 36, p. 3931-3938.
- LÓPEZ, B.; SABATÉ, S.; RUÍZ, I.; GRACIA, C. (1997). "Effects of elevated CO₂ and decreased water availability on holm oak seedlings in controlled environment chambers". A: Mohren G.M.J., Kramer K., Sabaté S. *Impacts of Global Change on Tree Physiology and Forest Ecosystems*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p.125-133.
- LÓPEZ, B.; SABATÉ, S.; GRACIA, C. (1998). "Fine roots dynamics in a Mediterranean forest: effects of drought and stem density". *Tree Physiol.* núm.18, p. 601-606.
- LÓPEZ, B.; SABATÉ, S.; GRACIA, C. (2001a). "Annual and seasonal changes of fine roots biomass of a *Quercus ilex* L. forest". *Plant and Soil*, núm. 230, p. 125-134.
- LÓPEZ, B.; SABATÉ, S.; GRACIA, C. (2001b). "Fine root longevity of *Quercus ilex*". *New Phytol.*, núm. 151(3), p. 437-441.
- MYNENI, R.B.; KEELING, C.D.; TUCKER, C.J.; ASRAR, G.; NEMANI, R.R. (1997). "Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991". *Nature*, núm. 386, p. 698-702.
- MONTOYA, R.; LÓPEZ ARIAS, M. (1997). *La Red Europea de Puntos de Seguimiento de daños en los bosques (Nivel I) en España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, Publicaciones del O.A. Parques Nacionales.
- OGAYA, R.; PEÑUELAS, J.; MARTÍNEZ-VILALTA, J.; MANGIRÓN M. (2003). "Effect of drought on diameter increment of *Quercus ilex*, *Phillyrea latifolia*, and *Arbutus unedo* in a holm oak forest of NE Spain". *Forest Ecology and Management*, vol. 180, p. 175-184.
- OLIVEIRA, G.; PEÑUELAS, J. (2001). "Allocation of absorbed light energy into photochemistry and dissipation in a semi-deciduous and an evergreen Mediterranean woody species during winter". *Functional Plant Biology*, núm. 28, p. 471-480.
- OLIVEIRA, G.; PEÑUELAS, J. (2002). "Comparative protective strategies of *Cistus albidus* and *Quercus ilex* facing photoinhibitory winter conditions". *Environmental and Experimental Botany*, núm. 47, p. 281-289.
- PARMESAN, C.; YOHE, G. (2003). "A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems". *Nature*, núm. 421, p. 37-42.
- PARMESAN, C.; RYRHOLM, N.; STEFANESCU, C.; HILL, J.K.; THOMAS, C.D.; DESCIMON, H.; HUNTLEY, B.; KAILA, L.; KULLBERG, J.; TAMMARU T.; TENNENT W.J.; THOMAS J.A.; WARREN, M. (1999). "Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming". *Nature*, núm. 399, p. 579-583.
- PEÑUELAS, J.; MATAMALA R. (1990). "Changes in N and S leaf content, stomatal density and specific leaf area of 14 plant species during the last three centuries of CO₂ increase". *Journal of Experimental Botany*, vol. 41, núm. 230, p. 1.119-1.124.
- PEÑUELAS, J.; AZCON-BIETO, J. (1992). "Changes in ¹³C of herbarium plant species during the last 3 centuries of CO₂ increase". *Plant, Cell and Environment*, núm. 15, p. 485-489.
- PEÑUELAS, J. (1993). *El aire de la vida (una introducción a la ecología atmosférica)*. Barcelona: Ariel.
- PEÑUELAS, J.; BIEL, C.; ESTIARTE, M. (1995). Growth, biomass allocation, and phenology of peppers plants submitted to elevated CO₂ and different nitrogen and water availabilities. *Photosynthetica*, vol. 31, núm. 1, p. 91-99.
- PEÑUELAS, J.; IDSO, B.; RIBAS, A.; KIMBALL, B.A. (1997). "Effects of long-term atmospheric CO₂ enrichment on the mineral concentration of *Citrus aurantium* leaves". *New Phytologist*, núm. 135, p. 439-444.
- PEÑUELAS, J.; FILELLA, I. (1998). "Visible and near-infrared reflectance techniques for diagnosing plant physiological status". *Trends in Plant Science*, núm. 3, p. 151-156.
- PEÑUELAS, J.; FILELLA, I.; LLUSIÀ, J.; SISCART, D.; PIÑOL, J. (1998). "Comparative field study of spring and summer leaf gas exchange and photobiology of the mediterranean trees *Quercus ilex* and *Phillyrea latifolia*". *Journal of Experimental Botany*, núm. 49, p. 229-238.
- PEÑUELAS, J.; FILELLA, I.; LLORET, F.; PIÑOL, J.; SISCART, D. (2000). "Effects of a severe drought on water and nitrogen use by *Quercus ilex* and *Phillyrea latifolia*". *Biologia Plantarum*, núm. 43, p. 47-53.
- PEÑUELAS, J. (2001). "Cambios atmosféricos y climáticos y sus consecuencias sobre el funcionamiento y la estructura de los ecosistemas terrestres mediterráneos". A: *Ecosistemas mediterráneos. Análisis funcional*. Granada: AEET, CSIC Press., p. 423-455.

- PEÑUELAS, J.; LLUSIÀ, J. (2001). "The complexity of factors driving volatile organic compound emissions by plants". *Biologia Plantarum*, núm. 44, p. 481-487.
- PEÑUELAS, J.; FILELLA, I. (2001a). "Phenology: Responses to a warming world". *Science*, núm. 294, p. 793-795.
- PEÑUELAS, J.; FILELLA, I. (2001b). "Herbaria century record of increasing eutrophication in Spanish terrestrial ecosystems". *Global Change Biology*, núm. 7, p. 1-7.
- PEÑUELAS, J.; FILELLA, I.; TOGNETTI R. (2001a). "Leaf mineral concentrations of *Erica arborea*, *Juniperus communis*, and *Myrtus communis* growing in the proximity of a natural CO₂ spring". *Global Change Biology*, núm. 7, p. 291-301.
- PEÑUELAS, J.; LLORET, F.; MONTOYA, R. (2001b). "Drought effects on mediterranean vegetation and taxa evolutionary history". *Forest Science*, núm. 47, p. 214-218.
- PEÑUELAS, J.; LLUSIA, J. (2002). "Linking photorespiration, monoterpenes and thermotolerance in *Quercus*". *New Phytologist*, vol. 155, núm. 2, p. 227-237.
- PEÑUELAS, J.; FILELLA, I.; COMAS, P. (2002a). "Changed plant and animal life cycles from 1952-2000". *Global Change Biology*, núm. 8, p. 531-544.
- PEÑUELAS, J.; BOADA, M. (2003). "A global change-induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain)". *Global change Biology*, núm. 9, p. 131-140.
- PEÑUELAS, J.; GORDON, C.; LLORENS, L.; NIELSEN, T. R.; TIETEMA, A.; BEIER, C.; BRUNA, P.; EMMET, B.; ESTIARTE, M.; GORISSEN, A. (2004). "Non-intrusive field experiments show different plant responses to warming and drought among sites, seasons and species in a North-South European gradient". *Ecosystems*, vol. 7, p. 598-612.
- PEÑUELAS, J.; LLUSIA, J. (2003). "BVOCs: Plant defense against climate warming?". *Trends in Plant Science*, núm. 8, p. 105-109.
- PEÑUELAS, J.; FILELLA, I.; LLORENS, L.; LLORET, F.; OGAYA, R.; ZHANG, X.; COMAS, P.; ESTIARTE, M.; TERRADAS, J. (2004). "Evidences of complex spatial and temporal phenological responses to rainfall changes". *New Phytologist*, núm. 161, p. 837-846.
- PIÑOL, J.; TERRADAS, J.; LLORET, F. (1998). "Climate warming, wildfire hazard, and wildfire occurrence in coastal eastern Spain". *Climatic Change*, núm. 38, p. 345-357.
- Pons, X. (2001). *Miramón: Geographic Information System and Remote Sensing Software*. Bellaterra: Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF).
- RODÀ, F.; IBAÑEZ, J.; GRACIA, C. (2003). "L'estat dels boscos". A: *L'estat del Medi Ambient a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya [En premsa].
- RODÀ, F.; MAYOR, X.; SABATÉ, S.; DIEGO, V. (1999). "Water and nutrient limitations to primary production". A: RODÀ, F., RETANA J., GRACIA C., BELLOT J. *Ecology of Mediterranean evergreen oak forests*. Berlin: Springer, p. 183-194.
- ROOT, T. L.; PRICE, J. T.; HALL, K. R., SCHNEIDER, S. H.; ROSENZWEIG, C.; POUNDS, J. A. (2003). "Fingerprints of global warming on wild animals and plants". *Nature*, núm. 421, p. 57-60.
- SABATÉ, S.; GRACIA, C. A. (1994). "Canopy Nutrient Content of a *Quercus ilex* L. Forest: Fertilization and Irrigation effects". *For. Ecol. Mang.*, núm. 68, p. 31-37.
- SABATÉ, S.; GRACIA, C. A.; SÁNCHEZ A. (2002). "Likely effects of Climate Change on growth of *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris* and *Fagus sylvatica* forests in the Mediterranean Region". *Forest Ecol. Manage.*, núm. 162, p. 23-37.
- SARDANS, J.; RODÀ, F.; PEÑUELAS, J. (2004). "Phosphorous limitation and competitive capacities of *Pinus halepensis* and *Quercus ilex* subsp. *Rotundifolia* on different soils". *Plant Ecol.* (enviat).
- STEFANESCU, C.; PEÑUELAS J.; FILELLA, I. (2003). "The effects of climatic change on the phenology of butterflies in the northwestern Mediterranean Basin". *Global Change Biology*, vol. 9, p. 1494-1506.
- TERRADAS, J. (1996). *Ecologia del foc*. Barcelona: Proa.
- WALTHER, G. R.; POST, E.; CONVEY, P.; MENZEL, A.; PARMESAN, C.; BEEBEE, T. J. C.; FROMENTIN, J. M.; HOEGH-GULDBERGI, O.; BAIRLEIN, F. (2002). "Ecological responses to recent climate change". *Nature*, núm. 426, p. 389-395.
- WINNET, S. M. (1998). "Potential effects of climate change on US forests: a review". *Climate Research*, núm. 11, p. 39-49.

B10. El paper dels sòls de Catalunya en el canvi climàtic

Josep Maria Alcañiz

Jaume Boixadera

Maria Teresa Felipó

Josep Oriol Ortiz

Rosa Maria Poch

Josep Maria Alcañiz Baldellou (Barcelona, 1953) és doctor en Ciències Biològiques i catedràtic d'Edafologia i Química Agrícola de la Universitat Autònoma de Barcelona. Desenvolupa la seva activitat investigadora al Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF).

La seva recerca se centra en l'estudi de la matèria orgànica dels sòls, especialment de les substàncies húmiques i en l'aplicació de residus orgànics per regenerar sòls degradats. Ha treballat sobre les possibilitats d'aprofitament de fangs de depuradores urbanes, compost i altres residus orgànics per a la rehabilitació de sòls en pedreres, així com en els problemes de contaminació associats a l'aplicació d'aquests residus.

Ha participat en la publicació de tres llibres i una seixantena d'articles científics i capítols de llibres especialitzats. Ha dirigit diverses tesis doctorals i projectes de recerca sobre la dinàmica de la matèria orgànica en sòls i els efectes que produeixen els residus orgànics aplicats. Ha estat ponent en cursos internacionals sobre restauració de sòls degradats.

Ha actuat com a assessor de l'Administració i d'empreses en l'avaluació de la qualitat dels treballs de restauració d'activitats extractives a Catalunya.

Jaume Boixadera Llobet. Enginyer Agrònom per l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària de Lleida i Màster en Ciència del Sòl per la Universitat de Wageningen. És cap de la secció d'Avaluació de recursos agràries de la Generalitat de Catalunya i professor associat de la Universitat de Lleida, on centra la seva docència en cartografia i avaluació de sòls.

Responsable del mapa de sòls (1/25.000) de Catalunya, ha dirigit diversos treballs de prospecció de sòls i cartografia arreu de Catalunya. A més d'aquesta línia de treball ha participat en projectes sobre gènesi, avaluació de sòls, relació sòl-paisatge, salinitat, erosió i conservació de sòls. En els darrers anys ha centrat bona part de la seva activitat en el maneig de nutrients, les bones pràctiques agràries i la valorització de materials orgànics com a fertilitzants. Forma part de diversos grups d'experts sobre fertilització i cartografia de sòls, i ha actuat de consultor en temes de sòls a Síria, Namíbia i Bolívia.

Ha participat en la publicació, com autor o editor, de deu llibres, una dotzena de capítols de llibres i una vintena d'articles.

Maria Teresa Felipó Oriol (Manresa, 1947) és doctora en Farmàcia per la Universitat de Barcelona (any 1973). Des de 1969 ha exercit de docent en aquesta universitat, on també ha ocupat diversos càrrecs. Des de 1986 és catedràtica d'Edafologia i Química Agrícola del Departament de Productes Naturals, Biologia Vegetal i Edafologia a la Universitat de Barcelona. Així mateix, ha col·laborat i col·labora en la docència de diversos cursos de postgrau organitzats per altres institucions.

Inicialment centrà la seva recerca en l'estudi de la gènesi dels sòls, tot i que després l'orientà vers la caracterització de residus, l'estudi de determinades interaccions sòl-residu derivades de la reutilització agrícola de residus orgànics i la contaminació del sòl.

Ha realitzat estades postdoctorals en centres de recerca i universitats d'arreu d'Europa. Ha dirigit i/o ha participat en diversos projectes de recerca, treballs, articles científics i capítols de llibres especialitzats, així com alguns llibres docents i de divulgació.

Josep Oriol Ortiz i Perpiñà (Barcelona, 1968) és doctor en Biologia (opció ciència del sòl) per la Universitat Autònoma de Barcelona (any 1998). Actualment és professor d'Edafologia i Química Agrícola a la Facultat de Ciències de la Universitat Autònoma de Barcelona i des de 1994 és investigador del Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF).

La seva tesi doctoral va estar dedicada a l'activitat biològica i revegetació en sòls de pedreres de calcària restaurats amb fang de depuradora. La seva activitat de recerca bàsica i aplicada se centra en l'estudi de la dinàmica de la matèria orgànica del sòl, la restauració de sòls fortament degradats, especialment per activitats extractives a cel obert, la utilització de diversos tipus de residus orgànics per a la millora del sòl i, darrerament, la implementació d'assajos d'ecotoxicitat basats en la mesura de l'activitat biològica del sòl.

Ha participat en diversos projectes de recerca (CICYT-CIRIT, FEDER, etc.).

Rosa Maria Poch Claret (Barcelona, 1962) és enginyera agrònoma per la Universitat Politècnica de Catalunya (1987), Màster en Física i Química de Sòls (1989) i Doctora en Ciències del Sòl per la Universitat de Gant (Bèlgica, 1992). És professora i investigadora de l'ETS d'Enginyeria Agrària de la Universitat de Lleida i del Centre Tecnològic Forestal de Catalunya.

Les seves línies d'investigació se centren en els impactes del canvi d'ús del sòl en la generació d'escolament i balanços hídrics en conques forestals prepirinenques, en la rehabilitació de sòls afectats per mineria, en la micromorfologia de sòls aplicada a la interpretació de processos de formació de sòls i a l'arqueologia, i a l'ús de mapes de sòls i la informació territorial per a l'avaluació de recursos hídrics i en conservació de sòls i aigües en zones tropicals (Nicaragua, Togo). És responsable del Laboratori de Micromorfologia de Sòls de la Universitat de Lleida i ha estat coordinadora de la matèria Ciències de la Terra i del Medi Ambient a les Proves d'Accés a la Universitat a Catalunya.

És coautora de 5 llibres, 16 capítols de llibres i més de 25 articles. És professora convidada al *Master on Physical Land Resources*, impartit per la U.Gent-VU Brussels, així com a la Universidad Agraria (Managua, Nicaragua).

Síntesi	561
B10.1. Introducció	563
B10.1.1. El sòl, la seva gènesi i la seva variabilitat	
B10.1.2. Funcions del sòl com a regulador del canvi climàtic	
B10.1.3. Aptituds d'ús, qualitat i vulnerabilitat dels sòls	
B10.1.4. El sòl com a agent i «pacient» del canvi climàtic	
B10.1.5. Els sòls en l'avaluació i la mitigació del canvi climàtic	
B10.1.6. Informació de base (necessària i disponible)	
B10.2. El paper dels sòls de Catalunya en el cicle dels gasos amb efecte d'hivernacle	567
B10.2.1. Efecte relatiu dels diferents gasos amb efecte d'hivernacle	
B10.2.2. Cicle del carboni: processos, reservoris i fluxos en el sòl	
B10.2.2.1. Reservoiri orgànic	
B10.2.2.2. Reservoiri inorgànic	
B10.2.2.3. Processos del cicle del carboni al sòl	
B10.2.2.4. Processos i pràctiques de gestió que afecten el carboni orgànic del sòl	
B10.2.2.4.1. Processos d'emissió i segrest de CO ₂	
B10.2.2.4.2. Processos d'emissió i absorció de CH ₄	

B10.2.2.5. Processos i pràctiques de gestió que afecten al carboni inorgànic del sòl	
B10.2.2.6. Descripció de reservoris i fluxos	
B10.2.2.6.1. Reservoris	
B10.2.2.6.2. Fluxos	
B10.2.3. Cicle del Nitrogen: processos, reservoris i fluxos al sòl	
B10.2.3.1. Formes i reservoris de nitrogen al sòl	
B10.2.3.2. Processos i transferència de nitrogen entre reservoris	
B10.2.3.3. Emissions de gasos nitrogenats pels sòls	
B10.2.3.3.1. Amoníac	
B10.2.3.3.2. Òxids de nitrogen	
B10.2.3.4. Entrades de compostos nitrogenats al sòl	
B10.2.3.4.1. Deposició de gasos nitrogenats	
B10.2.3.4.2. Entrades de nitrogen per fertilitzants i adobs orgànics	
B10.3. Usos del sòl i estimacions dels efectes del canvi climàtic	586
B10.3.1. Estimacions del contingut de matèria orgànica dels sòls en funció de diferents usos i superfícies ocupades	
B10.3.2. Establiment d'escenaris representatius de diferents usos agraris del sòl	
B10.3.3. Models de predicció dels fluxos de carboni i nitrogen	
B10.3.4. Efectes del canvi d'ús sobre els fluxos i reservoris	
B10.4. Efectes del canvi climàtic sobre el sòl	591
B10.4.1. Modificacions dels règims de temperatura i humitat del sòl	592
B10.5. Gestió del sòl per atenuar els efectes del canvi climàtic	592
B10.5.1. Grans línies d'actuació	

B10.5.2. Minimització de les emissions de GEH i optimització del segrest de carboni	
B10.5.2.1. Minimització de les emissions de N ₂ O	
B10.5.2.2. Optimització del segrest del carboni	
B10.5.2.3. Minimització de les emissions de metà	
B10.5.3. Normatives i estratègies d'actuació	
B10.6. Conclusions	598
B10.7. Recomanacions o propostes d'actuació	599
Referències bibliogràfiques	600
Annexos	
Normativa generada per la Comissió Europea que afecta els sòls amb relació directa o indirecta al canvi climàtic, ordenada cronològicament en cadascun dels apartats	605
Acrònims	608

Síntesi

El sòl juga un paper complex davant del canvi climàtic, ja que pot actuar com a emissor o embornal d'alguns dels gasos amb efecte d'hivernacle (GEH) i, al mateix temps, pot experimentar processos de degradació com a conseqüència dels efectes d'aquest fenomen. Per comprendre els possibles impactes del canvi climàtic sobre el sòl, cal tenir molt present la diversitat de sòls de Catalunya.

En aquest capítol s'han examinat els principals processos edàfics lligats als GEH, el grau de coneixement que se'n té i les possibilitats de quantificació. També s'ha recopilat la informació existent sobre els continguts de carboni dels sòls de Catalunya, i es plantegen alguns escenaris considerats significatius per al canvi climàtic així com les possibilitats d'actuació per atenuar-ne els efectes a partir de la gestió del sòl. Per poder fer un inventari de carboni al sòl i de les seves emissions de GEH cal integrar informació molt dispersa, heterogènia i incompleta. Per tant, les estimacions actuals són bastant incertes. Tot i la informació de sòls disponible i els estudis realitzats fins ara en el camp de l'agricultura i el medi ambient, pocs tenen l'orientació necessària per donar resposta a les necessitats de predicció dels efectes del canvi climàtic sobre el sòl.

La important diversitat de sòls a Catalunya limita la validesa de les estimacions globals de fluxos de GEH, que no tenen en compte aquesta diversitat, i posa de manifest la necessitat de completar els inventaris de sòls. Els principals riscos de degradació del sòl lligats al canvi climàtic estan associats a processos biològics i erosius. Per la llarga tradició agrícola de bona part dels sòls de Catalunya, on la matèria orgànica és escassa però estabilitzada, la seva pèrdua es produirà a un ritme lent. L'increment de la salinitat pot tenir importància local en determinades zones, però no de manera generalitzada.

El grau de coneixement que es té sobre el funcionament del cicle del carboni (C) en el sòl podria permetre unes primeres estimacions sobre la quantitat de C que es podria segrestar en un termini entre 10 i 100 anys en determinats escenaris significatius per a l'entorn català. Tot i així, hi ha un grau d'incertesa elevat sobre aquests valors i sobre la velocitat amb què aquest segrest es pot produir per manca d'una xarxa de seguiment sobre aquest tema a Catalunya.

En conjunt, els sòls de Catalunya tenen un potencial de segrest de C elevat, si bé la manca d'aigua en limita les entrades i la seva estabilització en forma d'humus al sòl. El reg és una de les pràctiques més efectives per augmentar les reserves de carboni al sòl, de manera que els sòls de les noves àrees regables es poden convertir en bons embornals de C. La limitació de les reserves d'aigua podria hipotecar aquestes previsions.

L'increment d'aridesa, que és possible que vagi associada al canvi climàtic, farà poc viable la implantació generalitzada a Catalunya de cultius de biocombustibles (com a alternativa als combustibles fòssils) atesa la disponibilitat limitada d'aigua de reg.

La textura del sòl és una propietat molt important a l'hora de considerar la capacitat de segrest de C estable al sòl (és més gran en sòls francs i argilosos). Als sòls de Catalunya, la protecció física de la matèria orgànica i la carbonització sembla que són dos dels processos que podrien incidir significativament en el segrest de carboni.

Es poden preveure pèrdues lleugeres de matèria orgànica del sòl a un termini mitjà per l'increment de la temperatura. Aquesta pèrdua pot tenir efectes en cadena sobre les propietats físiques del sòl i produir un increment de l'erosió, especialment a les zones de secà. Igualment, l'e-

rosió pot comportar una exportació de matèria orgànica dels sòls afectats, fet que agreujarà el problema.

Les mesures dels fluxos superficials de CO₂, del sòl cap a l'atmosfera, presenten una gran heterogeneïtat i variabilitat en funció de les condicions ambientals i de mesura. Així, estimacions puntuals donen taxes d'emissió mitjanes anuals de CO₂ entre 75 i 122 mg CO₂ m⁻² h⁻¹ en sòls forestals, mentre que s'han trobat valors de fins a 1.200 mg CO₂ m⁻² h⁻¹ en parcel·les forestals de Catalunya.

Mesures puntuals d'emissions de N₂O a Catalunya estan compreses entre 125 i 389 g N-N₂O ha⁻¹ d⁻¹, fet que pot representar unes pèrdues d'entre l'1,7 i el 13,6% del N aplicat com a fertilitzant. Les entrades per deposició d'amoníac o d'òxids de N al sòl són de l'ordre de 5-25 kg N ha⁻¹ any⁻¹, fet que es pot considerar com una fertilització que hauria de ser considerada en els plans d'adobat.

De l'estudi del comportament al sòl dels GEH i de les possibilitats de gestió es conclou que, avui dia, on hi ha possibilitats d'actuar és en augmen-

tar el segrest de C orgànic i en atenuar les emissions de gasos nitrogenats. Això és així perquè, malgrat la magnitud del reservori de C inorgànic als nostres sòls, les possibilitats d'actuació per a un segrest del C en formes minerals són limitades en terminis de 20 o 100 anys, i els efectes incerts.

Les activitats agràries constitueixen una font important del nitrogen que s'emet a l'atmosfera. Les emissions es relacionen estretament amb les pràctiques de fertilització, especialment orgànica. Les emissions són especialment remarcables en sòls sorrencs i rics en matèria orgànica.

El canvi d'ús del sòl sembla ser la principal via per modificar el segrest de C, a un termini mitjà i llarg. A Catalunya actualment hi ha superfícies importants -boscós i altres àrees amb vegetació 'natural' per sota els 1.500 metres d'alçada, que havien estat cultivades- que acumulen C orgànic al sòl, si bé aquest no està quantificat adequadament. És en aquestes àrees, juntament amb altres àrees agrícoles, on es poden produir canvis substancials en la productivitat (biomassa) o en la gestió (conreu de conservació), que poden convertir-se en eficients embornals de C.

B10.1. Introducció

B10.1.1. El sòl, la seva gènesi i la seva variabilitat

L'espai que ocupen els sòls (l'edafosfera) és la interfase dinàmica entre el material geològic (la litosfera), l'aire (l'atmosfera), l'aigua (la hidrosfera), així com l'hàbitat dels organismes terrestres (la biosfera), de manera que es veu afectat per les modificacions del clima. El fet que un ecosistema terrestre i, per tant, el sòl, sofreixi canvis importants quan s'hi incorpora l'espècie humana i la seva empremta tecnològica, ha motivat que la intervenció humana es tracti com un factor a part dels altres. El sòl és, també, un sistema obert, capaç d'integrar la matèria i de dissipar l'energia, de manera que pot actuar de regulador de fluxos entre l'atmosfera i el medi terrestre. Aquí rau l'interès de considerar el paper que pot jugar en la mitigació dels efectes del canvi climàtic.

A Catalunya, els factors ambientals que han condicionat la formació dels sòls (especialment el clima i el material originari) han gaudit d'un marge de variabilitat molt gran. Això ha permès la formació i el desenvolupament d'una gran diversitat de sòls o edafodiversitat (Mapa de sòls CE, 1:1.000.000). Així, per exemple, en un territori relativament petit i aparentment homogeni com el municipi de Linyola s'han descrit 15 tipus de sòls, que pertanyen a 8 subgrups taxonòmics diferents (Herrero et al., 1993).

B10.1.2. Funcions del sòl com a regulador del canvi climàtic

El sòl és un recurs natural extraordinari, perquè és capaç de sostenir la vida, els ecosistemes terrestres i, alhora, suportar moltes activitats humanes. Aquest enorme potencial s'expressa, avui en dia, en la relació de funcions –ecològiques i socioeconòmiques– que pot desenvolupar. Dues d'aquestes funcions expressen la seva participació directa com a regulador del canvi climàtic (Blum, 1998):

- La producció de biomassa, que permet segregat carboni de l'atmosfera, que fixa en la matèria vegetal desenvolupada i que, posteriorment, s'incorpora al sòl en formes estables com l'humus.
- La capacitat per filtrar, emmagatzemar i transformar, atribucions que l'habiliten per interaccionar amb substàncies presents en altres components de l'ambient. Cal tenir molt present que la majoria dels cicles biogeoquímics rau, en algun moment, en el sòl. Des del punt de vista del canvi climàtic, els cicles que tenen una importància especial són els del carboni i del nitrogen.

Aquestes funcions han estat el motiu pel qual a determinats usos del sòl (agrícola, forestal) o a algunes pràctiques de conreu (aplicació de fertilitzants nitrogenats de síntesi o de residus orgànics) se'ls exigeixi la seva participació en la regulació de la concentració atmosfèrica de determinats ga-

sos amb efecte d'hivernacle, per la seva contribució en la reducció d'emissions de N_2O o de CH_4 o pel seu paper com a embornal, atesa la seva capacitat de segrestar CO_2 de forma directa en el propi sòl o a través de la biomassa que sustenta.

B10.1.3. Aptituds d'ús, qualitat i vulnerabilitat dels sòls

Les actuacions humanes han transformat el paisatge des de temps remots i arreu es troben vestigis de la seva utilització secular. Durant els últims cinquanta anys, però, en algunes zones de Catalunya la demanda de sòl i la competència entre els usos del territori han anat augmentat dia a dia, sobretot a la franja costanera, tal com ha succeït en la majoria de regions del món amb un desenvolupament i densitat de població semblants a les de Catalunya. Quan els sòls han estat subjectes a actuacions humanes, generalment se'n modifiquen les característiques i propietats originals, en funció dels usos i del maneig a què han estat sotmesos. Aquests canvis d'usos tenen una incidència clara en el reservori de carboni i en les emissions de gasos per part del sòl.

Ni tots els sòls tenen les mateixes aptituds per a qualsevol ús ni el mateix grau de resistència a les pressions a què se'ls sotmet. Això pressuposa que per garantir un ús sostenible del sòl caldria planificar-lo d'acord amb les seves capacitats i, per tant, no utilitzar-lo per sobre d'aquell líndar que pugui portar-lo a un estat de degradació difícilment reversible (resiliència) que impossibiliti la seva recuperació i en límit els usos potencials. Malauradament, però, actualment la normativa que estableix el règim del sòl encara el cataloga al marge dels seus atributs, classificant-lo en urbà, urbanitzable i no urbà.

B10.1.4. El sòl com a agent i «pacient» del canvi climàtic

En funció de les característiques pròpies o de l'ús que se li dona, el sòl juga un paper actiu en l'emissió i captura dels gasos amb efecte d'hivernacle (GEH) i en el balanç energètic, via l'evaporació de l'aigua. Així, per exemple, els sòls dels

aiguamolls de Catalunya participen en les emissions de metà, mentre que els sòls forestals actuen d'embornal. La respiració del sòl, principal font edàfica de CO_2 , és un procés molt sensible als canvis de temperatura i d'humitat, però només es coneix de forma local (Piñol et al., 1995) o s'estima per mitjà de models encara en validació. Menys coneguts són els efectes d'un increment de CO_2 i d'altres fonts d'acidesa sobre la dissolució o reprecipitació de carbonats a l'interior del sòl. De fet, la precipitació de carbonats és un procés molt generalitzat als nostres sòls, però manca un coneixement detallat de la seva intensitat per poder predir els efectes sobre el balanç de carboni en un escenari de canvi climàtic.

Quan es demana al sòl que produeixi més biomassa per fixar carboni i s'apliquen fertilitzants en dosis no adequades es pot produir la paradoxa d'incrementar les emissions de C per respiració del sòl o per descomposició de l'adob orgànic aportat, així com també de nitrogen per volatilització, lixiviació o desnitrificació resultant en un balanç desfavorable. Es considera segrest de C (o de N) en el sòl el manteniment d'aquest element en una forma sòlida estable, sigui per reaccions químiques que transformen el CO_2 en carbonats o per la fixació fotosintètica del carboni atmosfèric en la biomassa vegetal que posteriorment s'incorpora al sòl. Més tard, els processos de descomposició transformaran aquesta matèria orgànica alliberant una part de C en forma de CO_2 per respiració. El segrest de C en el sòl serà el balanç positiu entre les entrades a partir de la biomassa o d'altres aportacions i les emissions en forma de gasos. La qualitat del segrest de carboni depèn del temps de residència dels compostos on es trobi. Temps de residència menors a 10 anys indicarien un segrest molt efímer.

Si el canvi climàtic arriba a afectar els sòls, les modificacions que es produirien primer afectarien aquells processos que són operatius en una escala de temps compresa entre 1 i 100 anys, inclosos aquells que fossin el resultat d'un canvi sobtat o catastròfic. A la taula B10.1 es relaciona

l'estimació qualitativa de la vulnerabilitat dels sòls front a diferents processos i escala temporal del canvi, en la qual els processos s'han ordenat en rang creixent.

B10.1.5. Els sòls en l'avaluació i la mitigació del canvi climàtic

A resultes de les conclusions de la Conferència de Bonn (1999), on s'establí l'important paper dels sòls en el segrest del CO₂ atmosfèric, la Comissió Europea, a través de la Direcció General de Medi Ambient i Seguretat Nuclear, elaborà unes primeres estimacions sobre aquesta capacitat d'absorció, indicant que la incorporació de canvis moderats en l'ús d'un 20% dels sòls agrícoles de la UE podien arribar potencialment a absorbir uns 7,8 Tg de C, la qual cosa contribuiria a una reducció del 8,6% del C atmosfèric (ECCP, 2003). Atesa la importància d'aquestes conclusions, s'acordà crear un subgrup de treball específic sobre sòl, independent del grup d'agricultura, que encara no ha publicat els seus

resultats. És per aquest motiu que en el present informe el paper dels sòls s'ha considerat en un capítol diferenciat.

De la mateixa manera que el sòl és fruit de l'acció de diferents factors ambientals i les funcions que té deriven del seu origen i composició, és pràcticament impossible desvincular-lo del conjunt d'activitats humanes que s'hi desenvolupen. Per això no és fàcil definir el paper que desenvolupa el sòl en el canvi climàtic, al marge dels usos (fonamentalment en l'agrícola i el forestal), ja que subministra elements nutritius i aigua per al desenvolupament de la biomassa, del maneig a què se'l sotmet (per exemple en l'ús agrícola, l'aplicació d'agroquímics, el reciclatge de residus orgànics, el tipus de llaurada, etc.) o de les pressions pel canvi d'ús a què està sotmès permanentment. Aquests fets són importants a Catalunya, ja que un 40% del territori està ocupat per activitats agrícoles i més del 50 % és forestal (una part important d'aquest suporta, però, formacions vege-

Procés o component afectat	Vulnerabilitat	Escala temporal (anys)
Salinització	++	0,1 a 10
Activitat biològica i biodiversitat	+++	1 a 10
Estabilitat estructural i retenció hídrica	++	1 a 10
Pèrdua de matèria orgànica	+++	1 a 25
Compactació	++	5 a 50
Quantitat i qualitat del reservori orgànic (C i N)	+++	5 a 50
Erosió	+++	10 a 50
Nivells de nutrients	++	10 a 100
Anegament de sòls deltaics	++	50 a 200
Modificació de la composició de la fracció mineral	+	>200
Modificació de la textura	+	> 1.000

Nota: +++ molt vulnerable; ++ vulnerable; + efecte lleuger.

Taula B10.1. Estimació qualitativa de la vulnerabilitat dels sòls davant de diferents processos i de l'escala temporal en la qual determinats processos o components del sòl resultaran afectats

Font: elaboració pròpia a partir de Scharpenseel et al., 1990.

ASPECTE A AVALUAR	DADES NECESSÀRIES	DADES DISPONIBLES				Observacions
		Fonts	Quantitat d'informació	Qualitat d'informació	Cobertura	
Característiques del sol, superfícies ocupades Inventaris de carboni i nitrogen	Propietats i tipus de sol	Mapes de sòls 1:25.000. Estudis locals	Mitjana	Bona	Escassa	Només s'ha cartografiat un 15%, a escala 1:25.000, de tot el territori (40% de les àrees agrícoles)
	% C orgànic i N en sòls	Serveis anàlisi sòls. Publicacions. Mapes de sòls i inventaris	Mitjana	Bona	Distribució de dades no ajustada a les necessitats	Problemes de georeferenciació en documents antics
Aports de carboni i nitrogen	% C inorgànic en sòls	Serveis anàlisi sòls. Publicacions. Mapes de sòls i inventaris	Mitjana	Bona	Distribució de dades no ajustada a les necessitats	Difícil discriminar els CO ₃ edífics dels litològics
	Gruix horitzons/sòl	Mapes de sòls. Publicacions	Poca	Bona	Escassa	
	Densitat aparent	Mapes de sòls. Treballs concrets	Molt poca	Baixa	Escassa	
	Pedregositat	Publicacions. Mapes de sòls 1:25.000	Mitjana	Mitjana	Escassa	Influeix molt, sobretot en sòls forestals
	Superfícies de cada tipus de sol	Mapes sol 1:25.000. Mapes sol 1:1.000.000	Poca. Completa	Molt bona. Dolenta	30% sòls agrícoles. 100%	
	Cobertes/ usos sol	Mapa de Cobertes del Sol de Catalunya.	Completa	Limitada	100%	Poca diferenciació de classes en l'àmbit agrari
	Dejeccions ramaderes	Estadística DARP, Agència de Residus de Catalunya, plans de gestió de granges	Elevada	Bona	Quasi completa	
	Fangs EDAR	Estadístiques Agència de Residus de Catalunya, ACA	Completa	Bona	Completa	
	Compost RSU	Agència de Residus de Catalunya, gestors de residus	Completa	Bona	Completa	
	Adobs minerals	Estadístiques DARP/MAPA	Mitjana	Bona	Parcial	
Efectes del canvi climàtic: temperatura i aridesa més elevades	Restes de collita	Estimacions bibliogràfiques. Estadístiques DARP	Poca	Mitjana	Escassa	
	Aigua de reg	Dades ACA i CH de l'Ebre	Poca	Mitjana	Parcial	
	Producció de virosta en boscos	Dades IEF-C-REAF	Mitjana	Mitjana	Completa (forestal)	
	Deposició atmosfèrica	Estudis tema CREA/SCM	Poca	Bona	Escassa	
	Taxa d'e respiració	Treballs de recerca	Poca	Alta	Escassa	
	Evaporació	Models hidrològics	Mitjana	Alta		
	Balanç hídric	Treballs de recerca. Models	Mitjana	Alta	Parcial	
	Erosió	Treballs de recerca. Models	Mitjana	Mitjana	Parcial	
	CO ₂ respiració	Treballs de recerca. Models	Poca	Alta	Escassa	
	CO ₂ descarbonatació	Treballs de recerca	Molt poca	Mitjana	Molt escassa	Generalment migra en dissolució
Emissions de gasos	CH ₄	Treballs de recerca	Molt poca	Bona	Molt escassa	
	NH ₃ volatilització	Treballs de recerca	Mitjana	Mitjana	Molt escassa	
	NOx desnitritació	Treballs de recerca. Models	Mitjana	Alta	Parcial	
	VOC (terpens, etc)	Treballs de recerca	Molt poca	Alta	Quasi inexistent	
	Parcel·les agrícoles	Camps experimentals. Finques pilot	Poca	Alta	Baixa	
	Parcel·les forestals	Parcel·les IEFCD CREA. Parcel·les IFN	Limitada	Alta	Àmplia	
	Base de dades i SIG	Plans de gestió de dejeccions ramaderes	No disponible			

Taula B10.3. Informació de base necessària i disponible per avaluar els efectes del canvi climàtic als sòls de Catalunya.

Font: elaboració pròpia.

tals bastant recents, de les quals se suposa que fixen carboni). Al conjunt de la UE s'estima que el sector agrícola participa en un 10% de les emissions de GEH, però considerant també el sector forestal i el seu potencial de segrest de C, la contribució conjunta suposaria un 5% de compensació d'emissions globals d'altres sectors.

B10.1.6. Informació de base (necessària i disponible)

La taula B10.3 recull una primera aproximació a la informació disponible sobre els compartiments o els processos edàfics implicats en el canvi climàtic i sobre les limitacions de les dades a l'abast. El principal problema per poder fer un inventari fiable del C i N als sòls, així com de les entrades i sortides de GEH, és la manca de mapes de sòls amb un nivell de detall suficient per poder estendre a tot el territori català la informació obtinguda de sòls representatius.

Sobre alguns processos, com l'absorció de metà, la manca d'informació és quasi completa. Només és disposa d'estudis realitzats en d'altres països sobre sòls diferents als de Catalunya o en condicions de laboratori de difícil extrapolació a valors de camp.

B10.2. El paper dels sòls de Catalunya en el cicle dels gasos amb efecte d'hivernacle

Els sòls alliberen GEH com a resultat de la seva activitat metabòlica i, al mateix temps, tenen ca-

pacitat per retenir-los i/o transformar-los. El sòls són, per tant, esmoreïdors de l'efecte d'hivernacle, i per això darrerament són molt valorats com a segrestadors de CO₂ atmosfèric (ECCP, 2001; EuroCARE, 2002) o com a productors de cultius energètics (ECCP, 2003), que hom ha plantejat com una alternativa o complement als combustibles fòssils.

B10.2.1. Efecte relatiu dels diferents gasos amb efecte d'hivernacle

Tot i que el sòl té un paper molt actiu en la regulació del cicle hidrològic, segons els models climàtics és encara difícil estimar la contribució del vapor d'aigua en l'efecte d'hivernacle. Per tant a partir d'ara, aquest text avaluarà fonamentalment el paper del sòl en la dinàmica –emissió, retenció o transformació– de tres GEH que s'originen en sistemes naturals: CO₂, CH₄ i N₂O. Tanmateix, el sòl no sembla que pugui tenir un paper rellevant en la regulació del contingut atmosfèric d'aquells gasos que, no tenint un origen natural (HCFC, PFC i SF₆), també participen en el canvi climàtic. La Comissió Europea (EC, 2003), en elaborar els inventaris anuals d'emissions de GEH, ha incorporat també les emissions de CO, NO_x, NMVOC i SO₂, aquest últim pel paper dels aerosols en la formació dels núvols i llur reflexió de la llum solar. La taula B10.2 recull l'evolució de les estimacions de l'impacte relatiu dels diferents gasos.

GEH	Temps de residència (anys)	PEG relatiu, horitzó temporal (anys)			Augment anual des de 1980 (%)
		20	100	500	
CO ₂	5-200	1	1	1	0,4
CH ₄ ¹	12 ²	62	23	7	0,6
N ₂ O	114 ²	275	296	156	0,25

¹ Inclou la contribució indirecta en la producció d'aigua i ozó estratosfèric.

² Valors ajustats als efectes indirectes de l'emissió de cada gas en el seu propi període de vida.

Taula B10.2. Estimació del potencial d'escalfament global (PEG) dels gasos amb efecte d'hivernacle d'origen natural. Font: IPCC, 1997.

A la Unió Europea, els inventaris es realitzen d'acord amb la *Decisió 93/389/CEE*, i les conclusions extretes de l'últim inventari (EC, 2003) indiquen que durant l'any 2001 la seqüència d'emissions de GEH per sectors correspon a:

- 1) Energia (82%)
- 2) Agricultura (10%)
- 3) Processos industrials (6%)
- 4) Residus (5%)
- 5) Dissolvents i altres productes (1%)
- 6) Altres (0,05%)
- 7) Canvis d'ús del sòl i el sector forestal (-5%).

El CO₂ és el GEH que s'emet amb més quantitat, concretament un 82% del total de les emissions. Respecte a les emissions de 1990, ha sofert un creixement de l'1,6%, que va ser compensat durant el mateix període per una reducció de les emissions en CH₄ (20,4 %) i N₂O (15,8 %).

Al sector agrícola europeu se li atribueix una participació en l'efecte d'hivernacle del 10% respecte del total, un 5% a causa del N₂O i un 4% al CH₄. El balanç dels GEH és favorable en el conjunt dels sòls, ja que determinats canvis d'usos i l'absorció en el sector forestal suposen una reducció del 5% del total de les emissions europees. Dades recents estimades per a Catalunya indiquen un potencial menor de mitigació de les emissions pels canvis d'usos del sòl i sector forestal català (vegeu capítol A.5).

B10.2.2. Cicle del carboni: processos, reservoris i fluxos en el sòl

En el sòl, el carboni es troba en formes molt diverses, des de molt simples a molt complexes, amb graus d'estabilitat molt diferents i amb temps de residència que van de dies a mil·lenis. La importància del sòl com a reservori de carboni rau en la quantitat que hi ha emmagatzemada. Aquesta supera la dels reservoris atmosfèric i biosfèric plegats (figura B10.1), on les taxes de renovació són més ràpides, per la qual cosa petits canvis en el contingut del C del sòl afecten fortament la distribució del carboni en ambdós

medis (Lal, 2001a). La litosfera, per contra, és el reservori més gran, però amb temps de residència que es mesuren a escala geològica.

El carboni es troba al sòl en dues formes principals: el carboni orgànic i l'inorgànic. El primer és un component de la matèria orgànica del sòl i, des del punt de vista de la seva estabilitat, pot tenir temps de residència des de mesos (matèria orgànica làbil) fins a desenes de milers d'anys (matèria orgànica passiva, estabilitzada o inert). També comprèn el carbó procedent de cremes de la vegetació que ha passat a carbó recalcitrant. Part d'aquest carbó, producte de la combustió incompleta de la biomassa, es coneix com a *black carbon*. És resistent a l'oxidació química i microbiana, i pot ser erosionat amb el sòl, transportat i dipositat en sediments lacustres o marins.

El carboni inorgànic es troba en els sòls que s'han desenvolupat a partir de materials parentals carbonatats i que no s'han rentat (carboni litogènic), o bé en sòls on, fruit de processos edàfics, s'han acumulat carbonats (carboni edafogènic). La distribució relativa d'ambdues formes depèn, a escala planetària, dels sòls i del clima. En general el contingut de C orgànic en els sòls (COS) augmenta amb la precipitació i és més gran en climes humits i freds. Per contra, el C inorgànic (CIS) adquireix més importància en sòls de zones àrides i semiàrides (figura B10.2).

Des del punt de vista del segrest del C, els processos edàfics que interessen són aquells que:

- 1) Incorporen CO₂ i CH₄ al reservori de C edàfic o en limiten l'emissió a l'atmosfera.
- 2) Allarguen dins del sòl el temps de residència del C, estabilitzant tant les formes orgàniques com les inorgàniques.
- 3) Transfereixen el C a altres reservoris, com la hidrosfera, on eventualment pot ser emmagatzemat de forma més permanent.

També cal tenir en compte la durada dels processos edàfics i les possibilitats d'actuació: hi ha

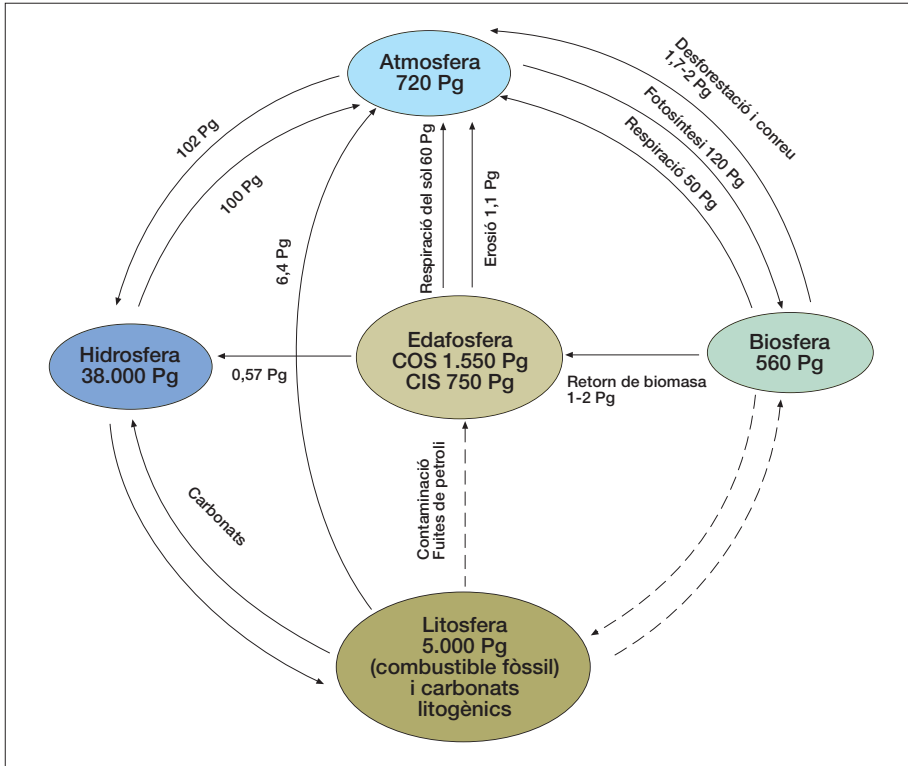


Figura B10.1. Principals reservoris i fluxos de C a la Terra (COS: carboni orgànic del sòl; CIS: carboni inorgànic del sòl).
Font: Lal, 2001(a).

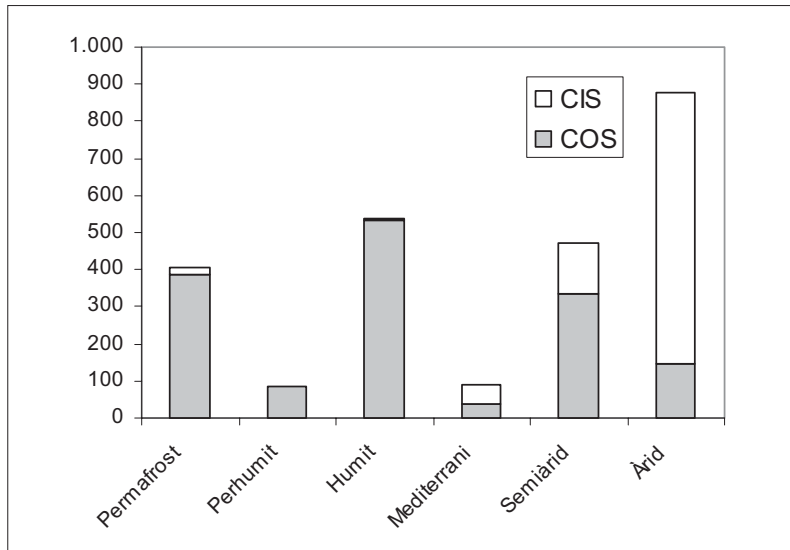


Figura B10.2. Reserves de carboni en el sòl (CIS: inorgànic; COS: orgànic) en funció del règim d'humitat climàtic, en petagramms de carboni (PgC).
Font: Eswaran et al, 2000.

mecanismes molt efectius però que, per la seva lentitud (de l'ordre de centenars o milers d'anys) o per la poca extensió dels sòls on es produeixen, no tindrien implicacions en la reducció dels GEH en els terminis en què es preveu el canvi climàtic. A més, en els processos edàfics de transferència del C a altres reservoris s'hauria d'avaluar la seva evolució en els altres compartiments per a considerar-los o no com a segrest, la qual cosa queda fora de l'abast d'aquest capítol. En conseqüència, es considera com a segrest els processos esmentats que actuen en períodes de l'ordre de 100 anys, inclosos els de transferència.

Les estimacions de les reserves de carboni en els ordres de sòls de *Soil Taxonomy*, convertides a partir del mapa de sòls del món (FAO 1991), es mostren a la taula B10.4).

Les estimacions de carboni inorgànic no són tan exactes com les de l'orgànic, per la dificultat de distingir, a partir de la cartografia, els carbonats primaris dels edafogènics. Segons els autors, probablement el carboni segrestat com a carbonats no supera el 10% de les estimacions que figuren a la taula B10.4. Tot i això, la majoria de les reserves de carboni inorgànic es troben en els **aridisòls** i en els **entisòls**, concretament en **orthents** de zones mediterrànies i semiàrides, climes que afavoreixen la precipitació de carbonats, tal com es mostra a la figura B10.2, on s'indiquen les estimacions dels reservoris de carboni en funció del règim d'humitat.

B10.2.2.1. Reservori orgànic

La fracció orgànica del sòl està formada per les restes d'organismes vius –flora, fauna i microorganismes– i els productes de descomposició i transformació resultant. Alguns autors hi inclouen també la matèria orgànica viva, que sovint no passa del 4% del total del COS, en la qual el component majoritari són els microorganismes (Theng et al., 1989). La resta es classifica segons la seva mida i/o grau de transformació o neoformació. La humificació és el procés pel qual molè-

cules simples, producte de la degradació de la matèria orgànica fresca, es recombinen formant compostos orgànics complexos, més estables, anomenats humus.

La matèria orgànica sovint no supera el 10% dels components del sòl, però és clau en algunes de les propietats que en determinen la qualitat: augmenta la resistència davant l'erosió, la capacitat de reserva d'aigua, la capacitat d'intercanvi catiònic, i constitueix una reserva de nutrients en mineralitzar-se, de manera que el contingut de matèria orgànica es considera, sovint, com un indicador de la qualitat del sòl. No només actua com a reservori de carboni, sinó que també afavoreix el segrest de carboni per la biosfera en la mesura que augmenta el potencial productiu del sòl.

La matèria orgànica del sòl es pot dividir en les fraccions lleugera i pesada, que corresponen, a grans trets, a matèries orgàniques làbils o amb curt període de reciclatge (1 a 20 anys) generalment en partícules de mida grossa, superior a 50 µm (MOP, matèries orgàniques particulades, amb C/N elevats), i a matèries recalitrants, estables o passives, amb períodes de reciclatge més llargs (de 200 a 1.500 anys), sovint associades a partícules de llim i argila (Anderson i Ingram, 1989). No obstant això, de vegades dins de la fracció lleugera hi ha quantitats de partícules de carbó procedent d'incendis o de cremes, les quals formen part del carbó recalitrant tot i ser de mida petita. Aquest carbó, que es creia anecdòtic dins les estimacions del COS, constitueix la fracció més gran -de l'ordre d'un 30-35%- en alguns sòls sotmesos des de temps immemorial a pràctiques d'estassada i crema (Skjemstad et al., 2002).

La matèria orgànica humificada del sòl es classifica en tres fraccions: els àcids fúlvics, els àcids húmics i les humines. Des del punt de vista de la seva qualitat o afinitat amb la matèria mineral del sòl, les darreres serien les més estables: el seu temps de residència sovint supera els 2.000

anys, mentre que el dels àcids fúlvics i húmics estaria entre 250 i 800 anys (Zehnder, 1982).

Aquestes fraccions, definides per la seva solubilitat, no es corresponen realment a la seva dinàmica en el sòl, ja que entre altres raons, la degradació de les molècules orgàniques en el sòl es deu, bàsicament, a oxidacions i no tant a hidròlisi (Balesdent et al., 2002). Els temps de residència, però, no només depenen de la naturalesa de la fracció, sinó també del clima, de la mineralogia de les argiles i de la profunditat del sòl, entre altres. S'han estimat temps de 2.000 a 5.000 anys en sòls rics en al·lòfana, que són els silicats amb més poder de preservació de la matèria orgànica (Wada i Aomine, 1975). En general, l'efecte estabilitzant de les argiles disminueix segons aquesta seqüència (Van Breemen i Feijtel, 1990):

al·lòfanes > silicats i aluminats amorfs o poc cristal·lins > esmectites > il·lites > caolinites

La profunditat del sòl influeix en el grau de saturació de CO₂ de l'atmosfera del sòl, que és mínim a la superfície i va augmentant en profunditat, la qual cosa també fa augmentar els temps de residència de la matèria orgànica en els horitzons més profunds. En els horitzons minerals de sòls rics en partícules fines, la protecció física del carboni en complexos argilo-húmics esdevé el procés predominant (Rovira, 2001).

Les imprecisions en els càlculs de continguts del carboni del sòl deriven principalment dels mètodes d'anàlisi del C orgànic i dels factors de re-

Ordre	Àrea (%)	Carboni orgànic		Carboni inorgànic		Carboni total	
		Pg	%	Pg	%	Pg	%
Gelisòls	8,6	316	20,4	7	0,8	323	12,9
Histosòls	1,2	179	11,6	0	0,1	180	7,2
Espodosòls	2,6	64	4,1	0	0,0	64	2,6
Andisòls	0,7	20	1,3	0	0,0	20	0,8
Oxisòls	7,5	126	8,1	0	0,0	126	5,1
Vertisòls	2,4	42	2,7	21	2,3	64	2,6
Aridisòls	12,0	59	3,8	456	48,0	515	20,6
Ultisòls	8,4	137	8,8	0	0,0	137	5,5
Mol·lisòls	6,9	121	7,8	116	12,2	237	9,5
Alfisòls	9,6	158	10,2	43	4,5	201	8,0
Inceptisòls	9,8	190	12,2	34	3,6	224	9,0
Entisòls	16,2	90	5,8	263	27,7	353	14,2
Miscel·lanis	14,1	24	1,5	0	0,0	24	1,0
Total	100,0	1.526	100,0	940	100,0	2.468	100,0

Nota: En negreta es ressalten els tipus de sòls més rellevants a Catalunya.

Taula B10.4. Reserves de carboni orgànic i inorgànic del sòls del món.
Font: elaboració pròpia a partir d'Eswaran et al, 2000.

cuperació quan es basen en oxidació humida, i de la manca de dades de densitat aparent en els mapes de sòls. S'ha estimat, però, que l'ús d'equacions de regressió en el seu càlcul origina un error d'un 10% en l'estimació de les reserves de carboni edàfic al Brasil (Bernoux et al., 2002). De la mateixa manera, la profunditat del sòl fins on es calcula la càrrega de carboni i la proporció de pedres són una altra font d'imprecisió.

Les reserves de COS oscil·len entre menys de 2 kg m⁻³ en deserts a més de 35 kg m⁻³ en tundres humides. Els valors mitjans per a les selves tropicals humides estan al voltant de 17 kg m⁻³ (Post et al, 1985). En l'àmbit forestal, cal no sobreestimar la potencialitat del sòl per emmagatzemar carboni. Si bé tenim un predomini de boscos joves que aporten matèria orgànica al sòl, no està tan clar que pugui quedar estabilitzada, atesa la considerable activitat biològica dels sòls mediterranis. Així, un factor limitant dels sòls forestals per al segrest de carboni està en la lenta incorporació de la matèria orgànica als horitzons minerals, on pot quedar protegida durant un termini més llarg (Rovira, 2001). Els sòls forestals d'alta muntanya ja estan en una situació propera a l'equilibri orgànic, de manera que no són embornals importants a mitjà termini. Cal diferenciar les zones d'expansió del bosc sobre camps abandonats on sí que es pot incrementar, encara, la matèria orgànica del sòl.

B10.2.2.2. Reservori inorgànic

La majoria del carboni mineral del sòl es troba com a calcita. A Catalunya es considera que les pluges tenen un considerable poder neutralitzant, ja que sovint es tracta de pluges de fang riques en carbonats i bicarbonats càlcics. Al Montseny aporten uns 0,24 kmol_e/ha/any de HCO₃⁻ (Àvila i Rodà, 1991), mentre que al Solsonès s'han estimat en 0,77 kmol_e/ha durant l'any 1999-2000 (Orozco 2003, Poch *com. pers.*).

Des d'un punt de vista genètic, el carboni litogènic és part del reservori de la litosfera, mentre

que l'edafogènic té en principi temps de residència més curts en aquells sòls on la redistribució de carbonats és un procés edàfic actual. De fet, però, des d'un punt de vista funcional, la mobilitat o reactivitat dels carbonats no es deu a la seva formació, sinó a la superfície específica o mida de les partícules, independentment del seu origen. En aquest sentit, els pseudomicel·lis de carbonats (edàfics) són més mòbils que roques calcàries dures, però sorres calcàries fines (carbonat litogènic) serien més mòbils que rizocrecions grosses (carbonats edafogènics).

El clima és el factor de formació del sòl que determina l'acumulació de carbonats a escala continental. En moltes àrees, el límit de precipitació anual que divideix els sòls amb i sense acumulacions està al voltant de 500 mm (Birke-land, 1999), tot i que és molt variable en funció de la temperatura i drenatge del sòl, disponibilitat d'ions, característiques de la pluja i geomorfologia, entre altres. A Catalunya el límit és, probablement, superior a 600-700 mm i correspon a una altitud aproximada de 1.000 metres. Això es deu a la riquesa en materials carbonatats i a la moderada evolució dels nostres sòls, que no permet que la descarbonatació progressi en condicions menys extremes de rentat. A la conca de la Ribera Salada, situada a cavall del Solsonès i de l'Alt Urgell i amb una superfície de 222 km², en altituds al voltant de 1.000 m l'exportació neta de bicarbonats és d'uns 300 kg/ha/any. Aquests provenen en part de la circulació de l'aigua de pluja per aqüífers càrstics de la capçalera i en part de la descarbonatació dels sòls (Orozco 2003). En efecte, en sòls calcaris sota bosc i pastures de la mateixa conca s'han estimat rentats nets de bicarbonats i calci de 46,7 i 13 kg/ha/any respectivament (Poch, *com. pers.*).

Els models de formació de carbonats s'agrupen en els processos *per ascensum*, *per descensum*, *in situ* i biogènics (Monger i Wilding, 2002), les característiques dels quals es mostren a la taula B10.5.

El ritme d'acumulació de carbonats oscil·la entre 0,1 i 12 g CaCO₃ m⁻² any⁻¹ en diferents zones àrides dels Estats Units, procés que s'interpreta com unidireccional sota el clima actual (Monger i Gallegos, 2000). En molts sòls de Catalunya hi ha proves d'una aridificació del clima en forma de recarbonatació d'horitzons Bt d'acumulació d'argila, formats en règims més humits durant períodes interglacials del Plistocè. Per altra, però, també hi ha evidències de dissolució d'horitzons petrocàlcics, com a alguns horitzons Bkm del Pla de Lleida, que si bé poden deure's a un canvi en les condicions climàtiques, en molts indrets estan afavorits pel reg.

B10.2.2.3. Processos del cicle del carboni al sòl

El segrest del carboni al sòl implica la conversió de CO₂ de l'atmosfera en matèria orgànica o carbonats minerals a través de la fotosíntesi o de l'equilibri CO₃²⁻ – HCO₃⁻. Tot i que els processos que regulen l'enriquiment o empobriment dels reservoris de C al sòl es donen en condicions naturals, la majoria de les activitats antròpiques afecten la seva magnitud.

La taula B10.6 mostra la complexitat de les relacions existents entre els principals processos de pèrdua o acumulació de carboni al sòl i algunes activitats humanes que les afecten. Algunes d'elles tenen efectes oposats, en funció de si es tracta de carboni orgànic o inorgànic, com la fertilització i el reg. Igualment, alguns processos, com la dissolució dels carbonats, també impliquen el segrest o l'alliberament de C en funció del grau d'humitat o la composició del medi on es troben. Aquesta significació varia fins i tot en funció de l'escala del procés. En efecte, essent el sòl un cos natural observable a diferents escales, un procés de pèrdua de C d'un horitzó pot representar un guany en una altra posició del paisatge edàfic o bé en un altre reservori com la hidrosfera o la geosfera.

B10.2.2.4. Processos i pràctiques de gestió que afecten el carboni orgànic del sòl

B10.2.2.4.1. Processos d'emissió i segrest de CO₂

La mineralització i l'oxidació de la matèria orgànica són les principals causes d'emissió de C del

Tipus de model	Procés	Origen dels ions	Resultat
<i>Per descensum</i>	Dissolució de carbonats i posterior precipitació a certa fondària del sòl.	Horitzons suprajacents o flux lateral en vessants. Ca ²⁺ procedent de la meteorització de minerals primaris, de pols atmosfèrica o de l'aigua de pluja	Horitzons Bk i Bkm en ambients àrids. Acumulacions com a pseudomicel·lis, nòduls, calcària pulverulenta, cimentació per carbonats (Gile et al., 1966)
<i>Per ascensum</i>	Precipitació per l'ascens capil·lar de capes freàtiques en règims no percolants.	HCO ₃ ⁻ i Ca ²⁺ de la solució del sòl	Horitzons Bk i Bwk, rarament Bkm. Pseudomicel·lis, nòduls, rizocrecions.
<i>In situ</i>	Precipitació a partir d'ions del propi horitzó.	Meteorització de minerals primaris rics en calci. CO ₂ procedent d'activitat biològica.	Horitzons Bk i Bwk, rarament Bkm. Pseudomicel·lis, nòduls, rizocrecions.
Biogènics	Dissolució de la calcita present en el sòl pel CO ₂ procedent de la respiració o de l'excreció d'àcids orgànics. El Ca ²⁺ alliberat és absorbit per organismes on precipita com a calcita (Jaillard et al., 1991).	Minerals primaris del sòl, CO ₂ de la respiració dels organismes del sòl.	Dissolució i reprecipitació de calcita a escala microscòpica. No implica cap flux net de carboni al sòl, llevat que el calci procedeixi d'una font no carbonatada.

Taula B10.5. Models de formació de carbonats en sòls.
Font: elaboració pròpia, basada en Monger i Wilking, 2002.

Activitat	Carboni orgànic del sòl		Carboni mineral del sòl	
	Emissions	Entrades	Emissions	Entrades
Desforestació, llaurat	Mineralització, erosió i rentat		Erosió	
Drenatge de sòls orgànics i altres	Mineralització			
Combustió de biomassa, incendis	Oxidació i volatilització			
Metanogènesi	Carbó recalcitrant			
Reg		Humificació		Carbonatació
			Dissolució de carbonats	
Fertilització	Mineralització	Humificació i agregació	Acidificació	
Esmenes de sòls sòdics amb guix		Humificació i agregació		Carbonatació
Esmenes de sòls sòdics amb H ₂ SO ₄ o adobs en verd		Humificació i agregació	Dissolució	
Encalçat	Mineralització	Humificació i agregació	Calcificació. Producció d'esmenes	
Pluja àcida			Dissolució	
Restauració de sòls		Humificació i agregació		Carbonatació
Conreu de conservació		Humificació i agregació		
Immobilització				
Agricultura en medis saturats d'aigua	Metà			

Taula B10.6. Algunes activitats antròpiques i processos que afecten els fluxos de carboni al sòl.
Font: elaboració pròpia.

sòl a l'atmosfera atribuïbles a les activitats antròpiques. La mineralització de la matèria orgànica s'afavoreix per la posada en cultiu, que exposa el sòl a la superfície, trenca els agregats i els posa a disposició de l'activitat microbiana i a l'acció dels agents atmosfèrics (Batjes i Bridges, 1992). Aquest és el principal procés d'alliberament de CO₂ com a conseqüència del canvi d'ús del sòl de forestal a agrícola o pastura, fet que s'agreuja en ambients àrids i semiàrids, on l'aigua és limitant per a la producció de biomassa i on la mineralització es veu molt afavorida.

Tanmateix, en el cas dels sòls amb ús agrícola, el tipus de maneig afecta fortament la distribució i contingut de matèria orgànica. En general, els sistemes agrícoles amb reg, aportacions regulars d'esmenes orgàniques, conreu reduït o no conreu, són els que potencialment poden segrestar més carboni. El reg és una de les pràctiques de maneig més efectives a l'hora d'augmentar les reserves de C al sòl. D'aquesta manera, per exemple, s'ha estimat que si en els propers 30 anys s'incrementava un 10% la superfície regada del món, es podria fixar en el sòl

un 5,9% del C emès (Entry et al., 2002). El maneig dels residus de collita i l'aportació ajustada de fertilitzants per produir nova matèria orgànica semblen les pràctiques més efectives pel que fa al segrest de carboni, sobretot en medis àrids i semiàrids (Bationo et al 2000, Stewart i Robinson, 2000).

En aquest sentit també s'ha trobat que sòls abanacalats en vessants de la conca mediterrània, que originàriament van comportar la desaparició de sòls forestals, han augmentat l'eficiència de l'aprofitament de l'aigua en els vessants i, per tant, el seu potencial de producció de biomassa és ara major. Per altra banda, també s'ha observat que l'aforestació de sòls agrícoles afavoreix el segrest de C i, per exemple, s'ha estimat que a la vall de Vallgorguina la plantació de *Pinus radiata* en antics conreus de vinya, d'entre 14 i 33 anys d'antiguitat, i de cereals, d'entre 4 i 7 anys, ocasionà un increment de C de l'ordre de 100 kg ha⁻¹ any⁻¹ en els primers 5 cm del sòl (Romanyà et al., 2000).

La pèrdua anual de CO₂ deguda al drenatge i posada en cultiu de sòls orgànics s'estima en 0,15-0,18 Pg C any⁻¹, que augmentaria fins a 3 Pg C any⁻¹ si es produïa el canvi climàtic (Post, 1990), amb un augment de temperatura i d'aridesa, per la qual cosa els sòls orgànics passarien de ser embornals a fonts de CO₂. Per contra, la dessecació eliminaria l'emissió de CH₄ i podrien passar a ser embornals d'aquest compost. L'augment de temperatura en el marc del canvi climàtic fa preveure, en general, un augment de la mineralització de la matèria orgànica, que a la llarga podria representar un descens en la capacitat del sòl de subministrar nutrients. Això s'agreguaria pel fet que la matèria orgànica sintetitzada en una atmosfera més rica en CO₂ té quocients C/N majors i, per tant, és menys rica en nutrients (Sebastià et al., capítol B5 d'aquest llibre). Tanmateix, aquesta matèria orgànica, més rica en carboni, seria més resistent a la mineralització i, per tant, aquest efecte d'empobriement químic no és tan clar.

L'impacte del foc sobre la matèria orgànica del sòl és variable segons la intensitat del foc i la distribució de matèria orgànica en profunditat. Si bé els efectes directes comporten una disminució de matèria orgànica i l'alliberament de CO₂, això afecta només els primers centímetres del sòl, a no ser que es tracti d'incendis recurrents d'alta freqüència. Els efectes indirectes a un termini mitjà i llarg són, però, més importants i poden ser positius per a l'emmagatzematge de carboni (conversió de C de la biomassa a formes de carbó recalcitrants en el sòl, augment de la fertilitat química en sòls àcids que incrementa el seu potencial productiu) o negatius (augment de l'erosió, reducció de la infiltració). Aquests darrers són els principals efectes en zones semiàrides i mediterrànies, on els incendis ocorren sovint en sòls forestals on la matèria orgànica es troba en els horitzons superficials, en zones de pendent susceptibles a l'erosió i on el clima no afavoreix la regeneració dels boscos.

L'erosió del sòl és un procés d'emissió de carboni reconegut, malgrat que no tots els mecanismes implicats actuen en el mateix sentit. Bàsicament, suposa l'alliberament i el transport de la matèria orgànica del sòl pel vent o l'aigua, processos durant els quals es mineralitza més ràpidament. Els efectes *in situ* són una disminució de la qualitat física, química i biològica del sòl i, per tant, del seu potencial per segrestar carboni. Tanmateix, depenent del lloc on es diposita, la matèria orgànica pot quedar segrestada (sediments de llacs, embassaments) o pot acumular-se en certs sòls tot millorant-ne la qualitat (peus de vessants, planes d'inundació, deltes). Aquestes àrees esdevenen embornals de carboni en la mesura que la matèria orgànica hi roman amb períodes de recurrència més llargs que al lloc on s'ha erosionat. Tot i això, l'erosió no es pot considerar com un simple procés de redistribució de matèria orgànica en el paisatge, ja que hi ha unes pèrdues irreversibles per mineralització (Lal, 2001b).

B10.2.2.4.2. Processos d'emissió i absorció de CH₄

L'emissió de CH₄ o metanogènesi és un procés geoquímic que es dona en tots els ambients anaeròbics, on es descomposa matèria orgànica. En els sòls, el metà s'allibera principalment en els aiguamolls o en els camps d'arròs. La majoria dels balanços de metà mostren que els camps d'arròs i els remugants són les fonts més importants d'emissió.

Les estimacions de les emissions de metà dels camps d'arròs són molt variables: oscil·len entre 70 i 170 Tg CH₄ any⁻¹ (diferents autors, citat per Batjes i Bridges, 1992) Les mesures en camps d'arròs de l'Estat espanyol i Itàlia són sensiblement inferiors i donen estimacions entre 30 i 75 Tg CH₄ any⁻¹ (Holzapfel-Pschorn i Seiler, 1986). Això es deu probablement a la presència de sulfats, ja que són tòxics per als microorganismes metanògens i estan negativament correlacionats amb l'emissió de metà. Per contra, les pràctiques de conreu de l'arròs com la fertilització química i orgànica, el llaurat previ per crear una capa impermeable, sòls amb pH neutres a alcalins, làmines superficials d'aigua amb continguts d'oxigen elevats i temperatures d'entre 30 i 35°C afavoreixen la mineralització i degradació de la matèria orgànica. Igualment, les mesures d'emissions de metà de zones humides naturals són poc precises però semblants a les dels camps d'arròs, de l'ordre de 100 a 50 Tg any⁻¹ respectivament (Schütz et al., 1990).

En condicions aeròbiques, els sòls poden actuar també com a embornals de CH₄, com a conseqüència de l'absorció d'aquest per part de bacteris metanotròfics aeròbics. Les estimacions globals d'absorció arriben fins a 56 Tg any⁻¹ (Schütz et al, 1990). Alguns ecosistemes de tundra funcionen alternativament com a emissors o immissors de metà al llarg de l'any, en funció del grau de saturació d'aigua del sòl (Harriss et al, 1982). En altres ecosistemes les dades són molt variables: com exemple, en sòls àrids i semiàrids oscil·len entre 0,3 i 2,4 mg CH₄ m⁻² h⁻¹ (Seiler,

1984) i en boscos temperats entre 0,11 i 0,13 mg CH₄ m⁻² h⁻¹ (Steudler et al, 1986). En conjunt es considera que els sòls forestals són embornals de metà.

B10.2.2.5. Processos i pràctiques de gestió que afecten al carboni inorgànic del sòl

L'equilibri carbonat-bicarbonat és el procés més important que regeix el potencial de segrest del carboni inorgànic en els sòls. És difícil qualificar les reaccions que s'hi donen com a segrest o emissió de carboni, ja que són processos que es mouen a cavall entre tres reservoris: l'atmosfera, l'edafosfera i la hidrosfera. Només es pot parlar clarament de segrest o emissió de carboni quan hi ha un intercanvi entre l'atmosfera i els altres dos reservoris. En canvi, els processos de transferència de carboni entre l'edafosfera i la hidrosfera són guanys o pèrdues únicament quan representen un canvi en la seva estabilitat o susceptibilitat en tornar a l'atmosfera, la qual cosa és molt més variable i dependent de les condicions particulars del medi.

Les reaccions involucrades en els fluxos de carbonats, bicarbonats i anhídrid carbònic, vistes des del punt de vista del segrest de carboni, es mostren a la figura B10.3. En aquest equilibri cal tenir en compte tres fenòmens fonamentals des del punt de vista del segrest del carboni (Drees et al, 2001):

- 1) La majoria de les aigües segresten naturalment CO₂ de l'atmosfera de forma contínua.
- 2) L'àcid carbònic és un àcid feble que no allibera CO₂ quan reacciona amb els carbonats del sòl, sinó que produeix HCO₃⁻.
- 3) Un dels dos mols de bicarbonat que es produeixen en dissoldre la calcària procedeix de l'atmosfera. En conseqüència, la dissolució de carbonats per l'aigua de pluja bicarbonatada és un procés de segrest de carboni cap a la hidrosfera.

La precipitació de CaCO₃ es dona normalment per sobresaturació de solucions amb Ca(HCO₃)₂.

En règims d'humitat del sòl sense falta d'aigua ($P > ETP$), tots els carbonats es dissolen i passen a la hidrosfera. En funció del tipus de reservori –capes freàtiques profundes, aigües superficials– el carboni inorgànic de l'aigua precipita un altre cop, alliberant CO_2 cap a l'atmosfera, o queda emmagatzemat durant un període de temps variable. És a dir, pot representar un segrest de carboni a la hidrosfera o bé resultar en un balanç zero després d'un període d'immobilització transitori. En règims d'humitat àrids, semiàrids i subhúmids ($P \leq ETP$) el $CaCO_3$ del sòl experimenta processos de dissolució-reprecipitació i, per tant, no hi ha guanys ni pèrdues de carboni, a no ser que els bicarbonats dissolts passin a la hidrosfera. En règims d'humitat àrids ($P < ETP$), el progressiu enriquiment de $CaCO_3$ del sòl només representa un guany net (segrest) quan el Ca no prové de materials originaris que ja contenen $CaCO_3$ i que es dissolen en el mateix sòl o en un altre punt del paisatge edàfic, ja que el CO_2 atrapat i l'alliberat en la dissolució i precipitació respectives es compensen. Les fonts de Ca forani poden ser guix, clorur càlcic (tant naturals com aportats com a adobs o esmenes) o silicats rics en calci que l'alliberen en meteoritzar-se.

En deserts dels EUA, les velocitats de formació de carbonat inorgànic per aquesta via, amb calci procedent de la deposició atmosfèrica, oscil·len entre 1 i 5 g $m^{-2} \text{ any}^{-1}$ (Marion, 1989). La formació de carbonats edafogènics en materials parentals carbonatats no suposa un segrest net de C, per la qual cosa no es pot considerar la precipitació de carbonats com un mecanisme efectiu, ara per ara, per augmentar el segrest de carboni en els sòls (Schlesinger, 2002). La complexitat d'aquestes reaccions i dels factors de control

fan que una mateixa pràctica agrícola o de maneig del sòl, pugui representar el segrest o l'alliberament de carboni inorgànic. En qualsevol cas, moltes d'aquestes pràctiques augmenten el potencial de producció de biomassa del sòl i, per tant, tenen un clar efecte de segrest de carboni orgànic (taula B10.6), mentre que l'efecte sobre l'inorgànic és variable i quantitativament menys important. La taula B10.7 mostra una ampliació dels tipus d'afeccions del maneig en el carboni inorgànic del sòl i les possibilitats d'intervenció.

Quan s'avalua l'efecte del reg sobre el CIS, els factors de control són el grau d'alcalinitat i l'eficiència del reg (Suárez, 1999), de manera que regs poc eficients amb altes fraccions de rentat i/o amb aigües poc carbonatades dissolen els carbonats de l'edafosfera i els passen a la hidrosfera. També s'ha de tenir en compte la procedència de l'aigua de reg: l'ús d'aigua d'aqüífers profunds provoca la seva desgasificació quan és bombejada a la superfície per la menor pressió parcial de CO_2 de l'atmosfera.

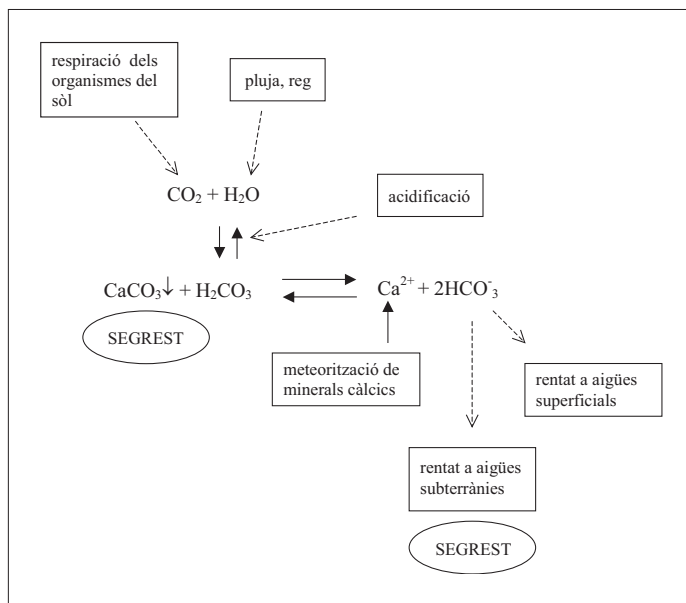


Figura B10.3. Reaccions entre carbonats, bicarbonats i CO_2 del sòl.
Font: elaboració pròpia.

Pràctica		Procés	Resultat	Importància	Possibilitats d'intervenció
Reg	Aigües carbonatades i/o regs d'alta eficiència	Precipitació de carbonats	Emissió	Emissió global de 3×10^{13} gC any ⁻¹ si es reguen totes les àrees amb dèficit d'aigua (0,5% d'emissions de combustibles fòssils)	Baixes
	Aigües no carbonatades i/o regs de baixa eficiència	Dissolució de carbonats	Segrest a la hidrosfera		
Fertilització	Adobs acidificants, sulfurats o amoniacals	Dissolució de carbonats	Emissió	Mitjana-alta: emissió de l'ordre de 100 kg C ha ⁻¹ any ⁻¹	Mitjana, en funció de l'àrea afectada
	Adobs nitrogenats -nitríc	No afecta	No afecta	-	-
Millora de sòls sòdics	Esmenes de guix o clorur càlcic	Precipitació de carbonats	Segrest al sòl	Mitjana	Baixa, per la poca superfície de les àrees afectades
	Adobs en verd, esmenes àcides	Dissolució de carbonats	Emissió	Alta	
Millora de sòls àcids	Esmenes calcàries (Encalcat)	Precipitació de carbonats	Emissió	Alta si es tractessin tots els sòls àcids del planeta	Baixa en zones àrides i mediterrànies

Taula B10.7. Influència del maneig sobre el carboni mineral del sòl
 Font: elaboració pròpia a partir de dades de Suárez 1999, 2002.

L'aplicació de fertilitzants acidificants en sòls calcaris provoca la dissolució de carbonats i l'alliberament net de CO₂ a l'atmosfera, de l'ordre de 100 kg C ha⁻¹ any⁻¹, però que gairebé no afecta el reservori de CIS, ja que caldria vora d'un segle per a reduir un 1% del contingut de carbonats del sòl. Tanmateix, segons Suárez (1999) aquests processos no suposen fonts importants d'emissions a l'atmosfera.

Les esmenes calcàriques i orgàniques són pràctiques comunes en la millora de sòls sòdics. L'aplicació de guix (CaSO₄·2H₂O) o de clorur càlcic suposa la precipitació de CaCO₃ amb Ca forani i, per tant, segresten carboni al sòl. Per contra, l'aplicació de sofre, àcid sulfúric o adobs en verd promouen la dissolució dels carbonats i l'alliberament de CO₂ en quantitats elevades (dissolució de 400 – 800 kg CaCO₃ ha⁻¹ any⁻¹), però que no tenen un impacte important a causa de la superfície limitada on s'apliquen (Suárez 2002).

Les esmenes calcàries per augmentar el pH en sòls àcids comporten l'alliberament de carboni ja que desplacen la reacció mostrada a la figura B10.3 cap a l'esquerra. Fins i tot quan s'aplica CaO o Ca(OH)₂, que no contenen carbonats, s'ha de considerar que aquestes esmenes ja han alliberat CO₂ durant la seva producció a partir de l'escalfament de la calcita. A Catalunya, la seva importància és limitada per la poca extensió dels sòls àcids.

En resum, de les taules B10.6 i B10.7 es desprèn que les possibilitats d'actuació sobre els processos del carboni mineral de cara al seu emmagatzematge o reducció d'emissió són minses, ja que els mecanismes de segrest més efectius són la dissolució de carbonats a escala regional, tant geològics (aquífers càrstics) com edàfics (descarbonatació de sòls a partir de certes altituds), sobre els quals la gestió del territori té poca capacitat d'actuació. En les zones més

àrides, la redistribució de carbonats en el sòl no suposa un emmagatzematge de carboni, ja que els materials parentals són calcaris i no hi ha segregat net de CO₂. En les grans superfícies regades de Catalunya, la tendència desitjable d'optimització del reg disminuiria les dosis de rentat actuals i, per tant, reduiria la dissolució de carbonats.

L'aplicació d'esmenes, a causa dels efectes contraposats segons les condicions d'aplicació, la reduïda extensió on es duen a terme o la minsa magnitud dels fluxos, contribueixen en poca quantitat a l'emissió de GEH a partir del carboni inorgànic. En qualsevol cas, les pràctiques que milloren la qualitat del sòl i el seu potencial de producció de biomassa (reg, fertilització, aplicació d'esmenes, conreu de conservació) o la reforestació en certes condicions són les actuacions més efectives pel que fa a l'augment de la reserva de carboni orgànic del sòl i, per tant, és en aquest sentit que caldria orientar les polítiques de gestió (FAO, 2001).

B10.2.2.6. Descripció de reservoris i fluxos

B10.2.2.6.1. Reservoris

Les dades disponibles són, encara, fragmentàries, de diversa procedència i escasses per tenir una idea prou representativa de la quantitat de carboni emmagatzemada als sòls catalans. L'inventari de matèria orgànica dels sòls de l'Estat espanyol, endegat pel Ministeri de Medi Ambient, haurà d'intentar cobrir aquestes mancances.

A la taula B10.8 es presenten dades d'estimació dels reservoris de C en sòls de Catalunya corresponents a zones de domini forestal i agrícola. A tall d'exemple, inventaris de C orgànic en sòls agrícoles de la Garrotxa i Baix Empordà (4.300 ha) donen valors mitjans de 200 Mg COS ha⁻¹, més elevats en sòls sobre materials detrítics terrígens per ser més profunds (Palou i Boixadera, 2002). En sòls forestals del Solsonès (2.100 ha), la mitjana és de 148 Mg COS ha⁻¹. En aquest darrer cas no s'observen diferències substancials

entre els sòls de pastures i de boscos, la qual cosa s'ha atribuït al fet que la reforestació per abandonament encara no ha estat capaç de recuperar la matèria orgànica (Castelló, 1998).

En sòls de prats de muntanya pirinencs, García-Pausas et al. (2003) troben un rang de carboni total comprès entre 65 i 300 Mg ha⁻¹, amb una mitjana de 153 Mg ha⁻¹. A la zona de la Coma de Burg (Pallars Sobirà), que ocupa una extensió d'unes 3.000 ha de sòls forestals i de prats de muntanya, s'han mesurat continguts mitjans de 80 Mg COS ha⁻¹. En les zones ocupades pel bosc fa més de 100 anys el contingut és més elevat (111 Mg COS ha⁻¹), seguit del sòls de prats alpins i subalpins. Els continguts menors es troben a les zones de boscos recents (51 Mg COS ha⁻¹) i sòls encara cultivats (31 Mg COS ha⁻¹), fet que fa palesa la pèrdua de matèria orgànica en la transformació de bosc a prat i una recuperació parcial després de l'abandonament del conreu (Jiménez, 2004).

Aquestes dades estan d'acord amb els ordres de magnitud dels inventaris francesos, segons els quals els reservoris de C més pobres de França es troben a la regió de Llenguadoc-Rosselló, amb valors per sota de 40 Mg/ha (Expertise Scientifique Collective, 2002). Aquest inventari s'ha realitzat fins a 30 cm de profunditat i sense tenir en compte els horitzons orgànics.

A Catalunya, en parcel·les situades en zones restaurades després de la finalització de diverses activitats extractives, el contingut de COS en els primers 20 cm està comprès entre 0,65% i 2,24%, mentre que al sòl natural del voltant de les pedreres el contingut mitjà és de 3,97 (Ortiz i Alcañiz, 2001). Això equival a 22,8-58,6 Mg COS ha⁻¹ a les zones restaurades davant dels 79,4 Mg COS ha⁻¹ a les zones considerades de control. Aquestes dades poden servir per realitzar una primera aproximació als reservoris de carboni en les 3.800 ha restaurades, segons dades del Departament de Medi Ambient i Habitatge.

Zona	Usos dominants del sol	Superfície estudiada (ha)	Perfils (n°)	Gruix mitjà (cm)	COS (Mg ha ⁻¹)	CIS (Mg ha ⁻¹)	Observacions	Font
La Garrotxa i Baix Empordà	Agrícoles	4.300			200 (20-270)		Mapa sòls 1:25.000 Catalunya, DARP	Palou et al, 2002
Solsonès	Forestals	2.100	23	51	149 (13-585)	2260-614,2	Efectes canvi d'ús del sol	Castello, 1998
Coma de Burg (Pallars Sobirà)	Forestals	3.072	47	55	81 (19-276)		Efectes canvi d'ús del sol	Jiménez, 2004
Activitats extractives arreu	Matollars	100	27	33	13 (2-57)		Sense esmenes orgàniques	Alcañiz i Ortiz, 2003
Activitats extractives arreu	Matollars	300	57	20	19 (15-31)		Alguns amb adobs orgànics	Ortiz i Alcañiz, 2001
Litoral i Pre-Litoral calcarí	Forestal	50	9	20	51			Ortiz i Alcañiz, 2001
Isona	Agrícola cereals	1.200	42	20	28,8			Sabria, 1991
Berguedà	Agrícola cereals	1.400	87	20	32,6	70,4		DARP, 1991
Segarra	Agrícola cereals	12.450	249	20	31,8	110,8		DARP, 1990
Segarra	Agrícola cereals	7.100	71	20	24			LAF, 1994a
Vall del Corb (Urgell)	Agrícola cereals	11.450	229	20	29,6	134,6		DARP, 1997
La Cerdanya	Agrícola cereals	500	28	20	70,4	7,5		Sierra, 1987
La Cerdanya	Farratges i prats	2.500	100	20	72	1,0		Sierra, 1987
Pla d'Urgell	Agrícola regadiu	30.000	44	20	38,4		Adob orgànic	Torres, 1994
Pla d'Urgell	Agrícola regadiu	30.000	44	20	30,4		Adob mineral	Torres, 1994
Pla de Lleida	Agrícola regadiu	6.600	95	25	40		Adob orgànic	LAF, 1995
Pla de Lleida	Agrícola regadiu	6.600		20	32		Extensius de regadiu	LAF, 1995
Maresme	Agrícola regadiu	5.100	100	20	36,2			Virgili, 1994
Viladecans	Agrícola regadiu	2.000	50	20	37,9			DARP, 1988
Pla de Lleida	Agrícola regadiu	56.285		20	36,5	86,4	Fruita dolça	DARP, 1990
Pla d'Urgell i Segrià	Agrícola regadiu	30.000	93	25	25,6		Fruita dolça	LAF, 1994b
Camp de Tarragona	Agrícola regadiu	13.471	30	20	22,6	20,1	Avellaners	DARP, 1991
Alt Penedès	Agrícola seca	500	25	20	23,5	93,8	Vinya	DARP, 1991
Conca de Barberà	Agrícola seca	6.000	70	20	20,5	173,7	Vinya	DARP, 1991
Zones de muntanya	Pastures	126.547	18	25	56			MAPA, 2000

Nota: Les notes que fan referència al DARP, corresponen als estudis de zona corresponents a l'Inventari de Sòls de Catalunya i a l'any en què es dugueren a terme. Les del LAF, a estudis de sòls desenvolupats pel Laboratori d'Anàlisi i Fertilitat de Sidamón (Lleida).

Taula B10.8. Exemples de reservoris de carboni en sòls de Catalunya.

Font: recopilació de dades de treballs de l'inventari de sòls del DARP i d'estudis locals de procedència diversa.

Una informació més precisa es pot obtenir a partir de mapes de sòls com els que s'estàn generant actualment a Catalunya, que tenen un nivell de detall més elevat. La taula B10.9 recull un resum sobre els continguts de carboni orgànic en funció del tipus de sòl dominant, fet que suposa disposar d'una informació més ponderada de la distribució del carboni orgànic en les diferents unitats cartogràfiques dels mapes de sòls. Cal aclarir que malgrat haver seleccionat dades amb valor estadístic i representatiu, en cap cas -llevat d'un parell- l'objectiu era estudiar el contingut de matèria orgànica amb relació al canvi climàtic, per la qual cosa el seu ús presenta certes limitacions. Els continguts són especialment baixos en els *entisòls* i moderats en la resta.

B10.2.2.6.2. Fluxos

En un estudi detallat en sòls forestals del Montseny i de Prades, s'han mesurat fluxos anuals mitjans compresos entre 75 i 122 mg CO₂ m⁻² h⁻¹ (Piñol et al., 1995). Casals et al. 2000, analitzen la influència sobre l'eflux de CO₂ de la pedregositat d'un sòl mediterrani àrid de la zona de Maials. Estiarte et al. (2003) mesuren el flux de CO₂ en unes parcel·les experimentals del Garraf on es provoca un escalfament i un cert grau de sequera respecte a unes de control.

En 57 parcel·les situades en zones restaurades de pedreres, la respiració del sòl depèn molt del tractament de restauració utilitzat, tot i que en general no superen 1 g CO₂ m⁻² h⁻¹ (Ortiz i Alcañiz, 2001). Dins d'una mateixa activitat extractiva els fluxos són força variables, com per exemple a la zona restaurada de la mina a cel obert de Coll de Jou (Saldes) on el rang està comprès entre 290 i 1.174 mg CO₂ m⁻² h⁻¹ mesures realitzades en un moment de màxima activitat biològica en el sòl. Tot això dificulta l'establiment de balanços d'emissions de CO₂ a partir del sòl. Considerant la superfície restaurada i la que està en explotació (unes 6.000 ha), fins i tot assumint que es recupera la mateixa superfície que s'explota anualment resulta en un balanç desfavorable per al segrest de C, tot i que es pot conside-

Subgrup	Mg/ha	n
Paleorthid	46,56	35
Calciorthid	37,60	25
Petrocalci Xerochrept	42,56	
Calcic Xerochrept	35,84	
Gypsic Xerochrept	44,32	
Fluventic Xerochrept	33,44	
Aquic Xerofluvent	36,48	
Typic Xerofluvent	31,20	48
Xerorthent	29,92	126
Torriorthent	23,84	35
RESUM PER ORDRES		
—Entisol	30,08	
—Inceptisol	38,24	
—Aridisol	36,96	

Taula B10.9. Contingut de carboni orgànic (Mg ha⁻¹) en funció del tipus de sòl, a l'àrea regable del canal d'Urgell.

Font: elaboració pròpia.

rar que la majoria de sòls rehabilitats actuen com embornals.

La fertilització nitrogenada habitual sobre sòls calcaris també contribueix a les emissions. Per a una dosi de 100 unitats fertilitzants de N a un sòl calcari s'emeten de l'ordre de 150 kg de CO₂ ha⁻¹.

B10.2.3. Cicle del nitrogen: processos, reservoris i fluxos al sòl

El sòl juga un paper clau en la regulació del cicle global del nitrogen. Conté la major part del nitrogen dels ecosistemes terrestres en formes orgàniques i és on es produeixen les transformacions a formes inorgàniques. D'aquestes, l'òxid nítrós (N₂O), l'òxid nítric (NO) i l'amoniac (NH₃) tenen, en bona part, el seu origen en activitats agràries i en determinats processos que es

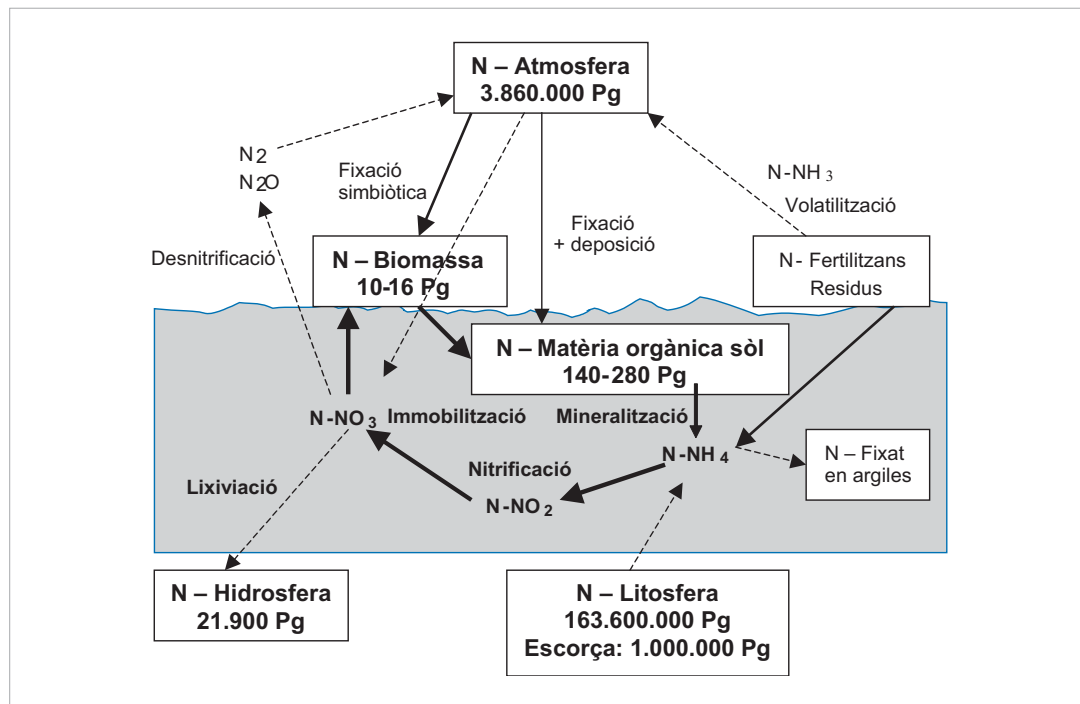


Figura B10.4. Cicle del nitrogen simplificat, amb dades sobre les estimacions dels principals reservoris. Font: Stevenson (1986) pel que fa als valors més baixos, i Batjes (1996) pel que fa als valors més elevats.

donen en sòls naturals. En els sistemes naturals és un cicle molt equilibrat, on les pèrdues són petites (figura B10.4).

Les activitats humanes han alterat significativament els fluxos, produint desajustos que es manifesten en forma de contaminació d'aqüífers i d'emissions antropogèniques de GEH. La fixació industrial de N atmosfèric en forma d'amoni i el seu ús com a fertilitzant, la utilització de combustibles fòssils, el reciclatge de residus orgànics rics en aquest element o la importació d'aliments d'unes regions a unes altres suposen unes transferències de nitrogen que desequilibren el funcionament natural del cicle.

B10.2.3.1. Formes i reservoris de nitrogen al sòl

Un 80% o més del nitrogen del sòl es troba formant part de la matèria orgànica i, per tant, de l'humus (Johnson, 1992). La mineralització afecta un 60-80% de les entrades anuals de nitro-

gen, depenent del tipus de matèria orgànica que s'hi incorpori, però sempre queda un romanent de N-orgànic associat a l'humus en formes molt estables. En sòls madurs aquest pot representar el 30% del que hi ha a les substàncies húmiques, és resistent a les hidròlisis àcides i té un temps de residència de l'ordre de segles. És, per tant, un procés d'estabilització química del nitrogen (Rovira, 2001). La composició d'aquest nitrogen no hidrolitzable encara no és ben coneguda. En canvi, el derivat de proteïnes i àcids nucleics és metabòlicament molt actiu i, per tant, està subjecte a una ràpida renovació. L'activitat biològica del sòl depèn en gran mesura de la disponibilitat d'aquest element.

Els sòls tenen també una certa capacitat de segrestar o immobilitzar N en formes inorgàniques. L'amoni pot quedar fixat entre les làmines de les argiles, substituint de forma estable al potassi o d'altres cations, fet que suposa un segrest

de N, tot i que no és un fenomen del tot irreversible. La immobilització depèn de la quantitat i tipus d'argiles que té el sòl (les il·lites i les vermiculites, per exemple, tenen una considerable capacitat de fixació). L'ús continuat d'adobs amoniacals pot conduir a la saturació de la capacitat de fixació d'amoní dels sòls.

La producció de GEH al sòl està molt condicionada per la quantitat i composició dels adobs aportats i per les condicions físico-químiques del mateix sòl. Es pot considerar que l'emissió de GEH nitrogenats és com una mena de vàlvula de seguretat del cicle del nitrogen en el sòl, que elimina l'excés d'aportacions, evitant que vagi a parar als aqüífers, molt sensibles a l'eutrofització.

B10.2.3.2. Processos i transferència de nitrogen entre reservoris

El cicle del nitrogen va associat, en moltes fases, al del carboni. Per això algunes estimacions globals dels reservoris de nitrogen s'han fet a partir dels continguts de carboni, utilitzant factors d'equivalència. Més recentment, s'han desenvolupat models basats en el propi cicle del nitrogen com el de Lin et al. (2000). A continuació s'apunten els principals processos implicats en la transformació del nitrogen al sòl (vegeu la figura B10.4), tot i que la seva descripció queda fora de l'abast d'aquest document:

- 1) Les entrades per fixació simbiòtica o lliure
- 2) La deposició atmosfèrica
- 3) Les aportacions de matèria orgànica i fertilitzants
- 4) La mineralització de les restes orgàniques que es dona en dues etapes: primer amonificació i, posteriorment, nitrificació
- 5) La immobilització en la biomassa microbiana o en l'humus
- 6) La desnitrificació fins a N_2 o NO_x
- 7) L'absorció per les plantes, que es pot considerar una extracció parcial
- 8) Les pèrdues per lixiviació
- 9) Les sortides per volatilització.

A Catalunya pocs sòls es poden considerar en una situació d'equilibri amb relació al cicle del N. En sòls agrícoles, les entrades de fertilitzants faciliten les sortides del sistema per volatilització o lixiviació, a més de les exportacions de la collita. Exemples ben coneguts són les contaminacions d'aqüífers per sobrefertilització (purins, adobs minerals, etc.). En sòls forestals, molts d'ells en estat de regeneració, la tendència és immobilitzar-lo en la pròpia vegetació o en la matèria orgànica del sòl.

A la taula B10.10 es presenten les intensitats dels fluxos de nitrogen corresponents als principals processos de transferència. Aquestes estimacions a escala mundial permeten conèixer la dimensió del problema, però tenen una utilitat molt limitada pel que fa a la gestió i a les polítiques d'actuació per mitigar els efectes sobre el canvi climàtic. A Catalunya s'han fet bastants estudis relacionats amb la dinàmica del nitrogen en boscos (Bonilla i Rodà, 1992; Serrasolsas et al., 1999; Avila et al., 2002), o en sòls agrícoles (Badia i Alcañiz, 1996; Forés, 1989; Garau et al., 1986; Garau i Felipó 1992), però n'hi ha pocs que tractin específicament les implicacions dels desajustos del cicle del nitrogen sobre el canvi climàtic (Saguer, 1997; Teira-Esmatges et al., 1998; Rodà et al., 2002). Poden servir d'orientació altres treballs realitzats a Europa sobre els fluxos de nitrogen en sòls agrícoles (Webb et al., 2000).

B10.2.3.3. Emissions de gasos nitrogenats pels sòls

L'IPCC (1997) recomana una metodologia que no sempre és fàcil d'aplicar per manca de dades. Les estimacions es basen en uns factors d'emissió per a cada activitat que generalment tenen una considerable incertesa. A escala europea s'estan fent propostes de models que milloren les prediccions actuals i permeten regionalitzar els càlculs per ajustar-los a unes condicions ambientals determinades. Així, Freibauer (2003) proposa un nou model per al càlcul de les emissions d'activitats agrícoles a Europa, compatible amb la metodologia de l'IPCC, que es basa en

factors d'emissió i regressions lineals que es multipliquen per les dades de cada activitat que genera GEH disponibles en les bases de dades dels estats membres de la UE.

A nivell del conjunt de sòls agrícoles d'Europa, la contribució dels GEH expressats com a equivalència en CO₂ suposen un pes específic del 89% pels òxids de nitrogen, davant d'un 11% pel CO₂ i un 1% pel CH₄ (Freibauer, 2003). Per tant, la gestió dels fertilitzants nitrogenats pot ser molt més efectiva i més viable que altres mesures en la mitigació dels efectes del canvi climàtic, especialment a l'Estat espanyol, que els darrers anys ha incrementat les seves emissions de N₂O.

B10.2.3.3.1. Amoníac

Les activitats agrícoles i la ramaderia intensiva són les principals fonts d'amoníac a partir del

sòl. També els incendis forestals, les cremes prescrites o l'aplicació de residus orgànics com els fangs de depuradora i purins. De tota manera, com que l'amoníac es converteix ràpidament en NH₄⁺ o és atrapat en forma d'aerosols, les concentracions atmosfèriques relativament elevades procedents de fonts agràries només es troben properes a les fonts (< 3 km) (Krupa, 2003). Per això, les emissions es transformen poc després en entrades de N a sòls de zones no massa allunyades. Hi ha, però, molta incertesa en les avaluacions de les emissions d'amoníac a partir dels sòls (Anderson et al., 2003).

La volatilització de nitrogen amoniacal en sòls és més important quan el pH és bàsic i hi ha una font de N-orgànic o d'amoní prop de la superfície. Les pèrdues poden ser molt variables dependent de la textura del sòl, de la forma nitrogena-

Compartiment	Entrades/sortides	Procés	Taxes (Tg/any)
Vegetació	Entrada	Absorció d'N	6.207
	Sortides	Producció de virosta	6.274
Matèria orgànica del sòl	Entrada	Acumulació de virosta	6.274
		Fixació d'N	211
	Sortides	Mineralització de virosta	3.544
		Mineralització d'humus	2.898
Sòl mineral	Entrades	Mineralització de virosta	3.544
		Mineralització d'humus	2.898
		Deposició atmosfèrica (NH ₄ ⁺ i NO ₃ ⁻)	116
	Sortides	Absorció vegetació	6.207
		Volatilització (NH ₃)	34
		Desnitricació (N ₂ o NO _x)	240
		Lixiviació (NO ₃ ⁻)	5

Nota: no es consideren les pertorbacions antròpiques.

Taula B10.10. Estimació de les taxes anuals de transferència de nitrogen entre els principals compartiments dels ecosistemes terrestres, a escala mundial.

Font: elaboració pròpia a partir de Lin et al., 2000.

da subministrada amb el fertilitzant i del moment de l'aplicació. Les pèrdues es redueixen molt per injecció de fertilitzants amoniacals o per l'enterrament dels adobs orgànics rics en nitrogen.

B10.2.3.3.2. Òxids de nitrogen

1) N₂O

Les activitats agràries són una font important d'emissions associada a les pràctiques de fertilització i les aplicacions d'adobs orgànics. En conjunt, l'agricultura dels països de la UE emet uns 0,84 Tg d'N₂O l'any (Freibauer, 2003). Els sòls arenosos n'emeten més que els argilosos (Hellebrand et al., 2003). S'han mesurat pèrdues entre 0,4 i 5,2 kg N-N₂O ha⁻¹ any⁻¹ en diferents conreus (Flessa et al., 2002), però són molt més altes en aiguamolls o prats hidròfils. Aquestes emissions poden representar entre un 0,5 i un 2,7% del nitrogen aplicat com a fertilitzant (Webb et al., 2000). En sòls tractats amb fangs d'indústria paperera com a esmena orgànica s'han mesurat emissions de N₂O de 4,9 kg N ha⁻¹, afavorides per l'addició de matèria orgànica làbil. L'increment d'ús de fertilitzants nitrogenats, per tant, augmenta les emissions globals de N₂O, fet que pot contrarestar l'avantatge de la producció de biocombustibles d'origen vegetal respecte les emissions de CO₂ (ja que l'N₂O contribueix unes 300 vegades més que el CO₂ a l'escalfament global, en un horitzó de 100 anys).

A Europa, els sòls agrícoles de clima atlàntic o subcontinental emeten menys N₂O que els de les regions alpines (climes de muntanya) i de zones sub-boreals, on les glaçades hivernals, juntament amb els cicles de gel-desgel, afavoreixen les emissions (Freibauer i Kaltschmitt, 2002), fet que també es dona a bona part de Catalunya. Hi ha pocs estudis sobre les emissions d'N₂O en sòls mediterranis. Arcara et al. (1999) obtingueren resultats moderats d'emissió en camps de la plana al·luvial del riu Po (Itàlia) fertilitzats amb purins.

A Catalunya, Sagner (1997) ha estudiat les pèrdues per desnitrificació en sòls agrícoles de l'Empordà (Mas Badia), a més d'altres de forestals, i posa de manifest la influència de la textura sobre les emissions d'N₂O i l'efecte combinat del reg amb la fertilització nitrogenada. Teira-Esmatges et al. (1998), estudiant tres sòls agrícoles sotmesos a reg de la província de Lleida, trobaren pèrdues de 389 g N-N₂O ha⁻¹ d⁻¹ al Pinell, 144 g N-N₂O ha⁻¹ d⁻¹ a Barbens i 125 g N-N₂O ha⁻¹ d⁻¹ a Bellpuig. Aquestes pèrdues esdevenen quan el sòl té més d'un 70% de la porositat total ocupada per aigua (amb un contingut hídic més petit, per tant, les pèrdues són més reduïdes). El conjunt de pèrdues per desnitrificació representa entre un 1,7 i un 13,6% del nitrogen aplicat com a fertilitzant.

El model més recent (Freibauer, 2003) proposa diverses regressions per diferenciar les emissions dels sòls en funció de grans grups de climes i usos. Així a l'Estat espanyol (excepte les zones de muntanya) l'hi correspondria la següent:

$$\text{Emissió d'N}_2\text{O (kg N ha}^{-1}\text{ a}^{-1}\text{)} = 0,6 + 0,002 \times \text{dosi de fertilitzant (kg N ha}^{-1}\text{ a}^{-1}\text{)} + 12,7 \times \text{Corg (g kg}^{-1}\text{)} - 0,24 \times \text{Arena (g kg}^{-1}\text{)}$$

L'error estàndard d'aquesta regressió és del 40-50%, però suposa una millora respecte a la metodologia de l'IPCC (1997). Independentment als ajustos que calgui fer, aquest procediment permet regionalitzar les emissions i, en últim extrem, hauria de permetre calcular-les en base a informació derivada dels mapes de sòls.

2) NO

De forma similar al cas anterior, les emissions estan molt condicionades per l'aplicació de residus orgànics. Els valors d'emissió mitjans mesurats en sòls agrícoles dels EUA són de 69 ng N m⁻² s⁻¹ durant els mesos d'estiu i representen el 60% del total anual (Roelle, 2002). Quan el sòl

està bastant sec, l'NO s'allibera durant el procés de la nitrificació, igual que una part de l'N₂O (Garrido et al., 2002). Aquest fet és poc conegut i moltes vegades no es té en consideració en els balanços d'emissions.

B10.2.3.4. Entrades de compostos nitrogenats al sòl

B10.2.3.4.1. Deposició de gasos nitrogenats

La deposició atmosfèrica, per via seca o humida, de compostos nitrogenats i d'òxids de sofre, contribueix a l'acidificació del sòl. De la mateixa manera que es parla de càrregues crítiques d'acidesa i de contaminants, es pot parlar de càrrega crítica dels diferents gasos nitrogenats de l'atmosfera que retornen al sòl, que està relacionada directament amb l'acidificació (Tomlinson, 1991). Segons Krupa (2003), la deposició total d'N per via atmosfèrica pot situar-se en 5-10 Kg ha⁻¹ any⁻¹ a les torberes i sistemes de la tundra, i en 10-20 kg ha⁻¹ any⁻¹ als boscos boreals. A Catalunya s'han mesurat deposicions de 15-20 kg ha⁻¹ any⁻¹ als alzinars del Montseny (Rodà et al., 2002). Actualment es considera que hi ha bastants ecosistemes forestals o comunitats naturals que estan saturats en nitrogen des del punt de vista de la regulació natural del sistema

Fangmeier et al. (1994) citen deposicions d'N-NH₄ d'uns 11 kg ha⁻¹ any⁻¹ sota diverses cobertes vegetals. En els sistemes agrícoles, la deposició de N via atmosfèrica és equivalent a una fertilització.

Les entrades de nitrogen al sòl en forma d'òxids (NO i N₂O) van associades a la deposició humida quan aquests reaccionen amb l'aigua. A Dinamarca s'han estimat unes entrades de l'ordre de 7 kg de N-NO_x ha⁻¹ any⁻¹, bàsicament procedents de la crema de combustibles fòssils. Les entrades de nitrogen per la pluja en boscos del Solsonès s'ha estimat en 2,1 i 0,9 kg ha⁻¹ any⁻¹ per nitrogen amoniacal i nítric, respectivament. Aquestes quantitats s'incrementen en 4,8 i 2,6 en travessar la capçada dels arbres, per la qual

cosa l'aportació total al sòl forestal és de 7,4 kg N ha⁻¹ any⁻¹ (Orozco, 2003). Aquesta quantitat és retinguda per la vegetació, mentre que altres components són rentats del sòl, per la qual cosa en aquests ecosistemes el N seria encara limitant pel creixement de la biomassa (Poch, *com. pers.*).

B10.2.3.4.2. Entrades de nitrogen per fertilitzants i adobs orgànics

Davant de la importància en les emissions de GEH de sòls agrícoles, a continuació s'aporten estimacions globals de les entrades de nitrogen per adobat a sòls agrícoles en el conjunt de Catalunya.

Com es pot veure a la taula B10.11, les entrades de N procedent de la importació d'adobs minerals de síntesi és equivalent al N aportat per les dejeccions ramaderes. A més, cal tenir present que una part important del N dels residus ramaders prové de la alimentació amb pinsos importats.

B10.3. Usos del sòl i estimacions dels efectes del canvi climàtic

Aquest apartat se centra en els usos relacionats més directament amb el medi edàfic, és a dir, els agrícoles i els forestals. Cal recordar, però, que l'ús urbà o per vies de comunicació genera emissions importants de GEH, aspecte considerat en d'altres capítols d'aquest llibre. A la taula B10.12 es presenta un resum dels principals usos del sòl a Catalunya.

Material	Quantitat aportada Mg/any	Equivalent en N Mg/any
Adobs minerals de síntesi**		80.000
Fangs EDAR*	323.005	3.010
Compost*	215.782	4.628
Residus ramaders en origen**		80.000

Taula B10.11. Fertilitzants i residus aportats al sòl com a font de nitrogen.

Font: Junta de Residus, 2001 (*) i MAPA (**).

Usos del sòl	Superfície 1997 (ha)	Variació 97-87	Superfície 1997 (%)	Diferència 97-87 (%)	MCSC 1993 (ha)
Aigües continentals (inclou neu)	14.985	-3.353	0,47	-0,10	15.947
Infraestructures viàries	24.370	17.295	0,76	0,54	15.500
Zones urbanitzades	118.377	37.532	3,69	1,18	100.322
Conreus herbacis de secà	482.715	-11.558	15,05	-0,33	1.105.043
Conreus de regadiu	261.733	2.009	8,16	0,08	
Fruiters de secà i vinya	306.102	-37.247	9,55	-1,14	
Prats supraforestals	69.634	-2.405	2,17	-0,07	129.513
Bosquines i prats	837.101	-3.512	26,11	-0,06	527.392
Bosc	982.749	14.909	30,65	0,52	1.218.527
Aiguamolls	3.649	-986	0,11	-0,03	2.629
Sorrals i platges	4.128	-1.175	0,13	-0,04	3.572
Zones nues o cremades	104.998	-18.737	3,27	-0,58	91.949
Total	3.210.540	-7.228	100,13	-0,04	3.210.394

Nota: a la taula, els conreus herbacis de secà corresponen a conreus totals per al MCSC.

Taula B10.12. Superfícies ocupades pels principals usos del sòl i la seva evolució entre 1987 i 1997.

Font: elaboració pròpia a partir dels mapes d'usos del sòl 1987, 1997 de l'Institut Cartogràfic de Catalunya, obtinguts d'imatges LANDSAT i del Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya (MCSC) de l'any 1993 (DMA-CREAF, 2002).

Unes eines recents que poden ser molt útils per conèixer la potencialitat dels sòls de Catalunya a l'hora d'emmagatzemar carboni, són els mapes de sòls que va elaborant el DARP (<http://www.gencat.es/darp/sols.htm>), i el Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya DMA-CREAF (<http://www.creaf.uab.es/mcsc/>). A cada tipus de sòl o unitat cartogràfica se li pot assignar una capacitat de mitigació dels efectes dels gasos amb efecte d'hivernacle, així com un factor d'emissió determinat. Això permetria fer una primera aproximació basada en la realitat del territori català. Tot i ser més precís, el Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya de l'any 1993 no diferencia entre conreus de regadiu i de secà, aspecte molt important a considerar en la gestió de sòls agrícoles des del punt de vista dels efectes del canvi climàtic.

B10.3.1. Estimacions del contingut de matèria orgànica dels sòls en funció de diferents usos i superfícies ocupades

La taula B10.13 (vegeu també la taula B10.8) posa de manifest que els continguts de C orgànic venen condicionats per l'ús, el tipus de sòl i l'altitud. D'aquestes dades es dedueix clarament l'increment notable secà/regadiu i també entre cultius, essent la pitjor situació la dels arboris de secà. En els diferents sistemes agrícoles considerats, la variació interna és similar (CV= 25-40%). Es disposa de poques dades de l'efecte d'algunes pràctiques agrícoles que incrementen el contingut de matèria orgànica, a més del reg. En el cas del no conreu en fruiters de regadiu, s'observa un cert increment, però la base de dades és insuficient. En el cas de l'aplicació d'adobs orgànics, els incre-

Ús o tipus de conreu	Superfície (ha) ⁽¹⁾	Rendiment ⁽²⁾ (Mg ha ⁻¹)	COS (Mg ha ⁻¹)	CIS (Mg ha ⁻¹)	Font	Observacions
Cereals	343.695					
Secà	257.396		28,8		Sabrià, 1991	Isona
			32,6	70,4	DARP, 1991	Berguedà
			31,8	110,8	DARP, 1990	Segarra
			29,6	134,6	DARP, 1992	Vall del Corb, Urgell També inclou vinya
			24		LAF, 1994	Segarra
			70,4	7,5	Sierra, 1987	La Cerdanya
Blat de moro	5.868	6.948				
Blat	64.124	2.704				
Ordi	172.322	2.481				
Regadiu	86.299	-	33,6	93,8	DARP, 1990	Extensions de regadiu. Pla de Lleida
			38,4		Torres (1994)	Orgànic. Pla de Lleida
			30,4		Torres (1994)	Mineral. Pla de Lleida
			40		LAF, 1995	Orgànic. Segrià
			32		LAF, 1995	Regadiu. Segrià
Blat	19.292	4.490				
Blat de moro	26.737	10.698				
Arròs	21.595	6.189				
Alfals						
Secà	19.026	21.548				
Regadiu	33.878	57.436				
Altres farratges	60.088		72	1,0	Sierra, 1987	Plana. La Cerdanya
Hortícoles i tubercles						
Secà	3.253		36,2			
Regadiu	22.497		37,9		Virgili, 1994	Maresme
			36,5		DARP, 1990	Viladecans
Fruita dolça	56.285		35,8	86,4	DARP, 1997	Regadiu. Pla de Lleida
					DARP, 1998	Pla de Lleida
Cítrics	8.486					
Olivera	128.102					
Fruits secs	92.665					
Ametllers	69.389					
Avellaners secà	8.969					
Avellaners reg	13.471		22,6	20,1	DARP, 1997	Camp de Tarragona
Vinya	64.625		23,5	93,8	DARP, 1991	Alt Penedès
			20,5	173,7	DARP, 1991	Conca de Barberà
Prats naturals	38.600					
Pastures	126.547		56		MAPA, 2000	

(1) Superfícies dels principals usos del sòl, DARP, 1986.

(2) Rendiment d'alguns cultius, DARP, 1996.

Nota: Els valors han estat calculats considerant una densitat aparent de 1.400 kg/m³ i 20 cm de fondària, que és com originalment es van prendre les mostres en la majoria dels casos. Les referències DARP i any corresponen als treballs de l'Inventari de Sòls de Catalunya. Les referències LAF a estudis del Laboratori d'Anàlisi i Fertililitat (Sidamón) Lleida.

Taula B10.13. Continguts de C orgànic (COS) i C mineral (CIS) en els horitzons superficials dels sòls a Catalunya, en funció del tipus d'ús agrícola
Font: elaboració pròpia a partir de les fonts citades a la taula.

ments són clars però s'ignora l'eficiència amb què han estat assolits. Un fet notable en aquest cas és que no s'observen increments per sota 20 cm (Torres, 1994). Una altre aspecte a remarcar és la magnitud del reservori de C mineral enfront del C orgànic. En qualsevol cas caldria disposar de xarxes de seguiment del carboni edàfic a llarg termini per poder millorar les estimacions sobre els canvis en aquest reservori (Falloon, 2003).

B10.3.2. Establiment d'escenaris representatius de diferents usos agraris del sòl

A Catalunya hi ha uns models predominants d'agricultura i silvicultura que poden servir de referència a l'hora de proposar possibles actuacions de mitigació dels efectes del canvi climàtic (vegeu capítol B5 d'aquest llibre). Es poden considerar els següents escenaris en l'àmbit agrícola:

- 1) Conreu de conservació
- 2) Adobat mineral
- 3) Adobat orgànic
- 4) Reg
- 5) Conreu de conservació + adobat mineral
- 6) Conreu conservació + adobat mineral + adobat orgànic
- 7) Conreu de conservació + adobat orgànic
- 8) Conreu de conservació + adobat orgànic + reg
- 9) Crema de rostolls
- 10) Incorporació de rostolls.

La taula B10.14 recull els trets característics i les línies d'actuació possibles.

B10.3.3. Models de predicció dels fluxos de carboni i nitrogen

Amb relació a la dinàmica d'elements relacionats amb els gasos amb efecte d'hivernacle (C i N), els models que els contemplen són essencialment models d'estudi de la matèria orgànica del sòl. Els canvis climàtic i d'ús i de gestió del sòl poden actuar sobre les taxes de mineralització i estabilització de la matèria orgànica. La capacitat de predir i avaluar aquests canvis és essencial per a la valoració de les conseqüències que poden tenir sobre el balanç d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. En aquest context, s'ha plantejat la utilització de models matemàtics per predir els efectes de canvis ambientals, assajar escenaris de gestió o de canvis d'ús del sòl i, fins i tot, desenvolupar estratègies per mitigar els efectes del canvi climàtic.

Els principals problemes associats a la utilització de models es deriven de la seva especificitat. És a dir, sovint han estat parametritzats i validats per a un tipus de sòl, d'ús i de condicions climàtiques molt concretes. Per tal d'establir un marc de treball comú entre els investigadors que utilitzen aquests models i, en particular, validar-los en situacions diferents, a mitjans dels 90 es va

Ús del sòl	Àrea geogràfica	Precipitació (mm)	Temperatura (°C)	Tipus de sòl dominant	Producció gra/palla (t/ha)	Contingut m.o. al sòl (%)	Escenaris possibles
Cereals d'hivern	Depressió Central Catalana	500	13	Orthent	5,6/6,3	2	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
Blat de moro	Depressió Central Catalana	350	14,5	Fluvent	12,3/24,7	2,1	1, 2, 3, 5, 7
Fruiters de secà	Depressió Central Catalana	350	13	Xerept		1,2	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
Arròs	Delta de l'Ebre	550	16	Fluents	7,3/-	3,2	2, 3, 4, 9, 10

Taula B10.14. Alguns escenaris agrícoles representatius a Catalunya per l'atenuació del canvi climàtic. Font: elaboració pròpia.

establir la xarxa SOMNET (*Soil Organic Matter Network*) (Smith, 1994). La SOMNET s'emmarca dins del Focus 3 del Programa GCTE (*Global Change and Terrestrial Ecosystems*) i participa, junt amb l'OECD, en el grup de treball de l'IPCC sobre metodologies per a la realització dels inventaris nacionals de CO₂. Reconeix la matèria orgànica del sòl com a agent i pacient del canvi climàtic i es fixa com a objectius la validació de models matemàtics mitjançant l'ús de bases de dades procedents d'experiments de llarga durada, així com la generació de models de simulació del comportament de la matèria orgànica del sòl (GCTE, 2002).

En els seus inicis, la SOMNET va disposar de 12 bases de dades, que corresponien a diferents experiments a llarg termini desenvolupats en diferents usos del sòl (agrícola, forestal, pastures), zones climàtiques i pràctiques de gestió. Dels nou models disponibles inicialment, només quatre van poder simular tots els usos del sòl per als quals existien dades (RothC, NCSOIL, CENTURY i SOMM). A aquest grup es podien afegir altres models que van presentar una bona adaptació a les bases de dades disponibles (DAISY, CANDY i DNDC) (GCTE, 2003a). Les bases de dades de la SOMNET han estat utilitzades, també, per avaluar el potencial de segrest de carboni dels sòls d'Europa. Els estudis efectuats indiquen un potencial de segrest de carboni dels sòls agrícoles que correspon aproximadament a un 10% de les emissions europees anuals.

Actualment, SOMNET compta amb bases de dades corresponents a 120 experiments de llarga durada, distribuïts arreu del món, i més d'una trentena de models aplicables (GCTE, 2003b). Les bases de dades són utilitzades, entre altres, per parametritzar i validar els models disponibles per a diferents usos del sòl, pràctiques de gestió i característiques climàtiques. Així, aquests models poden ser utilitzats posteriorment per a la simulació d'escenaris concrets i valorar els efectes dels canvis en els usos i la gestió del sòl.

La utilització de models matemàtics ha ressaltat que l'augment de temperatures provoca un increment en la mineralització de la matèria orgànica del sòl (Lomander et al., 1998; Reichstein et al., 2000; Fang i Moncrieff, 2001), efecte que també pot ser produït per determinades pràctiques agrícoles, com el monocultiu (Huggins et al., 1998) o el guaret continu (Mikhailova et al., 2000). Aquests factors que incrementen la mineralització de la matèria orgànica i, en conseqüència, l'emissió de GEH, poden ser compensats per pràctiques de conreu com la llaurada mínima, la fertilització del sòl i la incorporació de les restes del cultiu, tal com mostren els resultats obtinguts per la modelització (Huggins et al., 1998).

En aquest sentit la fertilització mineral, combinada amb fems i adobs minerals, sembla que afavoreix un segrest de carboni més gran que no pas l'adobat estrictament mineral o orgànic (Powlson et al., 1998) i que l'ús de residus estabilitzats, com el compost, presenta una mineralització més petita que els residus no estabilitzats d'origen animal o vegetal (Thuriès et al., 2001). Aquests resultats estan d'acord amb els obtinguts per Evrendilek i Wali (2001), que afirmen que les incorporacions de compostos de carboni constitueixen la principal font de control de la quantitat de matèria orgànica al sòl. No obstant això, la certesa d'aquesta afirmació sembla que pot tenir un límit en boscos madurs (Foster i Morrison, 2002).

Malgrat els esforços realitzats, generalment en el marc de SOMNET, per a la validació de models matemàtics sobre la dinàmica del carboni i del nitrogen en els sòls, aquests models han estat poc aplicats als sòls i a les condicions climàtiques de Catalunya. Rovira (2001) ha demostrat recentment la capacitat dels sòls mediterranis per emmagatzemar carboni, tot utilitzant un model que simula processos de transport i la redistribució vertical de matèria orgànica, una de les limitacions que presenten habitualment els models que pretenen extrapolar resultats pun-

tuals a la totalitat del perfil o del paisatge (Pennock i Frick, 2001). Adequant-se a les condicions climàtiques de Catalunya, Sabaté et al. (2002) han desenvolupat el model GOTILWA+, que reconeix l'important efecte de les relacions hídriques i, per tant, de les sequeres mediterrànies com a factor limitant del desenvolupament dels ecosistemes i de la dinàmica del carboni (vegeu el capítol B9).

La informació que aporten tots aquests models és útil per visualitzar els processos edafogènics que afecten els cicles del C i l'N. La integració de la informació és objecte de treballs més amplis com el *Global Carbon Project* (Canadell et al., 2003).

B10.3.4. Efectes del canvi d'ús sobre els fluxos i reservoris

L'aforestació de sòls agrícoles és un dels canvis d'ús més estudiats en els darrers anys. S'ha demostrat que aquesta transformació redueix les emissions de CH₄ i N₂O (Ball et al., 2002), probablement per la immobilització de matèria orgànica en formes estables (Ingram i Fernandes, 2001).

En sistemes agraris, també s'ha demostrat que la transformació d'agricultura convencional a orgànica redueix les emissions de GEH per unitat de superfície, malgrat que aquesta reducció no és aparent en termes d'emissions per unitat de producció (Flessa et al., 2002). Cal tenir en compte, però, que els sòls rics en matèria orgànica poden presentar pics d'emissions de GEH a causa d'alternances d'humectació-dessecació o de gel-desgel (Priemé i Christensen, 2001), condicions –sobretot les primeres– que no són estranyes a Catalunya. Aquestes emissions són molt més importants en sòls agrícoles que no pas forestals (Teepe et al., 2000).

Una possible via per fomentar el segrest de carboni i de nitrogen al sòl i, per tant, reduir les emissions netes de GEH, és la utilització d'esmenes orgàniques per a la recuperació de sòls de-

gradats. Aquesta pràctica, malgrat que utilitza residus orgànics fàcilment mineralitzables, es tradueix en un increment dels continguts de matèria orgànica del sòl i, per tant, en la immobilització de quantitats apreciables de C i N (Navas et al, 1999; Ortiz i Alcañiz, 2001).

Guo i Gifford (2002) han recopilat els resultats obtinguts en més de 70 treballs publicats en relació als efectes del canvi d'ús del sòl sobre l'emmagatzematge de carboni. Malgrat les importants diferències metodològiques en aquests tipus de treballs, que fan que els resultats que s'han revisat hagin de ser presos amb precaució, els autors conclouen, entre d'altres aspectes, que la transformació de pastures a pinedes implica pèrdues en la quantitat de carboni emmagatzemat. Passa el contrari en la transformació a boscos de fulla ampla, on el canvi cap a cultius implica una reducció d'un 50%, aproximadament, especialment en els horitzons més superficials. Quan aquest ús reverteix a plantacions o a boscos secundaris, es produeix una recuperació notable de la quantitat de carboni emmagatzemada. Els resultats més clars d'aquest estudi es mostren a la figura B10.5.

B10.4. Efectes del canvi climàtic sobre el sòl

A partir de les previsions d'increment de temperatura i de modificacions del règim de precipitacions citades al darrer informe de l'IPCC (2001), és molt difícil poder fer un pronòstic sobre el grau d'afectació a què estaran sotmesos els diferents sòls de Catalunya, amb diversa sensibilitat o vulnerabilitat als probables canvis, i més encara si considerem la gran variabilitat a escala regional o local en què poden produir-se en un país d'una orografia tan accidentada com és Catalunya. Tanmateix, la fragmentació del territori per la densa xarxa viària o la forta urbanització que hi ha en algunes zones i els canvis en els seus usos poden tenir un paper més rellevant sobre els sòls que el mateix canvi climàtic (i, en molts casos, agreujar-ne les conseqüències).

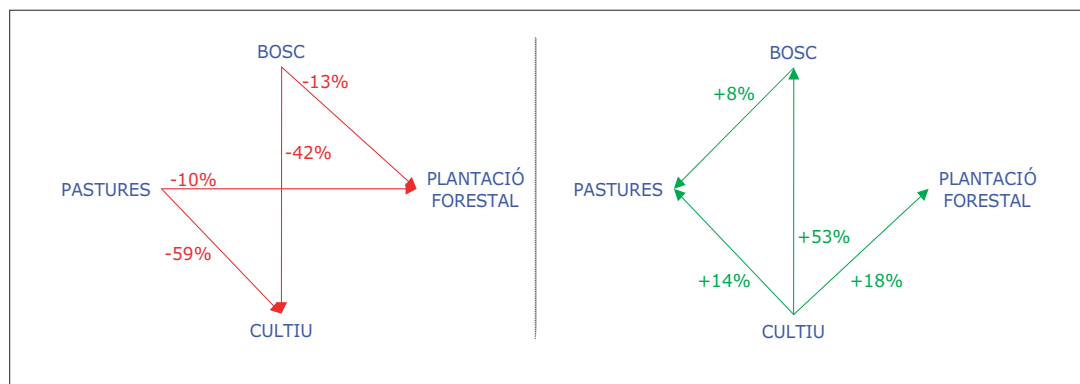


Figura B10.5. Principals efectes dels canvis en els usos del sòl sobre l'emmagatzematge de carboni. A l'esquerra de la imatge, en vermell, s'han dibuixat les transformacions que provoquen una reducció en els continguts de carboni, mentre que a la dreta, en verd, les que generen increments en la quantitat de carboni emmagatzemada.

Font: elaboració pròpia a partir de Guo i Gifford (2002).

B10.4.1. Modificacions dels règims de temperatura i humitat del sòl

La majoria dels processos físics, químics o biològics que es realitzen en el sòl (vegeu taula B10.1.) tenen una cinètica molt sensible als règims d'humitat i de temperatura, però atesa la capacitat esmorteïdora que té un sistema tan complex com és aquest, és molt probable i, per tant, previsible que la resposta tingui lloc molt lentament. Per arribar a condicions d'equilibri, els processos edàfics necessiten temps, però s'ha demostrat que existeix una gran variabilitat temporal, des de minuts fins a milers d'anys (Amacher, 1991). Tanmateix, per a la formació i diferenciació d'alguns horitzons molt freqüents en els sòls de Catalunya també calen milers d'anys (Alcañiz et al., 2005). Previsiblement, els processos biològics del sòl seran els més afectats.

A grans trets, pot suggerir-se la probabilitat que es produeixin les modificacions següents en alguns ambients: en aquells indrets on es redueixi (o simplement es mantingui) el règim de precipitacions, es pot incrementar l'aridesa, fet que afavorirà l'erosió i/o la salinització dels sòls. Aquest darrer supòsit es produiria en els sòls que s'hagin originat sobre materials salins o es trobin localitzats en zones afectades per sobre-explotació d'aqüífers que han sofert intrusions

marines. El fet que es produís algun d'aquests processos tindria repercussions sobre la coberta vegetal, que es reduiria, i com a conseqüència disminuiria el contingut en matèria orgànica dels sòls i la biodiversitat edàfica. Aquesta seqüència de canvis conduirien els sòls cap a un estadi de desertificació. En la figura B10.6 es representa el conjunt de propietats del sòl que es poden veure afectades en el temps per les modificacions associades al canvi climàtic.

Un impacte previsible del canvi climàtic sobre els sòls mediterranis és la pèrdua de matèria orgànica per increment de mineralització i disminució de les aportacions de la vegetació. Atès que molts dels sòls de Catalunya ja en són pobres, aquesta pèrdua pot tenir efectes en cadena sobre propietats físiques com l'estabilitat de l'estructura, el risc d'erosió o la disminució de les taxes d'infiltració, entre altres.

B10.5. Gestió del sòl per atenuar els efectes del canvi climàtic

La gestió del sòl va més enllà del que és el conreu dia a dia, i té a veure molt amb els canvis d'ús a un termini mitjà i llarg que poden influir en el segrest de C, com per exemple va succeir amb els canvis lligats a l'expansió del cultiu de la vinya a finals segle XIX, l'abandonament poste-

rior, el canvi a pastures i boscos de moltes de les terres de la muntanya mitjana en la segona meitat del segle XX, i les crisis d'incendis forestals dels darrers 25 anys, que han creat unes orientacions del flux de C cap el sòl que és bàsic considerar abans que tot, i que també són gestió.

De la mateixa manera, els canvis en la forma de treballar el sòl (període 1950-1960, introducció de la maquinària; període 1990-2000, expansió del cultiu mínim, manteniment de la coberta del sòl amb herbicides, etc.) i en la fertilització (període 1950-60, expansió dels adobs minerals; anys 80, ramaderia intensiva) conformen el marc d'uns processos –encara en curs– que determinen l'actual balanç d'emissions de C i N a l'atmosfera. Per tant, l'efecte del canvi d'ús va molt més enllà, i els seus efectes es deixen sentir en períodes de temps molt llargs abans no s'assoleixen noves situacions d'equilibri en el contingut de C orgànic al sòl.

B10.5.1. Grans línies d'actuació

Cal tenir una visió holística d'aquesta gestió del sòl, en diversos aspectes:

- 1) Els sistemes agraris no estan isolats, sinó que interaccionen amb el seu entorn més immediat. Per exemple, el grau de reciclatge a través del sòl de les matèries orgàniques dels RSU i fangs de depuradores afecta molt el balanç d'emissions de CO₂ i N₂O. Caldria valorar en aquest cas, per exemple, el resultat de portar-los a l'abocador.
- 2) Dins d'un sistema agrari concret, augmentar el contingut de C al sòl o reduir les emissions no poden ser mai un objectiu absolut, sinó que caldrà combinar-ho amb objectius productius i econòmics.
- 3) Les estratègies de gestió de residus orgànics presentades com alternatives per a la lluita contra el canvi climàtic han de ser avaluades de manera global (per exemple, el compostatge).

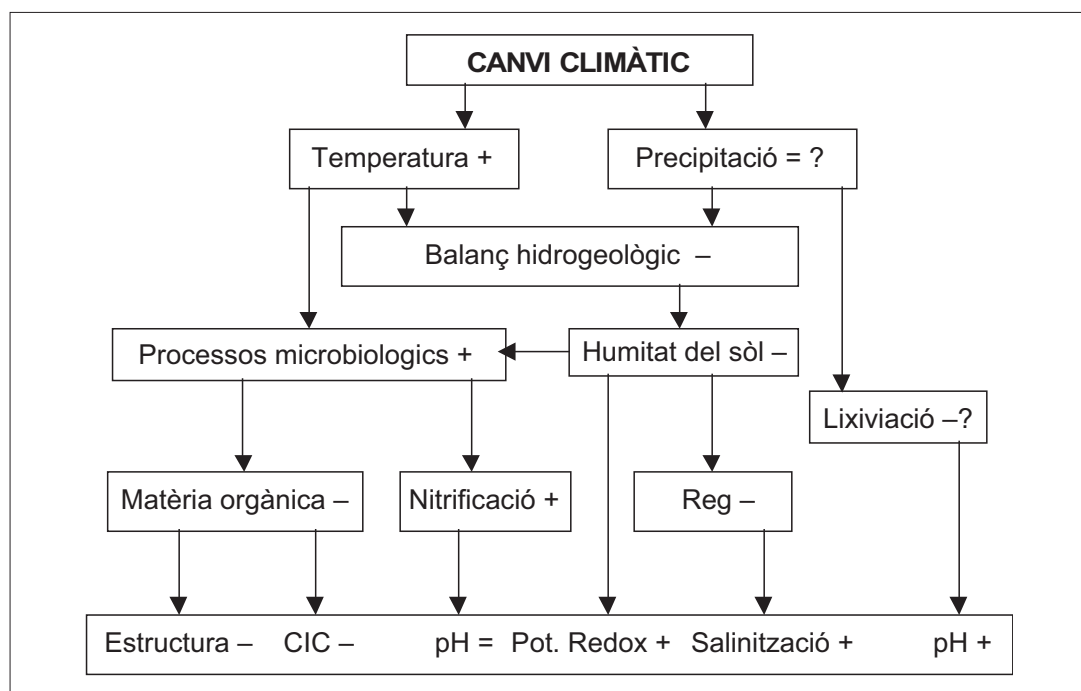


Figura B10.6. Seqüència d'esdeveniments que el canvi climàtic pot ocasionar als sòls. Els signes indiquen la possible tendència del procés afectat (+ increment, - pèrdua o disminució).

Font: modificat a partir de Stigliani et al., 1991.

4) Els efectes finals de moltes pràctiques agràries de gestió del sòl que afecten al canvi climàtic són, en molts casos, de resultats ambientals contradictoris. Caldrà avaluar i valorar els resultats globals assolits.

B10.5.2. Minimització de les emissions de GEH i optimització del segrest de carboni

Partint de la revisió realitzada fins ara, l'estratègia d'atenuació del canvi climàtic a través de la gestió del sòl passa per maximitzar l'acumulació de C orgànic al sòl i minimitzar les emissions d' N_2O i CH_4 .

Les possibilitats d'acumular C mineral al sòl, tal com s'ha posat de relleu anteriorment, són incertes, d'una magnitud desconeguda, si bé presumiblement escassa, i difícilment gestionables. És per això que no s'inclouen en aquest apartat, per més que en algun moment s'hi faci referència.

B10.5.2.1. Minimització de les emissions d' N_2O

La contribució dels sòls a l'emissió total d' N_2O és del 90%. Per una altra banda, les quantitats emeses encara no són del tot conegudes, tot i que en general es poden relacionar amb les quantitats totals d'N aplicades en una determinada superfície.

Els factors clau que controlen els processos d'emissió d' N_2O estan lligats a:

- L'existència de condicions reductores, a la totalitat del sòl o en microllocs o, si més no, continguts d'aigua que superin el 15% de l'espai de porus del sòl.
- L'abundància de nitrats com a substrat per a la desnitrificació.
- La matèria orgànica fàcilment disponible.

Les possibilitats d'actuació se centren, doncs, en:

- Utilitzar el nitrogen aplicat al sòl de la forma més eficient possible, evitant l'acumulació excessiva de nitrats al sòl.

- Maximitzar l'eficiència en l'ús de l'N dins dels sistemes agraris, assegurant el màxim de reciclatge.
- Gestionar el reg i el drenatge de manera combinada amb la fertilització de manera que siguin mínimes les situacions que condueixen a la desnitrificació.

Certes pràctiques agràries que en una primera aproximació podria semblar que afavoreixen la desnitrificació (N_2O) –com, per exemple, adob mineral vs adob orgànic, reg a tesa vs reg localitzat, fems compostats vs purins– requereixen una curiosa avaluació en què es tinguin en compte aspectes temporals, espacials i de globalitat del procés.

Algunes pràctiques agràries, com el reg, que són tingudes com un dels factors de desnitrificació, són bàsiques per incrementar la productivitat i segrestar C al sòl. D'altra banda, alguns estudis realitzats indiquen que les emissions d' N_2O a partir de sistemes de reg no són necessàriament més elevades que les que es donen a partir de sistemes agraris en climes que no necessiten reg i, fins i tot, en sòls no cultivats (no adobats) en zones més humides. Tot i això, la incertesa de la magnitud de la desnitrificació i l'extensió d'aquesta (fins a N_2 o fins a N_2O) és gran.

Pel que fa al cultiu de l'arròs, important en algunes àrees catalanes, genera unes elevades taxes de desnitrificació, però és extremadament complicat adoptar mesures per disminuir-les sense afectar greument altres aspectes ambientals importants. La presència de sulfats en aquest sòls pot contribuir a reduir-hi les emissions. La contribució a la desnitrificació del cultiu de l'arròs, és majoritàriament en forma de N_2 , de manera que la seva rellevància com a cultiu contribuïdor a l'efecte d'hivernacle s'ha de modular en funció de la gestió de l'aigua i de la fertilització que es fa.

B10.5.2.2. Optimització del segrest del carboni

La magnitud de l'acumulació de C orgànic al sòl depèn de la magnitud de les entrades, que cal maximitzar, i de la minimització de les sortides.

Els continguts actuals de C orgànic de molts dels nostres sòls reflecteixen unes condicions d'equilibri lligades a un balanç *input-ouput* per a uns determinats règims d'humitat o temperatura i per a unes certes pràctiques de gestió. Aquests continguts totals de C orgànic són més baixos que en altres indrets més freds i humits a causa del règim d'humitat i temperatura naturals del sòl.

En bona part de Catalunya, el factor limitant per a la producció de biomassa que posteriorment s'humificarà és la disponibilitat d'aigua i això tant en sòls cultivats com en sòls que tenen una vegetació «natural». En aquest sentit, la introducció del reg és bàsica per incrementar l'entrada de biomassa al sòl i permetria augmentar el contingut de C orgànic.

En la línia de les entrades, cal parar atenció al destí que té la biomassa produïda. Moltes vegades és exportada, per diverses raons, com a subproducte de poc preu i no és retornada al sòl; en altres es dedica a combustible. En qualsevol cas, el destí d'aquesta biomassa s'ha d'avaluar curosament, també des del punt de vista del segrest del C. Finalment, és interessant analitzar el retorn d'altres materials humificables -com els residus orgànics urbans- al sòl, ja que poden contribuir a incrementar-hi el contingut de C orgànic.

També és interessant analitzar la qualitat de la virosta, ja que més qualitat pot significar més quantitat de C orgànic estable. Com a norma general, això és vàlid per la biomassa més lignificada i, per tant, una de les estratègies és permetre -sempre que sigui possible- que la vegetació arribi a aquest estadi abans d'incorporar-la al sòl.

En la gestió de la vegetació natural -des del punt de vista del segrest del C- interessen més aquells sistemes que tendeixen a acumular més C a l'interior del sòl, en detriment dels que ho fan en la biomassa aèria, més susceptible de passar a l'atmosfera a causa d'un incendi.

Els sòls amb més capacitat, pel que fa al segrest de C, són els de textura fina, amb uns continguts de C més baixos i a on es produeix un canvi que afavoreix l'acumulació de C. Per contra, en sòls que ja tenen un contingut elevat de C per les seves condicions edafoclimàtiques, és més difícil aconseguir-hi increments significatius de C.

El treball del sòl juga un paper fonamental en la mineralització de la matèria orgànica. Diversos autors han observat com el treball freqüent del sòl provoca una forta mineralització. En les condicions semiàrides que presenta per Catalunya, per tant, si el que es vol és acumular C orgànic cal reduir el treball del sòl al mínim possible.

De tot això es despren l'interès per les tècniques de no conreu, conreu mínim, etc. (conreu de conservació). El seu potencial és elevat, com ho posen de relleu nombrosos estudis. Partint de dades no publicades, facilitades per Cantero, sobre els diferents camps d'assaig que la UdL-IRTA té a la Segarra per estudiar els efectes del conreu sobre la matèria orgànica del sòl, és poden apuntar aportes de l'ordre de 500 kg COS ha⁻¹ any⁻¹ (sembra directa). Aquest valor es redueix a uns 170 kg per conreu mínim si es compara amb l'estàndard actual, que és un conreu de cultivador i subsolador. Si la comparació es fa a partir de la tècnica anterior, de vertedera i cultivador, aquests valors s'incrementen notablement.

Als secans àrids del Segrià, Tarragó et al. (1996) van observar -de manera similar a Cantero- com la sembra directa produeix una estratificació clara de la matèria orgànica, amb increments notables en superfície. En el conjunt del sòl, però, aquesta diferència no és evident. El que sí hi ha són diferències clares respecte al guaret químic amb sembra bianual, on l'acumulació de C orgànic és de l'ordre d'uns 350 kg C ha⁻¹ any⁻¹, posant així de relleu la importància del retorn de la biomassa al sòl. Aquestes tècniques tenen en certs casos una elevada dependència dels herbicides, però també hi ha la possibilitat de

dur-les a terme, almenys en part, per mitjans mecànics.

El segrest del C orgànic al sòl és més o menys permanent en funció del seu grau d'integració amb la matèria mineral. D'aquí la importància de la textura del sòl. S'ha de tenir present que aquest segrest de C al sòl és més intens als primers anys, i disminueix amb el pas del temps. Alguns autors han afirmat que la formació de microagregats és un procés tan important com la fotosíntesi. Sense caure en aquests extrems, però, aquesta forma de segrest físic representa un segrest a molt llarg termini.

A un altre nivell, el fet que molts dels sòls catalans tinguin un llarg historial de cultiu permet pensar que el C orgànic que contenen es troba en formes molt estables i, per tant, no és probable una ràpida descomposició d'aquestes davant, per exemple, el canvi climàtic. A aquest fet hi contribueix l'abundància d'una gran quantitat de Ca al sòl, que fa més estables els agregats i els compostos húmics.

En general, en totes aquelles pràctiques agràries que afavoreixin la creació de biomassa s'ha de considerar si el que es busca és el segrest del C orgànic, no perdent de vista que en les condicions climàtiques de Catalunya, de subhúmedes a àrides, la producció de biomassa en termes d'aigua té uns costos més elevats que en altres indrets més humits, com per exemple al nord d'Europa.

El reciclatge i el tractament o compostatge de residus redueixen l'emissió neta de gasos amb efecte d'hivernacle si es compara amb l'abocament de residus, a causa de la reducció d'emissions dels abocadors clàssics. Tanmateix, aquestes emissions es poden reduir millorant el disseny dels abocadors, on s'afavoreix l'oxidació o la recuperació del metà. A més, el segrest de carboni és màxim en els abocaments en condicions anaeròbiques, comparat amb l'aplicació de compost al sòl, que es mineralitzen més ràpidament.

La reducció màxima d'emissió de gasos s'associa quan es preseleccionen els residus en origen i es reciclen, es composten o es digereix anaeròbicament la resta. Si això no és possible, l'abocament sota condicions òptimes ofereix taxes d'emissió semblants. La incineració amb producció d'energia només representa una reducció d'emissió quan pot substituir energia procedent de combustibles fòssils (Smith et al, 2001).

En un últim nivell es poden situar pràctiques més radicals i que hom pot qualificar de conreu de C orgànic al sòl:

- El treball del sòl per enterrar horitzons on s'ha acumulat el C orgànic.
- El cultiu de plantes per a biomassa, que s'enterrarà al sòl.
- L'aplicació de polímers per estabilitzar la matèria orgànica.

La seva viabilitat requereix una avaluació acurada. La seva promoció es pot associar a mesures agroambientals lligades, o no, a la Política Agrícola Comunitària (PAC).

A nivell forestal, cal no sobreestimar la potencialitat del sòl per emmagatzemar carboni. Si bé tenim un predomini de boscos joves que fixen C i aporten matèria orgànica al sòl, no està tan clar que aquesta pugui quedar estabilitzada durant períodes llargs de temps, atesa la considerable activitat biològica dels sòls mediterranis. La producció d'humus és lenta i els seus efectes es veuen a llarg termini. El principal factor limitant dels sòls forestals està en la lenta incorporació de la matèria orgànica als horitzons minerals, on pot quedar protegida un termini més llarg. Rovira i Vallejo (2002) indiquen el limitat transport vertical de carboni des de la superfície cap a l'interior dels horitzons A en sòls forestals mediterranis. Els sòls forestals d'alta muntanya estan ja en una situació propera a l'equilibri orgànic, de manera que no són embornals importants a mitjà termini. Cal diferenciar les zones d'expansió del bosc sobre camps abandonats,

on sí es pot incrementar la matèria orgànica del sòl.

L'aforestació amb *Pinus radiata* en diferents conreus abandonats ocasiona un segrest de C de 100 kg any⁻¹ en els 5 primers cm del sòl. L'enriquiment en C és molt superior en la virosta, amb valors d'entre 190 i 410 kg ha⁻¹ any⁻¹, respectivament, en antics conreus de cereals i de vinya. Les diferències s'atribueixen al millor estat en elements nutritius dels antics sòls de vinya. Els diferents models emprats per quantificar aquestes estimacions (Romanyà et al., 2000) permeten afirmar que en 20 anys el potencial de segrest serà d'entre 700 i 950 kg de C per hectàrea i any, valors més importants que els que s'obtinrien en boscos autòctons de *Quercus ilex*.

Els incendis forestals suposen un retorn ràpid de carboni a l'atmosfera però, en contrapartida, deixen un residu de carbó que representa un carboni altament recalcitrant que quedarà molt de temps en el sistema. A Catalunya, la importància d'aquest fenomen no ha estat, encara, prou ben estudiada.

B10.5.2.3. Minimització de les emissions de metà

A Catalunya, les àrees de producció de metà a partir del sòl són els arrossars i els aiguamolls, i els principals factors de control semblen ser l'existència de perllongades condicions de reducció, força elevades, i la disponibilitat de C orgànic làbil.

Les mesures de control s'haurien d'adreçar als arrossars, ja que per altres aspectes ambientals es considera que la recuperació dels aiguamolls és bàsica. En els arrossars aquestes mesures s'haurien d'adreçar al control del règim hídric, disminuint les condicions de reducció, i a la disminució de les disponibilitats del C làbil.

Cal recordar, també, que els sòls forestals són eficients embornals de CH₄ com a conseqüència dels bacteris metanotròfics que contenen.

Pràctica
<ul style="list-style-type: none"> Incrementar les entrades de materials orgànics de qualitat al sòl (restes de collita, fems, etc.), afavorint la productivitat mitjançant bones pràctiques de reg, fertilització, etc.
<ul style="list-style-type: none"> Maximitzar el retorn de residus orgànics humificables al sòl.
<ul style="list-style-type: none"> Afavorir la producció de biomassa que segresti més C per unitat de superfície.
<ul style="list-style-type: none"> Primar les aportacions de material humificable en aquells sòls on el segrest sigui més gran.
<ul style="list-style-type: none"> Gestionar el bosc per assegurar el màxim de matèria orgànica al sòl en detriment de la biomassa aèria.
<ul style="list-style-type: none"> Minimitzar el treball del sòl, adoptant tècniques de no conreu, conreu mínim, conreu de conservació, etc.
<ul style="list-style-type: none"> Revegetació d'àrees marginals i denudades.
<ul style="list-style-type: none"> Permetre la instal·lació de vegetació herbàcia (natural o sembrada), sempre que sigui possible, especialment en els cultius arboris.

Taula B10.14. Propostes per optimitzar el segrest del C al sòl.
Font: elaboració pròpia.

B10.5.3. Normatives i estratègies d'actuació

La Comissió Europea ha preparat estratègies d'actuació sectorials i transversals per a la prevenció, protecció i conservació del medi ambient i moltes d'elles s'han convertit en normatives de compliment obligatori per part dels estats membres, els quals han fet les transposicions pertinents per adaptar-les al règim legislatiu corresponent. El fet que Catalunya hagi rebut un traspàs important de competències ha estat motiu que s'hagi generat també molta legislació.

L'annex 1 recull, de forma abreujada, la normativa generada per la Comissió Europea que afecta els sòls en allò que fa referència directa o indirecta al canvi climàtic. Per la seva actualitat es pot destacar la Comunicació de la Comissió titulada *Cap a una estratègia temàtica per a la protecció del sòl* (COM/2002/179 final), on s'apunten les principals amenaces actuals al sòl, algunes de les quals tenen relació amb els possibles efectes del canvi climàtic.

B10.6. Conclusions

Per poder fer un inventari de C en el sòl i de les seves emissions de GEH cal integrar informació molt dispersa, heterogènia i incompleta, de manera que les estimacions actuals són bastant incertes. Tot i la informació de sòls disponible i els estudis realitzats fins ara en el camp de l'agricultura i el medi ambient, pocs tenen l'orientació necessària per donar resposta a les necessitats de predicció dels efectes del canvi climàtic sobre el sòl. D'altra banda, la important diversitat de sòls a Catalunya limita la validesa de les estimacions globals de fluxos de GEH que no tenen en compte aquest fet i posa de manifest la necessitat de completar els inventaris de sòls.

Els principals riscos de degradació del sòl lligats al canvi climàtic estan associats a processos biològics i erosius. Per la llarga tradició agrícola de bona part dels sòls de Catalunya, on la matèria orgànica és escassa però estabilitzada, la seva pèrdua es produirà a un ritme lent. L'increment de la salinitat pot tenir importància local en zones determinades, però no de manera generalitzada.

El grau de coneixement que es té sobre el funcionament del cicle del C en el sòl podria permetre unes primeres estimacions sobre la quantitat de C que es podria segrestar en un termini comprès entre 10 i 100 anys en determinats escenaris significatius per a Catalunya. Tot i així, existeix un elevat grau d'incertesa sobre aquests valors i sobre la velocitat amb què aquest segrest es pot produir per manca d'una xarxa de seguiment d'aquest tema en l'àmbit català.

En conjunt, els sòls de Catalunya tenen un potencial de segrest de C elevat, tot i que la manca d'aigua en limita les entrades i la seva estabilització en forma d'humus al sòl. El reg és una de les pràctiques més efectives per augmentar les reserves de carboni al sòl, de manera que els sòls de les noves àrees regables es poden convertir en bons embornals de C. La limitació de les reserves d'aigua pot hipotecar aquestes previsions.

L'increment d'aridesa, que és possible que vagi associada al canvi climàtic, farà poc viable la implantació generalitzada a Catalunya de cultius de biocombustibles (com a alternativa als combustibles fòssils), ja que la disponibilitat d'aigua de reg és limitada. Els efectes d'un increment d'aridesa sobre el cicle del C en sòls forestals podrien quedar prou ben avaluats amb l'aplicació de models com el GOTILWA+, desenvolupat per als boscos de Catalunya.

El segrest de carboni en els sòls és quasi sempre de millor qualitat que en la biomassa, ja que el seu temps de residència és més llarg, sigui per estabilització en forma de substàncies húmiques, per protecció física en associacions amb minerals o en forma de carbó procedent dels incendis recurrents i pràctiques de crema. Des del punt de vista de la mitigació dels efectes dels GEH, el segrest de carboni amb una residència menor a 10 anys no s'hauria de considerar com a tal.

La textura del sòl és una propietat molt important a l'hora de considerar la capacitat de segrest de C estable en els sòls, més important en els sòls francs i argilosos. Als sòls de Catalunya, la protecció física de la matèria orgànica i la carbonització sembla que són dos dels processos que podrien incidir significativament en el segrest de carboni.

Es preveuen pèrdues lleugeres de matèria orgànica del sòl a termini mitjà com a conseqüència de l'increment de temperatura. Aquesta pèrdua pot tenir efectes en cadena sobre les propietats físiques del sòl i produir un increment de l'erosió, especialment a les zones de secà. Igualment, l'erosió pot comportar una exportació de matèria orgànica dels sòls afectats, fet que agreujarà el problema.

Les mesures dels fluxos superficials de CO₂, del sòl cap a l'atmosfera, presenten una gran heterogeneïtat i variabilitat en funció de les condicions ambientals i de mesura. Així, estimacions pun-

tuals donen taxes d'emissió mitjanes anuals de CO_2 entre 75 i 122 $\text{mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ en sòls forestals, mentre que s'han trobat valors de fins a 1200 $\text{mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ en parcel·les forestals de Catalunya.

Mesures puntuals d'emissions d' N_2O a Catalunya estan compreses entre 125 i 389 $\text{g N-N}_2\text{O ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$, fet que pot representar unes pèrdues entre 1,7 i 13,6% del N aplicat com a fertilitzant. Les entrades per deposició d'amoníac o d'òxids de N al sòl són de l'ordre de 5-25 $\text{kg N ha}^{-1} \text{ any}^{-1}$, fet que es pot considerar com una fertilització que hauria de ser considerada en els plans d'adobat.

Les bases de dades i models de predicció de la xarxa SOMNET poden ser una bona manera d'avaluar el potencial de segrest de C, sempre que es pugui subdividir el territori en sectors més homogenis pel que fa al tipus de sòl, i disposar de dades de cada zona diferenciada, conjuntament amb experiments de llarga durada que permetin un calibratge acurat dels models actualment disponibles.

Per extrapolació de dades generades en d'altres països en sòls equivalents, és previsible que les emissions de metà de fonts edàfiques siguin absorbides amb escreix pels sòls forestals. Les emissions de metà en sòls d'aiguamolls de Catalunya poden estar reduïdes per la presència de sulfats en aquells sòls.

De l'estudi del comportament al sòl dels GEH i de les possibilitats de gestió es conclou que, avui per avui, es pot intentar augmentar el segrest de C orgànic i atenuar les emissions de gasos nitrogenats. Això és així perquè, malgrat la magnitud del reservori de C inorgànic als nostres sòls, les possibilitats d'actuació per a un segrest del C en formes minerals són limitades en terminis de 20 o 100 anys i els efectes incerts.

Les activitats agràries constitueixen una font important del nitrogen que s'emet a l'atmosfera.

Les emissions es relacionen estretament amb les pràctiques de fertilització, especialment orgànica. Les emissions són especialment remarcables en sòls sorrencs i rics en matèria orgànica.

El canvi d'ús del sòl sembla ser la principal via per modificar el segrest de C, a un termini mitjà i llarg. Actualment, a Catalunya existeixen superfícies importants -boscós i altres àrees amb vegetació natural per sota 1.500 metres d'alçada que havien estat cultivades- que acumulen C orgànic al sòl, si bé manca una adequada quantificació. Són aquestes àrees, junt amb altres àrees agrícoles on es poden produir canvis substancials en la productivitat (biomassa) o en la gestió (conreu de conservació), que poden convertir-se en eficients embornals de C.

B10.7. Recomanacions o propostes d'actuació

1. Entre les mesures més immediates cal esmentar la necessitat de completar els inventaris de sòls de Catalunya per poder calcular unes taxes d'emissió de GEH i el potencial de segrest de carboni més ajustades a la realitat. Igualment, les mesures de mitigació han d'estar basades en les possibilitats de cada sòl, per la qual cosa és imprescindible completar el coneixement sobre aquest recurs natural.
2. Cal promoure estudis de base dels sòls de Catalunya per millorar el grau de comprensió i poder quantificar els processos edàfics que es veuen afectats o són agents del canvi climàtic. Com queda palès en aquest informe, la utilització de dades generades d'estudis de sòls del centre d'Europa o d'arreu del món té una utilitat limitada, i fa que els models de simulació de processos edàfics que utilitzen aquesta informació portin associada una gran incertesa en les prediccions.
3. La gestió dels fertilitzants nitrogenats pot ser molt més efectiva i viable que altres mesures en la mitigació dels efectes del canvi climàtic, ja que els òxids de nitrogen suposen una con-

- tribució específica del 89% en les emissions de GEH a partir de sòls. Cal aprofundir especialment en aquest tema i fer complir les mesures agroambientals i les bones pràctiques agrícoles establertes.
- Algunes de les pràctiques suggerides per atenuar els efectes del canvi climàtic requereixen una avaluació global i creuada amb altres pràctiques, ja que sovint presenten efectes contradictoris i en alguns casos els beneficis esperats no són clarament superiors a d'altres alternatives.
 - És necessari desenvolupar i aplicar pràctiques agràries en els aspectes relacionats amb l'ús eficient dels fertilitzants nitrogenats, el reciclatge de residus orgànics ramaders i urbans, combinat amb tècniques de conreu adequades per facilitar la integració i manteniment del carboni orgànic en el mateix sòl. En aquest sentit, les tècniques de conreu mínim, ecològic o de no conreu semblen les més adients per a aquells tipus de cultius on són aplicables. Per poder implementar aquestes tecnologies davant de l'agricultura convencional serà necessari establir incentius.
 - Cal establir i mantenir una xarxa de seguiment (monitorització) en parcel·les experimentals, adequada a les característiques dels principals sistemes agraris de Catalunya, on es quantifiquin els canvis, es mesurin els processos i es posin a punt les tecnologies. Igualment cal donar continuïtat a microconques i parcel·les forestals que monitoritzin propietats importants amb relació al canvi climàtic. Cal que aquestes àrees pilot s'integrin en les xarxes de seguiment estatals i europees.
 - Cal aprofitar els instruments de política agrària i ambiental per assegurar el segrest del C o fer una correcta gestió del sòl, primant aquelles pràctiques amb un efecte més destacat sobre el canvi climàtic.
 - És necessari endegar una campanya d'educació ambiental informativa dirigida als agricultors per implementar el Codi de Bones Pràctiques en relació al nitrogen d'ús agrari. Igualment, s'ha de sensibilitzar la població en general de la necessitat de consolidar la recollida selectiva de RSU per tal que puguin ser aprofitats, previ tractament, com a adobs per incrementar el contingut orgànic del sòl i reduir així les necessitats d'altres fonts de nitrogen.
 - Cal controlar millor l'aplicació generalitzada al sòl de fangs residuals utilitzant aquells que hagin sofert un procés d'estabilització que asseguri la permanència de la matèria orgànica i del nitrogen al sòl.

Referències bibliogràfiques

ALCAÑIZ J.M.; BOIXADERA J.; FELIPÓ, M.T.; ORTIZ, O.; POCH, R.M. (2005). «Els sòls». A: *L'estat del Medi Ambient a Catalunya*. UAB.

ALCAÑIZ, J.M.; ORTIZ, O. (2003). Avaluació dels treballs de rehabilitació de sòls en àrees afectades per activitats extractives a Catalunya: criteris de qualitat de la restauració. *ORSIS*, núm. 18, p. 63-75.

AMACHER, M.C. (1991). «Methods of obtaining and analyzing kinetic data». A: SPARK, D.L. i SUAREZ, D.L. (eds). *Rates of Soil Chemical Processes*. SSSA Special Publication n° 27. SSSA. Madison.

ANDERSON, J.M.; INGRAM, J.S. (eds) (1989). *Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods*. Wallingford: CAB International.

ANDERSON, N.; STRADER, R.; DAVIDSON, C. (2003). «Airborne reduced nitrogen: ammonia emissions from agriculture and other sources». A: *Environment International*, núm. 29 (2-3) p. 277-286.

ARAN, M.; PORTA, J.; VILLAR, J.M. (1985). *Estudio de suelos de la Cerdanya. Evaluación para el riego*. Lleida: IRDYA.

ARCARA, P.G.; GAMBA, C.; BIDINI, D.; MARCHETTI, R. (1999). «The effect of urea and pig slurry fertilisation on denitrification, direct nitrous oxide emission, volatile fatty acids, water-soluble carbon and anthrone-reactive carbon in maize-cropped soil from the Po plain (Modena, Italy)». *Biology and Fertility of Soils*, núm. 29, p. 270-276

- ÀVILA, A.; RODÀ, F. (1991). «Red rains as major contributors of nutrients and alkalinity to terrestrial ecosystems at Montseny (NE Spain)». *ORSIS*, núm. 6, p. 215-229
- ÀVILA, A.; RODRIGO, A.; RODÀ, F. (2002). «Nitrogen circulation in a Mediterranean holm oak forest, La Castanya, Montseny, northeastern Spain». *Hydrology and Earth System Sciences*, núm. 6, p. 551-557.
- BADIA, D.; ALCANIZ, J.M. (1996). «Response to $\text{NH}_4\text{-N}$ fertilization of Xeric Torriorthent soils from middle Ebro Basin (Spain)». *Fertilizer Research*, núm. 43, p. 217-221.
- BALESDENT, J.; SOUSSANA, J.F.; CIAIS, P.; ARROUAYS, D. (2002). «Cycle du carbone». A: *Expertise Scientifique Collective: Stocker du carbone dans les sols agricoles de France?* INRA. p. 45-56
- BALL, B.C.; MCTAGGART, I.P.; WATSON, C.A. (2002). «Influence of organic ley-arable management and afforestation in sandy loam to clay loam soils on fluxes of N_2O and CH_4 in Scotland». *Agriculture, Ecosystems and Environment*, núm. 90, p. 305-317.
- BATIONO, A.; BANI, S.P.; BIELDERS, C.L.; VLEK, P.L.G.; MOKWUNYE, A.U. (2000). «Crop residue and fertilizer management to improve soil organic carbon content». A: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; STEWART, B.A. (eds) *Global climate change and tropical ecosystems. Advances in Soil Science*. CRC Press. p. 117-146.
- BATJES, N.H., BRIDGES, E.M. (1992). *A review of soil factors and processes that control fluxes of heat, moisture and greenhouse gases*. Wageningen: International Soil Reference and Information Centre (Technical Paper, 23).
- BATJES, N.H. (1996). «Total carbon and nitrogen in the soils of the world». *European Journal Of Soil Science*, núm. 47 (2), p. 151-163.
- BERNOUX, M.; SANTANA CARVALHO, M.C.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C. (2002). «Brazil's Soil Carbon Stocks». *SSSAJ*, núm. 66, p. 888-896.
- BIRKELAND, P.W. (1999). *Soils and Geomorphology*. Oxford: Oxford University Press. (3a ed.).
- BLUM, W.E.H. (1998). «Soil degradation caused by industrialization and urbanization». *Advances in Geoecology*, núm. 31, 755-766; A: BLUME H.P. et al. (eds).
- BONILLA, D.; RODÀ, F. (1992). «Soil nitrogen dynamics in a holm oak forest». *Vegetatio*, núm. 99/100, p. 247-258.
- CANADELL, J.; DICKINSON, R.; HIBBARD, K.; RAUPACH, M.; YOUNG, O. (eds) (2003). *Global Carbon Project: Science framework and implementation*. Canberra: Earth System Science Partnership Report n°1, GCP Report n° 1.
- CASALS, P.; ROMANYÀ, J.; CORTINA, J.; BOTTLNER, P.; COÛTEAUX, M.M.; VALLEJO, R. (2000). « CO_2 efflux from a Mediterranean semi-arid forest soil. I Seasonality and effects of stoniness». *Biogeochemistry*, núm. 48, p. 261-281.
- CASTELLÓ, M. (1998). *Estudi de la matèria orgànica: Anàlisi de casos en el Solsonès*. Lleida: Universitat de Lleida, ETSE Agrària. (Treball Pràctic Tutorat).
- DARP, (1996). *L'agricultura a les comarques de Catalunya. Any 1996*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca.
- DMA – CREAM. (2002). *Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya* (1a ed.). <<http://www.cream.uab.es/mcsc/>>
- DREES, L.R.; WILDING, L.P.; NORDT, L.C. (2001). Reconstruction of soil inorganic and organic carbon sequestration across broad geoclimatic regions. A: LAL ET AL (ed). «Soil Carbon Sequestration and the greenhouse effect». *SSSA Special Pub.*, [Madison], núm. 57, p. 155-172.
- EC. (2003). *Annual European Community greenhouse gas inventory 1990-2001 and inventory report 2003* (Final draft, submission to the UNFCCC Secretariat). Technical report n° 95. <http://reports.eea.eu.int/technical_report_2003_95/en/tech_95.pdf>
- ECCP. (2001). *European Climate Change Program. Long Report*. <<http://www.europa.eu.int/comm/environment/climat/eccpreport.htm>>
- ECCP. (2003). *Working Group Sinks Related to Agricultural Soils, Final Report*. European Climate Change Program. <<http://www.europa.eu.int/comm/environment/climat/agriculturalsoils.htm>> <http://www.europa.eu.int/comm/environment/climat/forest_sinks_final_report.pdf>
- ENTRY, J.A.; SOJKA, R.E.; SHEWMAKER, G.E. (2002). «Management of irrigated agriculture to increase organic carbon storage in soils». *SSSAJ*, núm. 66, p. 1957-1964.
- ESTIARTE, M.; PEÑUELAS, J.; LLORENS, L.; RODÀ, F.; PRIETO, P.; LLUSIÀ, J. (2003). «Efectos del cambio climático (sequía i calentamiento) en los procesos del suelo de ecosistemas arbustivos». A: *Actas del Congreso de la Asociación Española de Ecología Terrestre*. Bellaterra, junio 2003 (CD rom).
- ESWARAN, H.; REICH, P.F.; KIMBLE, J.M.; BEINROTH, F.H.; PADMANABHAN, E. i MONCHAROEN, P. (2000). «Global carbon stocks». A: LAL R, KIMBLE JM, ESWARAN H i STEWART, B.A. (eds). *Global climate*

- change and pedogenic carbonates. Lewis Publishers, p. 15-26.
- EuroCARE. (2002). *Towards an Analytical Capacity in Costing of Abatement Options for Forestry and Agricultural Carbon Sinks*. European Commission. DG Environment.
- EVRENDILEK, F.; WALI, M. K. (2001). «Modelling long-term C dynamics in croplands in the context of climate change: a case study from Ohio». *Environmental Modelling and Software*, 16, p. 361-375.
- EXPERTISE SCIENTIFIQUE COLLECTIVE (2002). *Stocker du carbone dans les sols agricoles de France?* INRA.
- FALLOON, P. (2003). «Accounting for changes in soil carbon under the Kyoto Protocol: need for improved long-term data sets to reduce uncertainty in model projections». *Soil Use and Management*, núm. 19(3), p. 265.
- FANG, C.; J. B. MONCRIEFF. (2000). «The dependence of soil CO₂ efflux on temperature». *Soil Biology and Biochemistry*, núm. 33, p. 155-165.
- FANGMEIER, A.; HADWIGER-FANGMEIER, A.; VAN DER EERDEN, L.; JÁGER, H.-J. (1994). «Effects of atmospheric ammonia on vegetation—a review». *Environmental Pollution*, núm. 86, p. 43-82.
- FAO 1991. The digitized soil map of the world. World Soil Resources Report 67/1 (Release 1.0). Roma: Food and Agriculture Organization.
- FAO 2001. «Soil Carbon Sequestration for Improved Land Management». World Soil Resources Report n. 96. Roma: Food and Agriculture Organization.
- FLESSA, H.; RUSER, R.; DORSCH, P.; KAMP, T.; JIMENEZ, M. A.; MUNCH, J. C.; BEESE, F. (2002). «Integrated evaluation of greenhouse gas emissions (CO₂, CH₄, N₂O) from two farming systems in southern Germany». *Agriculture, Ecosystems & Environment*, núm. 91 (1-3), p. 175-189.
- FORÉS, E. (1989). *Cicles del Nitrogen i del Fòsfor en el sistema dels arrossars del Delta de l'Ebre*. Barcelona: Universitat de Barcelona. (Tesi Doctoral).
- FOSTER, N. W.; MORRISON, I. K. (2002). «Carbon sequestration by a jack pine stand following urea application». *Forest Ecology and Management*, núm. 169, p. 45-52.
- FREIBAUER, A.; KALTSCHMITT, M. (2003). «Controls and models for estimating direct nitrous oxide emissions from temperate and sub-boreal agricultural soils in Europe». *Biochemistry*, núm. 63, p. 93-115.
- FREIBAUER, A. (2003). «Regionalised inventory of biogenic greenhouse gas emissions from European agriculture». *European Journal of Agronomy*, núm. 19 (2) p. 135-160.
- GARAU, MA.; FELIPÓ, M.T.; RUIZ DE VILLA, M.C. (1986). «Nitrogen mineralization of sewage sludges in soil». *Journal of Environmental Quality*, núm. 15 (3), p. 225-228.
- GARAU, MA.; FELIPÓ, M.T. (1992). «El valor fertilizant nitrogenat en la reutilització agrícola de fangs residuals». *Quaderns agraris*, núm. 15, p. 23-28.
- GARCÍA-PAUSAS J.; CASALS P.; CAMARERO L.; HUGUET C.; ROMANYÀ J. (2003). «Contenido de carbono edáfico en sistemas de montaña de los Pirineos». A: *Actas del Congreso de la Asociación Española de Ecología Terrestre*. Bellaterra, junio 2003 (CD rom).
- GARRIDO, F.; HENAULT, C.; GAILLARD, H.; PEREZ, S.; GERMON, J. C. (2002). «N₂O and NO emissions by agricultural soils with low hydraulic potentials». *Soil Biology and Biochemistry*, núm. 34 (5), p. 559-575.
- GCTE. (2002). <<http://www.nmw.ac.uk/GCTEFocus3/Publications/implan/a33.htm> [17/04/2003].
- GCTE. (2003a). <<http://www.nmw.ac.uk/GCTEFocus3/networks/somnet.htm>> [17/04/2003].
- GCTE. (2003b). <<http://www.rothamsted.bbsrc.ac.uk/aen/somnet/intro.html>> [17/04/2003].
- GILE, L.H.; PETERSEN, F.F.; GROSSMAN, R.B. (1966). «Morphological and genetic sequences of carbonate accumulation in desert soils». *Soil Science*, núm. 101 (5), p. 347-360.
- GUO, L. B.; GIFFORD, R. M. (2002). «Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis». *Global Change Biology*, núm. 8, p. 345-360.
- HARRIS, R.C.; SEBACHER, D.I.; DAY, F.P. (1982). «Methane flux in the great dismal swamp». *Nature*, núm. 297 (5868), p. 673-674.
- HELLEBRAND, H.-J.; KERN, J.; SCHOLZ, V. (2003). «Long-term studies on greenhouse gas fluxes during cultivation of energy crops on sandy soils». *Atmospheric Environment* 37 (12), p. 1635-1644.
- HERRERO, C.; BOIXADERA, J.; DANÉS, R.; VILLAR, J.M. (1993). *Mapa de Sòls de Catalunya 1.25.000, full 360-1-2 (65-28)*, Bellvis. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Direcció General de Producció i Indústries Agroalimentàries i ICC.
- HOLZAPFEL-PSCHORN, A.; SEILER, W. (1986). «Methane emissions during a cultivation period from an Italian rice paddy». *Journal of Geophysical Research* 91, 11803-11814

- HUGGINS, D. R.; G. A. BUYANOVSKY, G. H. WAGNER, J. R. BROWN, R. G. DARMODY, T. R. PECK, G. W. LESOING, M. B. VANOTTI i L. G. BUNDY (1998). «Soil organic C in the tallgrass prairie-derived region of the corn belt: effects of long-term crop management». *Soil & Tillage Research*, núm. 47, p. 219-234.
- INGRAM, J. S. I.; FERNANDES, E. C. M. (2001). «Managing carbon sequestration in soils: concepts and terminology». *Agriculture, Ecosystems and Environment*, núm. 87, p. 111-117.
- IPCC (1997). *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Workbook*. Paris: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC (2001). *Climate Change, Third Assessment Report, Contribution by working group 1, Climate Change 2001: The Scientific Basis, Summary for Policymakers*. WHO, UNEP, IPCC. <<http://www.ipcc.ch/pub/un/ipccwg1s.pdf>>
- JAILLARD, B., GUYON, A.; MAURIN, A.F. (1991). «Structure and composition of calcified roots, and their identification in calcareous soils». *Geoderma*, núm. 50, p. 197-210.
- JIMÉNEZ, I. (2004). *Contribució a l'estudi dels sòls de la Coma de Burg. Descripció i anàlisi de l'acció antròpica sobre l'edafogènesi*. Universitat Autònoma de Barcelona. (Treball de recerca de Tercer Cicle).
- JOHNSON, D.W. (1992). «Nitrogen retention in forest soils». *Journal of Environmental Quality* núm. 21, p. 1-12.
- KRUPA, S.V. (2003). «Effects of atmospheric ammonia (NH₃) on terrestrial vegetation: a review». *Environmental Pollution*, núm. 124 (2), p. 179-221.
- LAF (1995). *Estudi dels efectes en els sòls agrícoles de l'aplicació de purins a la comarca del Segrià*. Sidamon: Consell Comarcal del Segrià.
- LAL, R. (2001a). «Soils and the greenhouse effect». A: LAL et al. (eds.) *Soil Carbon Sequestration and the greenhouse effect*. SSSA Special Pub. [Madison], núm. 57, p. 1-8
- LAL, R. (2001b). *Myths and facts about soils and the greenhouse effect*. SSSA Special Pub. [Madison], núm. 57, p. 9-26.
- BIN LE, L.; SAKODA, A.; SHIBASAKI, R.; GOTO, N.; SUZUKI, M. (2000). «Modelling a global biogeochemical nitrogen cycle in terrestrial ecosystems». *Ecological Modelling*, núm. 135 (1), p. 89-110.
- LOMANDER, A.; KÄTTERER, T.; ANDRÉN, O. (1998). «Modelling the effects of temperature and moisture on CO₂ evolution from top- and subsoil using a multi-compartment approach». *Soil Biology and Biochemistry*, núm. 30, p. 2023-2030.
- MAPA, (2000). *Estudio de los niveles de metales pesados en la provincia de Lleida*. MAPA. (Inèdit).
- Mapa de sòls 1:1.000.000 de la Comunitat Europea (Soil Map of the European Communities 1:1.000.000*. <<http://leu.irnase.csic.es/mimam/seisnet.htm>> [19/05/2003].
- MARION, G.M. (1989) «Correlation between long-term pedogenic CaCO₃ formation rate and modern precipitation in deserts of the American Southwest». *Quaternary Research*, núm. 32, p. 291-295.
- MIKHAILOVA, E.A.; BRYANT, R.B.; DEGLORIA, S.D.; POST, C. J.; VASSENEV, I.I. (2000). «Modelling soil organic matter dynamics after conversion of native grassland to long-term continuous fallow using the CENTURY model». *Ecological Modelling*, núm. 132, p. 247-257.
- MONGER, H.C.; GALLEGOS, R.A. (2000). «Biotic and abiotic processes and rates of pedogenic carbonate accumulation». A: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; ESWARAN, H.; STEWART, B.A. (eds). *Global climate change and pedogenic carbonates*. Lewis Publishers, pp 273-289.
- MONGER, H.C.; WILDING, L.P. (2002). «Inorganic carbon: composition and formation». *Encyclopedia of Soil Science*. Marcel Dekker Inc. p. 701-705.
- NAVAS, A.; MACHÍN, J.; NAVAS, B. (1999). «Use of biosolids to restore the natural vegetation cover on degraded soils in the badlands of Zaragoza (NE Spain)». *Bioresource Technology*, núm. 69, p. 199-205.
- OROZCO, M. (2003) *Hidroquímica de las aguas superficiales y usos del suelo en la cuenca de la Ribera Salada (El Solsonès, NE España)*. Lleida: Universitat de Lleida. (Tesi doctoral).
- ORTIZ, O.; ALCANIZ, J.M. (2001). «Aplicación del flujo de CO₂ como indicador de la calidad de la restauración en actividades extractivas a cielo abierto». *Edafología*, núm. 8(3), p. 71-81.
- PALOU, O.; BOIXADERA, J. (2002). «Els sòls agrícoles de les comarques del Baix Empordà i La Garrotxa com a reservori de carboni orgànic». Jornada L'estat i la gestió dels sòls de Catalunya. Institució Catalana d'Estudis Agraris.
- PENNOCK, D.J.; FRICK, A.H. (2001). «The role of field studies in landscape-scale applications of process models: an example of soil redistribution and soil organic carbon modeling using CENTURY». *Soil & Tillage Research*, núm. 58, p. 183-191.

- PIÑOL, J.; ALCANIZ, J.M.; RODÀ, F. (1995). «Carbon dioxide efflux and pCO₂ in soils of three *Quercus ilex* montane forests». *Biogeochemistry*, núm. 30, p. 191-215.
- POST, W.M. (1990). *Report of a workshop on climate feedbacks and the role of peatlands, tundras and boreal ecosystems in the global carbon cycle*. Tennessee: Oak Ridge National Laboratory. (Environmental Sciences Division Publ. 3.289).
- POST, W.M., PASTOR, J., ZINCKE, P.J.; STANGENBERGER, A.G. (1985). «Global patterns of soil nitrogen». *Nature*, núm. 317, p. 613-616.
- POWLSON, D. S.; SMITH, P.; COLEMAN, K.; SMITH, J. U.; GLENDINING, M. J.; KÖRSCHENS, M.; FRANKO, U. (1998). «A European network of long-term sites for studies on soil organic matter». *Soil & Tillage Research*, núm. 47, p. 263-274.
- PRIEMÉ, A.; CHRISTENSEN, S. (2001). «Natural perturbations, drying-wetting and freezing-thawing cycles, and the emissions of nitrous oxide, carbon dioxide and methane from farmed organic soils». *Soil Biology and Biochemistry*, núm. 33, p. 2083-2091.
- REICHSTEIN, M.; BEDNORZ, F.; BROLL, G.; KÄTTERER, T. (2000). «Temperature dependence of carbon mineralisation: conclusions from a long-term incubation of subalpine soil samples». *Soil Biology and Biochemistry*, núm. 32, p. 947-958.
- RODÀ, F.; ÀVILA, A.; RODRIGO, A. (2002). «Nitrogen deposition in Mediterranean forests». *Environmental Pollution*, núm. 118, p. 205-213.
- ROELLE, P.A.; ANEJA, V.P. (2002). «Nitric oxide emissions from soils amended with municipal waste biosolids». *Atmospheric Environment*, núm. 36 (1), p. 137-147.
- ROMANYÀ, J.; CORTINA, J.; FALLOON, P.; COLEMAN, K.; SMITH, P. (2000). «Modelling changes in soil organic matter after planting fast-growing *Pinus radiata* on Mediterranean agricultural soils». *European Journal of Soil Science*, núm. 51, p. 627-641.
- ROVIRA, P.; VALLEJO, V.R. (2002). «Labile and recalcitrant pools of carbon and nitrogen in organic matter decomposing at different depths in soil: an acid hydrolysis approach». *Geoderma*, núm. 107, p. 109-141.
- ROVIRA, P. (2001). *Descomposició i estabilització de la matèria orgànica als sòls forestals de la Mediterrània: qualitat, protecció física, i factor fondària*. Barcelona: Universitat de Barcelona. (Tesi Doctoral).
- SABATÉ, S.; GRACIA, C.A.; SÁNCHEZ, A. (2002). «Likely effects of climate change on growth of *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris* and *Fagus sylvatica* forests in the Mediterranean region». *Forest Ecology and Management*, núm. 162, p. 23-37.
- SABRIÀ, J. (1991). *Estudi de la fertilitat a Isona (Pallars Jussà). Classificació automàtica i cartografia de malla quadrada*. Lleida: Universitat de Lleida, ETSEA, TPT.
- SAGUER, E. (1997). *Emissions de N₂O i desnitrificació en sòls agrícoles i d'ecosistemes naturals. Factors de regulació*. Girona: Universitat de Girona. (Tesi Doctoral).
- SCHARPENSEL, H.W., SCHOMAKER M.; AYOUB, A. (eds.) (1990). «Soils on a Warmer Earth». *Development in Soil Series* n° 20. Elsevier.
- SCHLESINGER, W.H. (2002). «Inorganic carbon and the global cycle». *Encyclopedia of Soil Science*. Marcel Dekker Inc. p. 706-708.
- SCHÜTZ, H., SEILER, W.; RENNEBERG, H. (1990). «Soil and land use related sources and sinks of methane (CH₄) in the context of the global methane budget». A: BOUWMAN, A. F. (eds.). *Soils and the greenhouse effect*. Chichester: John Wiley and Sons, p. 269-285.
- SEILER, W. (1984). «Contribution of biological processes to the global budget of CH₄ in the atmosphere». A: M.J. Klug i C.A. Reddy (eds.) *Current perspectives in microbial ecology*. Washington DC: American Society for Microbiology, p. 468-477.
- SERRASOLSAS, I.; DIEGO, V.; BONILLA, D. (1999). «Soil nitrogen dynamics». A: RODÀ, F.; RETANA, J.; GRACIA, C.; BELLOT, J. (eds.) *Ecology of Mediterranean evergreen oak forests*. Berlin: Springer, p. 223-235.
- SIERRA, R. (1987). *Clasificación automática y cartografía de la fertilidad de los suelos de la Cerdaña (Gerona-Lérida)*. Lleida: Universitat de Lleida, ETSEA, TPT.
- SKJEMSTAD, J.O.; REICOSKY, D.C.; WILTS, A.R.; MCGOWAN, J.A. (2002). «Charcoal carbon in US agricultural soils». *SSSAJ*, núm. 66, p. 1249-1255.
- SMITH, P. (1994). <<http://www.ibiblio.org/london/agriculture/composting/1/msg00021.html>> [17/04/2003].
- SMITH, A.; BROWN, K.; OGLIVIE, S.; RUSHTON, K.; BATES, J. (2001). *Waste Management Options and Climate Change. Final report to the European Commission*. DG Environment. AEA Technology.
- STEUDLER, P.A.; BOWDEN, R.D.; MELLILO, J.M.; ABER, J.D. (1986). «Influence of nitrogen fertilization on methane uptake in temperate forest soils». *Nature*, núm. 341, p. 314-316.
- STEVENSON, F.J. (1986). *Cycles of Soil*. New York: Wiley-Interscience.
- STEWART, B.A.; ROBINSON, C.A. (2000). «Land use

impact on carbon dynamics in soils of the arid and semiarid tropics». A: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; ESWARAN, H.; STEWART, B.A. (eds). *Global climate change and tropical ecosystems. Advances in Soil Science*. CRC Press, p. 251-260.

STIGLIANI, W.M., DOELMAN, P., SALOMONS, W., SCHULIN, R., MEULEN-SMIDT, G.R.B.; SEAMT, Z. (1991). «Chemical time bombs -predicting the unpredictable». *Environment* 33 (4), p. 4-9 i p. 26-30.

SUAREZ, D.L. (1999). «Impact of agriculture on CO₂ as affected by changes in inorganic carbon». A: LAL, R., KIMBLE, J.M., ESWARAN, H.; STEWART, B.A. (eds). *Global climate change and pedogenic carbonates*. Lewis Publishers, p 257-272.

SUAREZ, D.L. (2002). «Inorganic Carbon: Land use impacts». *Encyclopedia of Soil Science*. Marcel Dekker Inc., p. 714-717.

TARRAGÓ, R. (1996). *Efectes sobre les propietats del sòl i la flora després de 10 anys d'aplicar tres sistemes de conreu en un secà d'Alfès (Lleida)*. Lleida: Universitat de Lleida, ETSEA, PFC.

TEEPE, R.; BRUMME, R.; BEESE, F. (2000). «Nitrous oxide emissions from frozen soils under agricultural, fallow and forest land». *Soil Biology and Biochemistry*, núm. 32, p. 1807-1810.

TEIRA-ESMATGES, M.R.; VAN CLEEMPUT, O.; PORTA-CASANELLAS, J. (1998). «Fluxes of nitrous oxide and molecular nitrogen from irrigated soils of Catalonia (Spain)». *Journal of Environmental Quality*, núm. 27, p. 687-697.

THENG, B.K.G., CHURCHMAN, G.J.; NEWMAN, R.H. (1989). «Constituents of organic matter in temperate and tropical soils». A: COLEMAN, D.C., OADES, J.M.; UEHARA, G. (eds) *Dynamics of organic matter in temperate and tropical soils*. University of Hawaii, NifTAL Project, p. 5-32.

THURIÈS, L.; PANSU, M.; FELLER, C.; HERRMANN, P.; RÉMY, J.-C. (2001). «Kinetics of added organic matter decomposition in a Mediterranean sandy soil». *Soil Biology and Biochemistry*, 33, p. 997-1010.

TOMLINSON, G.H., (1991). «Nutrient disturbances in forest trees and the nature of the forest decline in Quebec and Germany». *Water, Air and Soil Pollution*, 54, p. 61-74.

TORRES, A. (1994). *Estudi ambiental sobre l'efecte de l'aplicació de purins en les propietats del sòl. Aplicació al Pla d'Urgell*. Lleida: UdL, ETSEA. Inèdit.

UE, DG XI. (1998). Options to reduce methane emis-

sions (Final Report) <<http://www.europa.eu.int/comm/environment/climat/studies.htm>>.

UE, DG XI. (1998). Options to reduce nitrous oxide emissions (Final Report) <<http://www.europa.eu.int/comm/environment/climat/studies.htm>>.

VAN BREEMEN, N.; FEIJTEL, T.C.J. (1990). «Soil processes and properties involved in the production of greenhouse gases, with special relevance to soil taxonomic systems». A: Bouwman, A.F. (ed) *Soil and the greenhouse effect*. Chichester: John Wiley and Sons. P. 195-223.

VIRGILI, J.M. (1994). *Aprofundiment en el coneixement d'aspectes de la fertilitat dels sòls a Catalunya*. Lleida: Universitat de Lleida, ETSEA.

WADA, K.; AOMINE, S. (1975). «Soil development during the quaternary». *Soil Science* núm. 116, p. 170-177.

WEBB, J.; HARRISON, R.; ELLIS, S. (2000). «Nitrogen fluxes in three arable soils in the UK». *European Journal of Agronomy* 13 (2-3), p. 207-223.

ZEHNDER, A.J.B. (1982). «The carbon cycle». A: HUTZINGER, O. (ed) *The handbook of environmental chemistry*. Vol 1B. Springer Verlag, p. 83-110.

Annexos

Normativa generada per la Comissió Europea que afecta els sòls amb relació directa o indirecta al canvi climàtic, ordenada cronològicament en cadascun dels apartats

Política ambiental

- Decisión 2179/98/CE, de 24 de septiembre, relativa a la revisión del Programa comunitario de política y actuación en materia de medio ambiente y desarrollo sostenible «Hacia un desarrollo sostenible». 5è Programa d'Acció sobre Medi Ambient.
- Decisión 1600/2002/EC, 22 de junio, relativa al 6º Programa de Acción sobre Medio Ambiente (2002-2012) «Medio Ambiente 2010: El futuro está en nuestras manos». Considera el canvi climàtic com un objectiu prioritari.

Desenvolupament rural, mesures agroambientals, i reforestació:

- Directiva 91/676/CEE, de 12 de diciembre, relativa a la protección de las aguas contra la contami-

nación producida por nitratos utilizados en la agricultura.

- Reglamento 2092/91/CEE, de 24 de junio, sobre la producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimenticios. Modificat pel Reglamento (CE) 599/2003.
- Reglamento 2078/92/CEE, de 30 de junio, sobre métodos de producción agraria compatibles con las exigencias de la protección del medio ambiente y la conservación del espacio natural. Derogat pel Reglamento (CE) 1257/1999.
- Reglamento 2080/92/CEE, de 30 de junio, por el que se establece un régimen de ayudas a las medidas forestales en agricultura.
- Reglamento 2158/92/CEE, de 23 de julio, relativo a la protección de los bosques comunitarios contra los incendios.
- Reglamento 3508/92/CEE, de 27 de noviembre de 1992, por el que se establece un sistema integrado de gestión y control de determinados regímenes de ayuda comunitarios. Modificat reiterativament.
- Resolución 97/C 76/01, de 24 de febrero, sobre una Estrategia Comunitaria de Gestión de Residuos.
- Reglamento 435/97/CE, de 6 de marzo, por el que se modifica el Reglamento (CE) 746/96 por el que se establecen disposiciones de aplicación del Reglamento 2078/92/CEE sobre métodos de producción agraria compatibles con las exigencias de la protección del medio ambiente y la conservación del espacio natural.
- Reglamento 950/97/CE, de 20 de mayo, relativo a la mejora de la eficacia de las Estructuras Agrarias.
- Reglamento 1257/1999/CE, de 17 de mayo, sobre la ayuda al desarrollo rural a cargo del Fondo Europeo de Orientación y de Garantía Agrícola (FE-

OGA) y por el que se modifican y derogan determinados Reglamentos.

- Reglamento 1259/1999/CE, de 17 de mayo, por el que se establecen las disposiciones comunes aplicables a los regímenes de ayuda directa en el marco de la política agrícola común. Incorpora el marc de l'Agenda 2000. Bases per als ajuts agroambientals. Modificat pel Reglamento 1244/2001/CE.
- Reglamento 2603/99/CE, de 9 de diciembre de 1999, por el que se establecen disposiciones transitorias para la ayuda al desarrollo rural prevista por el Reglamento 1257/99/CE. Modificat per: Reglamento 1929/2000/CE, Reglamento (CE) 2055/2001.
- Reglamento 445/2002/CE, de 26 de febrero, por el que se establecen disposiciones de aplicación del Reglamento 1257/99/CE. Programa de Desenvolupament Rural 2002-2006.
- Reglamento 599/2003/CE, de 1 de abril, que modifica el Reglamento 2092/91/CEE sobre la producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimenticios.

Altres sectors

- Decisión 93/389/CEE del, de 29 de octubre, relativa a un mecanismo de seguimiento de las emisiones de CO₂ y de otros gases de efecto invernadero en la Comunidad. Modificada per Decisión 99/296/CE.
- Directiva 96/61/CE, de 24 de septiembre, relativa a la prevención y control integrado de la contaminación (PPIC). Coneguda a Catalunya com a Llei de la intervenció integral de l'Administració ambiental (IIAA). Millors tècniques disponibles per millorar l'eficiència energètica.
- Directiva 97/11/CE, de 3 de marzo, por la que se modifica la Directiva del 85/337/CEE, de 27 de junio, relativa a la evaluación de las repercusiones

de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente.

- Directiva 97/62/CE, de 27 de octubre, por la que se adapta al progreso científico y técnico la Directiva 92/43/CEE, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres. Incorpora hàbitats naturals aquàtics i terrestres.
- Decisión 98/746/CE, de 21 de diciembre, relativa a la aprobación en nombre de la Comunidad de la modificación de los Anexos II y III del Convenio de Berna relativo a la conservación de la vida silvestre y del medio natural de Europa, adoptada durante la decimoséptima reunión del Comité Permanente del Convenio.
- Directiva 99/31/CE, de 26 de abril, relativa al vertido de residuos.
- Decisión C(2000) 2004, de 17 de julio, relativa a la realización de un inventario europeo de emisiones contaminantes (EPER) con arreglo al artículo 15 de la Directiva 96/61/CE relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación (IPPC). Coneguda a Catalunya com a Llei de la intervenció integral de l'Administració ambiental.
- Directiva 2000/60/CE, de 23 de octubre, por el que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Modificada per Decisión 2455/2001/CE.
- Directiva 2000/76/CE, de 4 de diciembre de 2000, relativa a la incineración de residuos.
- Directiva 2001/42/CE, de 27 de junio, relativa a la evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente.
- Directiva 2001/81/CE, de 23 de octubre, sobre techos nacionales de emisión de determinados contaminantes atmosféricos. Emissions de SO₂, NO_x, COV, NH₃.
- Decisión 2002/358/CE, de 25 de abril, relativa a la aprobación en nombre de la Comunidad Europea del Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y al cumplimiento conjunto de los compromisos contratados con arreglo al mismo.

Estratègies, normativa en fase de preparació o pendent d'aprovació i informes

- COM/91/42 final. Propuesta de Directiva por la que se modifica el anexo II de la Directiva 79/409/CEE relativa a la conservación de las aves silvestres. Protecció de zones humides.
- COM/98/ 42 final. Comunicación sobre una estrategia de la Comunidad Europea en materia de biodiversidad.
- COM/98/0353 final. Comunicación – El cambio climático – Hacia una estrategia post-Kioto.
- COM/1999/752 final. Informe de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo relativo a la aplicación de la legislación comunitaria en materia de residuos: Directiva 75/442/EEC relativa a los residuos, Directiva 91/689/EEC relativa a los residuos peligrosos, Directiva 75/439/EEC relativa a la gestión de aceites usados y Directiva 86/278/EEC relativa a la protección del medio ambiente y, en particular de los suelos, en la utilización de lodos de depuradora en agricultura, durante el periodo 1995-1997.
- COM/2001/264 final. Desarrollo sostenible en Europa para un mundo mejor: Estrategia de la Unión Europea para un desarrollo sostenible.
- COM/2001/579 final. Propuesta de Decisión relativa a la aprobación, en nombre de la Comunidad Europea, del Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático y al cumplimiento conjunto de los compromisos contraídos con arreglo al mismo.
- COM/2001/547 final. Comunicación de la Comisión al Parlamento europeo, al Consejo, al Comité

- Económico y Social y al Comité de las Regiones relativa a los combustibles alternativos para el transporte por carretera y a un conjunto de medidas para promover el uso de biocarburantes.* Per esmenar la Directiva 92/81/CEE.
- COM/2001/0581 final. Propuesta de Directiva por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad y por la que se modifica la Directiva 96/61/CE del Consejo.
 - COM/2002/179 final. Comunicación de la Comisión al Consejo, el Parlamento Europeo, el Comité Económico y Social y el Comité de las Regiones «Hacia una estrategia temática para la protección del suelo».
 - COM/2002/404 final. Propuesta de Reglamento sobre el seguimiento de la interacción de los bosques y del medio ambiente en la Comunidad.
 - COM/2003/0023 final. Propuesta de Reglamento por el que se establecen disposiciones comunes aplicables a los regímenes de ayuda directa en el marco de la política agrícola común (PAC) y por el que se instauran regímenes de ayuda a los productores de determinados cultivos.
 - COM/2003/51 final. Propuesta de Decisión del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a un mecanismo de seguimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero en la Comunidad y de la aplicación del Protocolo de Kyoto.

ACRÓNIMS

CREAF	Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions forestals
CSIC	Consejo Superior de Investigaciones Científicas
CTFC	Centre Tecnològic Forestal de Catalunya
DARP	Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca, Generalitat de Catalunya
DMA	Departament de Medi Ambient, Generalitat de Catalunya
EEA	European Environmental Agency
FAO	Organització de les Nacions Unides per a l'Agricultura i l'Alimentació
GC	Generalitat de Catalunya
ICC	Institut Cartogràfic de Catalunya
IEC	Institut d'Estudis Catalans
IRTA	Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentària
ISRIC	International Soil Reference and Information Center
ISSS	International Society of Soil Science
LAF	Laboratori d'Anàlisi i Fertilitat de Sòls
MACS	Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl de la UdL
MAPA	Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación
MCSC	Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya
SIG	Sistema d'Informació Geogràfica
UAB	Universitat Autònoma de Barcelona
UB	Universitat de Barcelona
UdG	Universitat de Girona
UdL	Universitat de Lleida
USEPA	Agència dels Estats Units d'Amèrica per a la Protecció del Medi Ambient

B11. Zones costaneres: dinàmica sedimentària

Agustín Sánchez-Arcilla

José A. Jiménez

Joan Pau Sierra

Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental, Universitat Politècnica de Catalunya

Agustín Sánchez-Arcilla Conejo és doctor Enginyer de Camins per la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Catedràtic de Ports i Costes del Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental (DEHMA) de la UPC. Des de 1990 és director del Laboratori d'Enginyeria Marítima (LIM/UPC) del DEHMA de la UPC, on desenvolupa les seves activitats de recerca en l'àmbit de l'enginyeria portuària i costanera. Fou un dels impulsors de la creació del Centre Internacional d'Investigació dels Recursos Costaners (CIIRC), del qual actualment és vicepresident.

En l'àmbit acadèmic, és professor a l'ETS d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de la UPC, on imparteix diverses assignatures en les titulacions d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports i d'Enginyeria en Obres Públiques. Impulsor i coordinador del Màster Internacional en Enginyeria i Gestió Portuària, del Màster Internacional en Gestió Portuària i del Doctorat interuniversitari en ciències del mar (UPC/UB/CSIC). Ha publicat prop de 15 llibres i més de 35 articles en revistes nacionals i internacionals. També ha dirigit 12 tesis doctorals.

Ha participat en més de 20 projectes de recerca europeus. Entre els projectes en què ha participat com a investigador principal destaquen *Dynamic of beaches* (1993-1995), *Impact of climate change on north-western Mediterranean deltas (MEDDELTA)* (1994-1996), *Fluxes Across Narrow Shelves. The Ebro delta case (FANS)* (1996-1998), *Spanish Access to large-scale facilities (SPANWAVE I / SPANWAVE II)* (1996-2000) i *Estuaries and coastal areas. Basis and tools for a more sustainable development (ECOSUD)* (2000-2003).

José A. Jiménez (Las Palmas de Gran Canaria, 1964) és doctor en Ciències del Mar per la Universitat Politècnica de Catalunya (any 1996), llicenciat en Ciències del Mar (ULPGC, 1987). Actualment és professor titular del Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental de la Universitat Politècnica de Catalunya, on duu a terme la seva tasca docent i investigadora.

Com a docent, imparteix assignatures a les escoles d'Enginyers de Camins, Canals i Ports, Enginyers Tècnics d'Obres Públiques i Enginyeria Geològica de la UPC, a diversos màsters i al Programa de doctorat interuniversitari en Ciències del Mar (UPC/UB/CSIC).

Ha participat en diversos projectes de recerca europeus en l'àmbit de la geomorfodinàmica i enginyeria de la franja costanera (transport de sediments, morfodinàmica costanera, enginyeria costanera, gestió

del sistema costaner, evolució costanera, efectes del clima sobre el sistema costaner). És autor de més de 40 articles en revistes científiques internacionals i estatals. L'any 2004 ha estat guardonat amb la distinció per a la promoció de la recerca universitària que atorga la Generalitat de Catalunya, en la categoria de Joves investigadors.

Joan Pau Sierra Pedrico és doctor Enginyer de Camins, Canals i Ports per la Universitat Politècnica de Catalunya. Catedràtic d'Escola Universitària del Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental (DEHMA) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), on duu a terme la seva tasca docent i investigadora. Com a docent, imparteix diverses assignatures a l'Escola d'Enginyers de Camins, Canals i Ports, Enginyers Tècnics d'Obres Públiques i d'Enginyeria Geològica de la UPC, a diversos màsters i al Programa de doctorat interuniversitari en Ciències del Mar (UPC/UB/CSIC).

Com a investigador, treballa en l'àmbit marítim, desenvolupant tasques de recerca en hidrodinàmica, morfodinàmica i qualitat de les aigües costaneres.

Des de l'any 2003 és director del Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental de la UPC. Ha publicat prop de 20 articles en revistes estatals i internacionals, ha presentat uns 100 articles en congressos d'àmbit estatal i internacional i al voltant de 100 informes tècnics i de recerca. També ha dirigit 5 tesis doctorals, 2 projectes de màster i unes 30 tesines de fi de carrera. Ha participat en uns 20 projectes de recerca finançats per diversos organismes estatals i internacionals, entre ells 5 europeus (projectes FANS, COAST3D, PIONEER, DELOS i ECOSUD).

Síntesi	613
B11.1. La zona costanera	615
B11.2. Factors impulsors	616
B11.2.1. El clima de descàrregues fluvials	
B11.2.2. El clima d'onatge	
B11.2.3. El clima de nivells	
B11.3. La resposta sedimentària	622
B11.4. Les zones deltaïques	624
B11.5. Les zones estuàries	627
B11.6. Els impactes del canvi climàtic	628
B11.7. Vulnerabilitat i risc	632
B11.8. Les estratègies de resposta	634
B11.9. La planificació costanera	635
B11.10. Les campanyes d'observació	636
B11.11. Conclusions	637
Agraïments	638
Referències bibliogràfiques	639

Síntesi

Un tret que caracteritza la climatologia és la seva variabilitat, per la qual la zona costanera ja està preparada. En aquest sentit el veritable impacte del canvi climàtic sobre la costa és la seva acceleració o el possible llinard que es pugui ultrapassar. Més concretament, els valors regionals de la variabilitat climàtica i la seva evolució envers la «referència» terrestre són els dos factors determinants d'aquest l'impacte. A tall d'exemple, la importància de la pujada del nivell mitjà del mar és el seu valor relatiu, és a dir, en referència al nivell de terra, amb la qual cosa i atès que les zones deltaïques catalanes estan experimentant un enfonsament (subsidiència) d'1 a 5 mil·límetres per any, es pot preveure que aquestes àrees experimentin un ascens relatiu del nivell mitjà del mar d'aquesta mateixa magnitud.

Els principals factors climàtics que modelaran l'impacte a la zona costanera (i que semblen començar a presentar símptomes d'aquest canvi en la climatologia) seran:

- a) El nivell mitjà relatiu del mar.
- b) La intensitat i la persistència de les borrasques (tempestes d'onatge).

Les conseqüències d'aquest potencial canvi seran un augment en la freqüència de les inundacions i una disminució del volum sedimentari (sobretot de sorra) disponible per a la zona costanera. Això es traduirà en un increment de l'erosió i en un augment de la probabilitat de desaparició dels ecosistemes costaners, a causa de la manca d'espai per a la seva migració i dinamisme natural.

En conseqüència, les zones més vulnerables seran els deltes i zones baixes associades de les gorges dels rius. Dins d'aquesta categoria s'inclouen, per tant, els deltes de l'Ebre, del Llobregat i de la Tordera, així com tota la resta d'aiguamolls costaners. L'augment relatiu del nivell mitjà del mar, la disminució progressiva d'aportacions sedimentàries i la major persistència de les borrasques implicaran una pèrdua de territori i d'ecosistemes costaners, a no ser que s'actui de manera urgent.

Aquesta actuació ha de començar amb prou antelació per poder anticipar-se al possible canvi climàtic, ja que no serà factible defensar totes les costes baixes de Catalunya simultàniament i en un període de temps tan curt.

B11.1. La zona costanera

La característica principal de la zona costanera és el seu dinamisme, amb termes «impulsors» i «respostes» actuant a una multiplicitat d'escalles de temps i espai (Sánchez-Arcilla i Jiménez, 1997). Aquesta dinàmica, juntament amb l'excés de pressió d'ús respecte dels recursos disponibles, expliquen el fràgil equilibri d'aquesta zona. Això la fa altament vulnerable a qualsevol tipus de canvi en els factors «controladors» i, especialment, a un possible canvi climàtic.

Tot i que hi ha un acord general sobre la possibilitat que es produeixi un canvi climàtic –almenys per a un nombre limitat de variables (com la temperatura global del planeta) i per a una escala d'unes quantes dècades (Lindzen, 1994)– hi ha discrepàncies sobre el canvi a escala regional. En particular, no hi ha consens sobre la velocitat a la que el nivell mitjà del mar (SLR) està augmentant (Barnett, 1990) i sobre com es podria accelerar aquest procés com a conseqüència d'un canvi climàtic. Aquest punt pot il·lustrar-se pel rang d'estimacions de SLR (vegis per exemple Warrick, 1993), que van des de l'estimació d'1 metre l'any 2100 (Thomas, 1986) fins als 0,46 metres proposats recentment (Wigley i Raper, 1993), o la proposta de 0,66 metres feta per l'IPCC l'any 1990 (Warrick i Oerlemans, 1990). La mateixa incertesa s'aplica al grau d'intensitat de les tempestes d'onatge que afecten i modelen la franja costanera.

Anàlogament, també es pot esperar que els fluxos d'aigua dolça i sediments aportats pels rius i rieres de la costa catalana canviïn com a resultat d'un canvi climàtic al Mediterrani Nordoccidental. Aquesta variació afectarà també les característiques físicoquímiques i ecològiques de la costa (Broadus et al., 1986; Day i Templet, 1989).

Aquest capítol analitza l'efecte de la variabilitat i del possible canvi climàtic en termes dels fluxos d'aigua i sediments que tenen lloc a la zona costanera i que són els responsables de «controlar» el substracte geològic en aquest àrea. Per avaluar l'impacte de qualsevol tipus de canvi, incloent-hi un possible canvi climàtic, és necessari definir l'estat inicial o de referència respecte el qual s'estimarà l'impacte. Pel dinamisme de la zona costanera esmentat anteriorment, la definició d'aquest estat de referència no és una tasca fàcil, ja que s'ha de caracteritzar en termes dinàmics i amb variables que integrin els diferents components del sistema costaner.

Aquests components del sistema costaner –principalment el geomorfològic, l'ecològic i el socioeconòmic– permeten classificar les diverses tipologies de costa i, a partir d'aquí, els tipus d'impactes associats a un possible canvi climàtic.

En aquest capítol, i d'acord amb el que s'ha indicat abans, només es tracta la resposta geomorfològica associada als fluxos d'aigua i sediments.

Tot i això, també es consideren les interaccions amb les altres components i, de forma especial, amb les infraestructures costaneres existents.

B11.2. Factors impulsors

Els efectes d'un possible canvi climàtic sobre l'evolució de la costa es realitzaran o verificaran a través del canvi en els agents que controlen l'evolució d'aquesta zona. Aquests termes impulsors són, per tant, el primer element que ha de ser analitzat a l'hora de valorar l'impacte d'un possible canvi climàtic. L'objectiu és caracteritzar aquests termes sota les condicions presents i les condicions «modificades» segons l'escenari de canvi en les condicions climàtiques.

A l'hora de desenvolupar una metodologia, l'objectiu general és estimar l'impacte del canvi climàtic en l'estat del medi costaner, per la qual cosa l'anàlisi haurà de realitzar-se d'una manera dinàmica, que lligui les diferents escales presents, tant en els factors impulsors com en la resposta costanera. Les principals escales d'interès per a la presa de decisions en aquesta zona són a llarg termini (dècades), a termini mitjà (anys) i l'escala episòdica (dies, però amb un període de retorn de dècades) (Sánchez-Arcilla i Jiménez, 1997). Això implica que cada terme impulsor ha de ser analitzat segons l'escala considerada, fet que a la pràctica suposa un filtratge, una agregació o una reducció de les dades, sense que això suposi una pèrdua d'informació rellevant per a cada escala (vegi's, per exemple, de Vriend et al., 1994).

Els principals factors impulsors poden començar-se a analitzar a partir del treball clàssic de Wright i Coleman (1973), Coleman i Wright (1973), i Galloway (1975) sobre deltes, una de les zones més vulnerables al possible canvi climàtic. El model de deposició deltaica i, per tant, la morfologia resultant, es considera com el producte de la interacció entre tres tipus principals d'agents: els rius, l'onatge i les marees. La figura B11.1 mostra aquesta classificació ternària i inclou alguns exemples de deltes representatius (indicant la importància relativa de cada tipus

d'agent en els principals deltes del Mediterrani: l'Ebre, el Roine i el Po).

Aquesta classificació ternària ha de complementar-se amb alguns factors secundaris, com el vent i la circulació o camps de corrent general. Ambdós modulen el possible estat d'un sector de costa determinat. Els factors impulsors clau des del punt de vista del possible canvi climàtic són el nivell mitjà del mar, les tempestes d'onatge i la descàrrega sòlida dels rius i rieres en aquest tram de costa.

De la mateixa manera, és important considerar que l'estat del tram de costa reflecteix la dinàmica d'aquests factors impulsors en èpoques passades, mentre que la seva evolució reflectirà l'evolució d'aquests factors en el futur immediat. Ambdós poden ser raonablement diferents, com passa amb la descàrrega sòlida en els nostres rius a causa de l'existència de preses i l'alt grau de regulació fluvial practicada (vegeu, per exemple, Varela et al., 1986). Per aquest motiu, els deltes i, en general, les costes catalanes, han passat a estar dominades, en la seva pràctica totalitat, pel clima d'onatge (vegeu, per exemple, Jiménez i Sánchez-Arcilla, 1993), fet que ha suposat un desplaçament del punt característic del delta de l'Ebre, tal com mostra la figura B11.1.

Com a resultat de l'elevat grau d'antropització que presenta la costa catalana, a l'hora d'avaluar els possibles efectes d'un canvi climàtic és necessari distingir clarament entre els fluxos d'aigua i els de sediments. Tot i que en èpoques passades el flux d'aigua es correlacionava bé amb el flux sòlid, actualment ambdues variables presenten una correlació molt més feble a causa de les polítiques de lluita contra l'erosió i l'existència d'embassaments i obres a la costa, així com la carència generalitzada i progressiva de material sedimentari.

Així mateix, en aquesta classificació ternària la variable «marea» ha de ser substituïda per la variable «nivell mitjà del mar», ja que aquesta darrera variable no només incorpora la marea as-

tronòmica, sinó també la meteorològica i, fins i tot, el nivell relatiu terra/mar. Tots aquests processos actuen a diferents escales, però tots es refereixen a la diferència de nivell relatiu entre la terra emergida i el mar.

L'apartat següent analitza cadascun dels principals factors impulsors i la manera de valorar l'efecte d'un possible canvi climàtic sobre aquests factors i la corresponent resposta costanera.

B11.2.1. El clima de descàrregues fluvials

La descàrrega líquida i sòlida dels rius i les rieres de Catalunya controla la productivitat biològica i la qualitat de l'aigua als trams de costa situats a prop de la seva desembocadura, així com la disponibilitat i el tipus de volum sedimentari no consolidat. Les aportacions sòlides terrestres són la font principal per a l'acreció vertical en les planes deltaïques i per al subministrament de material més gruixut (i dinàmica horitzontal i vertical associades) a la franja costanera. A causa de la inexistència d'una relació directa entre la descàrrega líquida i sòlida dels rius en les condicions actuals (particularment pel que fa referència a la fracció tipus sorra) –que, tal com s'ha comentat abans, es deu a la situació de regulació fluvial– ambdues descàrregues es tractaran per separat. En aquest context és important senyalar que l'efecte del canvi climàtic pot quedar esmorçit o totalment anul·lat per la política de gestió de l'aigua i d'explotació de la conca dels rius.

L'anàlisi està basada en unes sèries temporals que són suficientment llargues com per permetre estimar la contribució que els rius i les rieres que desemboquen a la costa catalana han fet en el passat (segons l'escala de temps considerada). Com que el transport sedimentari depèn de forma altament no lineal de la descàrrega líquida, és important no perdre la informació d'aquesta darrera variable en un procés d'avitjanament. Per aquest motiu, és millor utilitzar velocitats mitjanes diàries de descàrrega que no pas mitjanes mensuals o estacionals. En efecte, pot haver-hi mitjanes mensuals per sota del llindar de

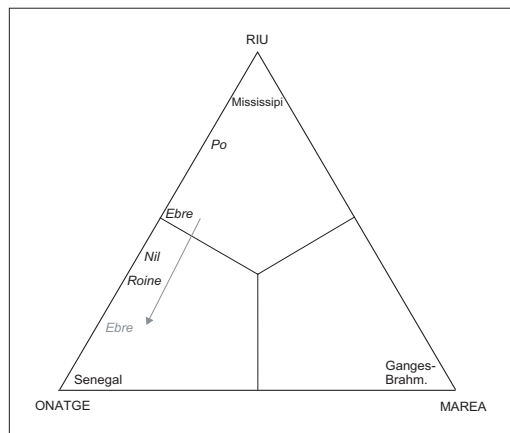


Figura B11.1. Classificació ternària dels deltes en funció dels processos dinàmics dominants.

Font: elaboració pròpia a partir de Jiménez et al., 1997.

transport per a una fracció sedimentària determinada i, tanmateix, el valor diari pot excedir-lo. Així mateix, l'impacte d'un possible canvi climàtic pot passar desapercebut dins del procés d'avitjanament, però ser ben aparent amb valors més instantanis.

A llarg termini (és a dir, en unes quantes dècades), la descàrrega pot estimar-se a partir dels corresponents registres. La figura B11.2 mostra l'evolució temporal de la descàrrega del riu Ebre, principal riu de Catalunya, en termes de cabal mitjà anual (escala esquerra) i en termes de cabal màxim anual (escala dreta).

Com pot observar-se a la figura, la distribució d'ambdues variables és diferent, fet que té clares implicacions pel que fa al transport sedimentari, tal com s'ha raonat al paràgraf anterior. A més, a l'hora de comparar el possible efecte d'un canvi climàtic, cal partir d'una situació inicial que tingui en compte la regulació de les conques. En el cas concret del riu Ebre, per calcular la distribució probabilística de les descàrregues líquides (figura B11.3) s'ha de restringir l'anàlisi al període que va des de l'any 1957 en endavant, és a dir, a partir de l'entrada en funcionament dels embassaments de Ribarroja i de Mequinensa.

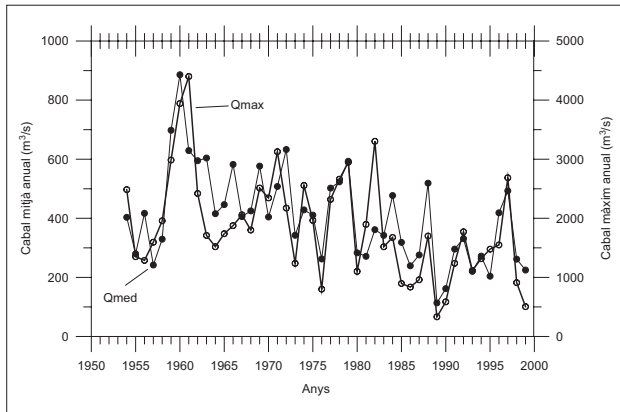


Figura B11.2: Evolució temporal de la descàrrega líquida al riu Ebre (Q_{med}) mitjana anual i (Q_{max}) màxim anual.
Font: elaboració pròpia.

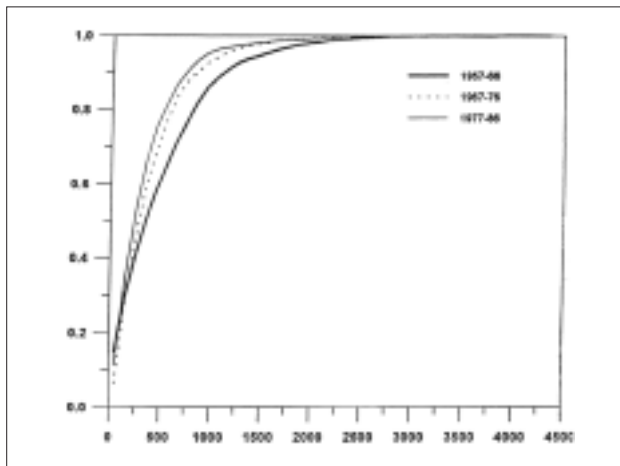


Figura B11.3: Distribució probabilística de les descàrregues al riu Ebre, utilitzant les dades registrades entre els anys 1957 i 1987. L'eix vertical mostra les freqüències acumulades i l'eix horitzontal la descàrrega (en $m^3/segon$).
Font: elaboració pròpia.

A aquesta escala temporal (de dècades), l'estimació de qualsevol variació en la descàrrega líquida fluvial pot realitzar-se mitjançant una anàlisi de tendències (Mitosek, 1995), utilitzant les descàrregues mitjanes mensuals i anuals (per a més detall, vegeu Jiménez i Sánchez-Arcilla, 1997). L'anàlisi de tendència es realitza, llavors, amb tests no paramètrics (IPCC, 1992) o, d'una manera simplificada, mitjançant una anàlisi de regressió per mínims quadrats. Aquesta anàlisi pot

aplicar-se als valors mitjans anuals o mensuals per tal de poder estudiar qualsevol canvi o modificació en l'estacionalitat del riu. També pot aplicar-se aquest tipus d'anàlisi per als màxims anuals que, com pot apreciar-se a la figura B11.2 o a la distribució probabilística adjunta (figura B11.3), mostra una variabilitat més petita que en termes amplitudats.

Qualsevol canvi observat en la tendència decadal ha d'analitzar-se amb molta cura, ja que el seu origen pot ser múltiple: canvis en la climatologia i, per tant, en la pluviometria i escorrentia superficial de la conca, canvis en la política de regulació fluvial, en la gestió del sòl en la pròpia conca, etc. Per aquest motiu, en els rius altament regulats (com són la pràctica majoria dels existents a la costa catalana) és previsible que l'impacte del canvi climàtic sigui lleu o, fins i tot, inexistent en aquesta escala decadal.

L'estudi de les tendències a mitjà termini requereix una sèrie temporal menys llarga. Tanmateix, cal esperar que la majoria dels rius de Catalunya mostri un comportament descendent, com el que s'ha indicat anteriorment respecte del riu Ebre, el qual al llarg dels anys observats ha experimentat una disminució de la seva descàrrega.

Això dificulta la selecció de la descàrrega anual mitjana, fins i tot en el cas que es decideixi escollir aquesta variable com a control.

En qualsevol cas, l'estimació de la descàrrega líquida del riu, així com de la descàrrega sòlida associada, ha de realitzar-se considerant sempre un determinat grau de probabilitat, que reflecteix la incertesa d'aquesta mesura. A tall d'exemple, la figura B11.4 mostra les variacions de la descàrrega líquida del riu Ebre per a determinats

interval·ls de probabilitat (Jiménez i Sánchez-Arcilla, 1997).

A més de les escales a un termini llarg i mitjà que han d'emmarcar l'anàlisi d'aquesta variable, la principal contribució del riu al volum i a les característiques sedimentàries de la costa està associada a successos episòdics, que són els més eficients a l'hora de mobilitzar una descàrrega sòlida. És en aquests mateixos successos on cal esperar un efecte més important del possible canvi climàtic a escala local. La seva quantificació és difícil, ja que fins i tot els successos episòdics en la situació actual han de ser estimats a partir de la distribució extrema de la descàrrega del riu, amb les corresponents incerteses.

La distribució extrema pel que fa a la descàrrega del riu Ebre, en base als màxims anuals registrats des de 1957 i utilitzant una distribució tipus Gumbel, es mostra a la figura B11.5. A partir d'aquí qualsevol augment o disminució en aquesta descàrrega suposaria un augment o disminució en la corresponent descàrrega sòlida i una notable variació en els períodes de retorn associats. Això significa un comportament radicalment diferent de les aportacions sòlides a la costa que, encara que inicialment només tingui implicacions locals a escala de desembocadura i, eventualment, de tot el cos deltaic, progressivament afectaran tota la costa considerada.

La descàrrega sòlida que afecta més directament la dinàmica de la franja costanera és aquella que es refereix a la fracció sorra o superiors. El material més fi no resulta estable a la franja costanera directament exposada a l'acció de l'onatge. No obstant això, pot contribuir a la dinàmica vertical de zones costaneres baixes i a les costes interiors de badies protegides. Per aquest motiu, és la descàrrega de la fracció més gruixuda (que té lloc com a transport fluvial a les proximitats del fons) la que afectarà directament la part més externa de la costa.

L'avaluació d'aquest transport proper al fons presenta moltes dificultats (Jiménez i Sánchez-

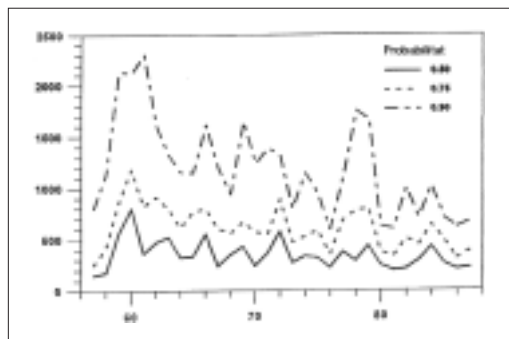


Figura B11.4. Variacions en les descàrregues del riu Ebre per a una probabilitat determinada. L'eix vertical indica descàrrega (m^3/s) i l'eix horitzontal temps (en anys).

Font: elaboració pròpia.

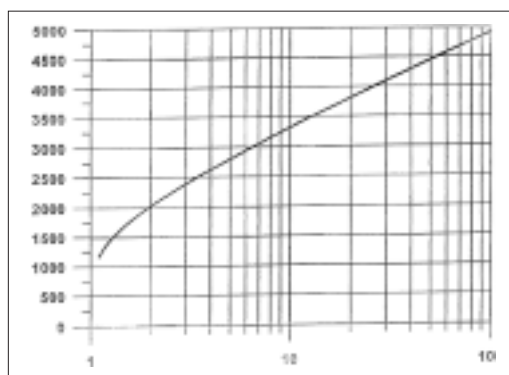


Figura B11.5. Règim extrem per a les descàrregues del riu Ebre en el període considerat. L'eix vertical indica descàrrega (m^3/s) i l'eix horitzontal temps (en anys).

Font: elaboració pròpia.

Arcilla, 1997) i la seva quantificació mitjançant mesures directes és molt limitada i presenta graus d'incertesa molt grans (van Rijn, 1993). El nombre de fórmules disponibles és també molt elevat, i la seva fiabilitat, limitada (Nakato, 1990; van Rijn, 1993). En qualsevol cas, la utilització d'aquestes fórmules per calcular el transport sòlid fluvial tant sols proporciona un «transport potencial», que correspon a la capacitat de transport teòrica que té un riu o riera en condicions ideals. Tanmateix, les condicions presents, i sobretot les futures, dependran de la disponibilitat de sediment per ser transportat i d'altres factors limitants que no es consideren en

les fórmules. Aquestes darreres inclouen, per aquest motiu, paràmetres de calibració, els valors dels quals normalment són desconeguts pel que fa als rius de la costa catalana. Per tant, les càrregues sedimentàries estimades han de ser considerades en termes d'ordre de magnitud.

A partir de l'experiència del riu Ebre (Jiménez et al., 1990; Guillén et al., 1992), per tal d'estimar la contribució dels nostres rius s'aconsella utilitzar una formulació proposada per van Rijn (1984a,b), que permet calcular separatament les càrregues per fons i suspensió. Queda oberta, però, la contribució de la càrrega en suspensió a l'evolució costanera i l'aplicabilitat d'aquesta fórmula a un escenari climàtic que sigui diferent de l'actual. El procediment recomanat per analitzar el possible impacte climàtic a escala local consisteix en calcular la descàrrega sòlida en termes de la descàrrega fluvial líquida mitjana diària (Jiménez i Sánchez-Arcilla, 1997). Utilitzant, essencialment, les fórmules proposades per Van Rijn l'any 1984, complementades amb la fórmula d'Ackers i White (1973), es pot obtenir una sèrie temporal de les descàrregues per transport de fons. A partir d'aquí es poden calcular les probabilitats de cada nivell de descàrrega i, d'aquesta manera, estimar la fracció d'aquest transport que s'incorporarà a la dinàmica costanera en funció de la geometria del medi marí receptor i la seva climatologia.

B11.2.2. El clima d'onatge

L'onatge és el principal factor modelador de la costa catalana, a totes les escales considerades. Aquest fenomen, però, té el seu origen en diversos factors, entre els quals destaquen les mareas astronòmiques, que posseeixen una intensitat limitada (marees vives amb un rang de l'ordre de 0,25 metres). El coneixement del clima d'onatge s'obté a partir de registres, observacions visuals i dades obtingudes numèricament. És important incloure a la informació d'onatge considerada la seva direcció, ja que el corrent longitudinal generat i el transport corresponent depenen d'aquest angle.

Un dels components del clima d'onatge més importants a llarg termini és el transport que es produeix a la frontera entre la plataforma continental i la zona activa costanera (Wright, 1987). La importància de l'alimentació continuada de sediments a través d'aquesta frontera amb la plataforma continental ha estat estimada en un percentatge d'entre 15% i 69% per a platges californianes (Lee i Osborne, 1995). A la costa mediterrània aquest transport ha suplert, en part, la falta d'aportació sòlida dels rius i rieres del territori català (Jiménez et al. 1997, 1999). Això permet explicar el manteniment de la frontera terramar, que d'altra manera estaria en un procés de retrocés més acusat.

Atès que el transport és molt sensible a l'alçada de les ones (sobretot el transport transversal, que varia amb l'alçada d'ona elevada a una potència entre 2 i 5) cal una bona distribució probabilística d'aquesta variable. Altrament, els errors en el clima d'onatge es multiplicaran de manera incontrolada en les corresponents estimacions del transport.

A partir d'una anàlisi probabilística del transport a través de la plataforma continental al llarg de diverses dècades, s'ha arribat a la conclusió que una parametrització amb una alçada d'ona significativament (Hs) de 3,5 metres i un període mitjà (Tz) de 6,2 segons pot donar un valor raonable per a una probabilitat d'ocurrència mitjana de 37 dies per any (Jiménez i Sánchez-Arcilla, 1997). A aquest valor mitjà s'ha de superposar la possible variació atribuïble al canvi climàtic a escala local. Per aquest motiu s'ha realitzat una anàlisi de tendències en termes de la mitjana anual de l'alçada d'ona significativament, utilitzant la metodologia proposada per Carter i Draper (1988). La figura B11.6 mostra l'evolució temporal entre els anys 1984 i 1992. L'anàlisi corresponent per a la direcció i el període de l'onatge segueix la metodologia presentada a les referències anterior i a Hozemans (1990).

El clima d'onatge a un termini mitjà (és a dir, en un període de pocs anys) s'ha d'esquematzar te-

nint en compte que el transport longitudinal net és el principal factor responsable a aquesta escala temporal. Per això, les ones han de classificar-se amb el prou grau de detall, tant en termes d'angle com d'alçada o energia, per permetre una caracterització adequada del transport. Així doncs, és recomanable utilitzar una alçada d'ona morfològicament «representativa», que correspon a l'alçada d'ona amitjanada per les freqüències d'ocurrència dels diversos tipus d'ona, utilitzant la variable alçada d'ona elevada a la potencia P que s'obté de la fórmula de transport longitudinal. En les anàlisis realitzades a la costa catalana es recomana utilitzar una fórmula del tipus CERC, amb un coeficient de proporcionalitat amb un exponent entre 2 i 2,5.

Pel que fa a successos episòdics, el clima d'onatge ha de considerar els errors associats a les cues de la distribució i ha de treballar sempre amb intervals, més que amb valors puntuals. A més, cal tenir en compte que a la costa catalana els successos episòdics associats a un transport sedimentari més gran estan associats amb l'ocurrència simultània de tempestes d'onatge i de mareas meteorològiques. Per això cal caracteritzar l'ocurrència conjunta d'ambdues variables (de Valk, 1994).

La distribució probabilística conjunta de l'alçada d'ona significant, el tipus de tempesta i la màxima marea meteorològica associada a aquesta tempesta a la costa del delta de l'Ebre s'il·lustra a la figura B11.7. L'asterisc que apareix a la figura indica les condicions que van produir el trencament de la barra del Trabucador i, per tant, van generar un canvi morfològic «impulsiu» l'any 1990. Aquests successos, amb un període de retorn baix i una durada curta (de l'ordre de dies), són els principals modeladors «impulsius» de la franja costanera catalana (Sánchez-Arcilla i Jiménez, 1994).

B11.2.3. El clima de nivells

El terme *nivell mitjà del mar* fa referència a les oscil·lacions de període més llargues que les ones de període llarg presents a la costa catalana i que afecten la resposta morfològica del tram costa-

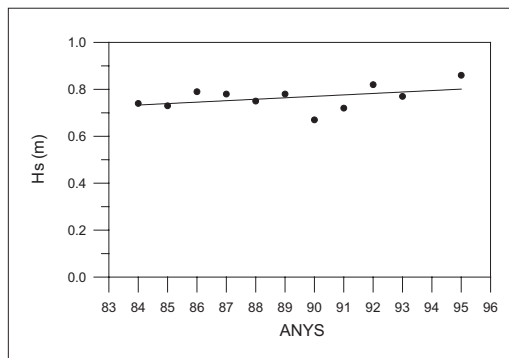


Figura B11.6. Evolució temporal de l'alçada d'ona significant (H_s) al cap de Tortosa (boia situada a 50 metres de fondària davant del delta de l'Ebre).

Font: elaboració pròpia.

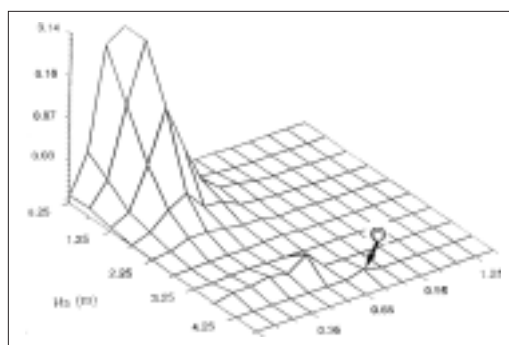


Figura B11.7. Distribució probabilística conjunta de l'alçada d'ona (H_s) i nivell mitjà del mar (Z). L'asterisc (*) indica les condicions que van conduir al trencament de la barra del Trabucador, l'octubre de l'any 1990.

Font: elaboració pròpia.

ner. En aquesta categoria es poden diferenciar tres tipus d'oscil·lacions:

- 1) La component periòdica associada a la marea astronòmica.
- 2) La component aleatòria associada a la marea meteorològica.
- 3) Una component quasi «estacionària» associada a la variació relativa dels nivells terra-mar.

La component astronòmica juga un paper no menyspreable en costes meso i macromareals.

Tot i això, a la costa catalana el seu efecte és molt limitat si es compara amb la marea meteorològica que, a causa de l'efecte combinat de la pressió atmosfèrica (efecte baròmetre invertit) i la tensió tangencial del vent, és capaç de produir sobrelevacions de més d'un metre d'alçada.

Aquestes sobrelevacions, per a un període de retorn de 10 anys son de l'ordre d'un metre, però per a un període de retorn de 100 anys poden apropar-se al metre i mig. Qualsevol ascens del nivell relatiu del mar respecte el substrat terrestre incrementarà notablement aquestes sobrelevacions, o el que és el mateix, en disminuirà el període de retorn. Com exemple, per a la distribució probabilística de marees meteorològiques calculades a la zona costanera del delta de l'Ebre, la sobrelevació amb 100 anys de període de retorn disminuirà a un període de retorn de 9 anys amb un ascens relatiu del nivell mitjà del mar de 0,46 metres. El mateix període de retorn de 100 anys amb la mateixa sobrelevació del nivell mitjà del mar disminuirà a 60 anys per al cas del delta del Rin (Delft Hydraulics, 1993). Aquest fet emfatitza que la vulnerabilitat de les nostres costes, per la seva limitada carrera de marea i energia d'onatge, es ben superior a la de les costes de països més «exposats».

El tercer component es refereix al nivell relatiu terra-mar, ja que és aquest nivell el que contribueix a modelar la línia/franja costanera. Aquest nivell resulta de la superposició de la variació eustàtica del nivell mitjà del mar i els desplaçaments locals (verticals) del substrat. A les zones deltaïques l'enfonsament local excedeix normalment la component eustàtica (Stanley, 1988; Suhayda, 1987). Les dades necessàries per calcular la tendència a llarg termini del nivell relatiu terra-mar provenen normalment de mareògrafs (Emery et al., 1991; Pirazzoli, 1991) que ja reflecteixen la composició del nivell eustàtic i el canvi local en el lloc on el mareògraf està ubicat. Per aquest motiu l'extrapolació de valors a costes «properes» ha de realitzar-se amb precaució. Com a il·lustració, i a partir de les dades dispo-

nibles de mareògrafs en el delta del Roine (Suañez, 1995) i a la ciutat de Marsella, en un zona tectònicament més estable (Morhange, 1994), s'aprecien diferències de 1,1 mm per any a la zona de Marsella, de 2,1 mm per any a la zona de la Camarga dins del delta del Roine (el darrer segle). Aquestes diferències poden utilitzar-se per estimar un valor de la subsidència que en el cas del delta del Roine resulta ser de l'ordre d'1 mm per any. A la nostra costa no existeixen registres mareals suficientment llargs per a obtenir una estimació comparable. Per aquest motiu cal realitzar estimes indirectes o inverses a la taxa de canvi relatiu de nivells terra-mar. Utilitzant les taxes d'evolució costanera i el balanç sedimentari per a un període de temps suficientment llarg l'estimació obtinguda per a la zona costanera del delta de l'Ebre va ser un ascens relatiu del mar de 2 a 5 mm per any (Sánchez-Arcilla et al., 1993).

B11.3. La resposta sedimentària

La resposta costanera sedimentària a la climatologia present i el seu possible canvi en el futur ha de realitzar-se combinant les diverses escales espacials i temporals presents en els processos morfodinàmics. La definició d'aquestes escales ha de començar a partir del coneixement disponible dels factors impulsors descrits a la secció anterior i de la resposta costanera observada. El principal problema radica en què un agent (per exemple l'onatge) actua a diferents escales de maneres també ben diverses. A l'escala principal del procés considerat, l'agent actuarà com a *controlador*, mentre que en altres escales jugarà el paper de *soroll* o de condició de contorn (de Vriend, 1991). Un exemple d'això que s'acaba de descriure es pot visualitzar quan es considera el transport longitudinal de sediments induït per l'onatge a la costa del delta de l'Ebre (figura B11.8).

L'escala temporal natural del transport longitudinal és mitjana, és a dir, uns quants anys. Si aquesta escala coincideix amb la de l'estudi el transport longitudinal serà el principal compo-

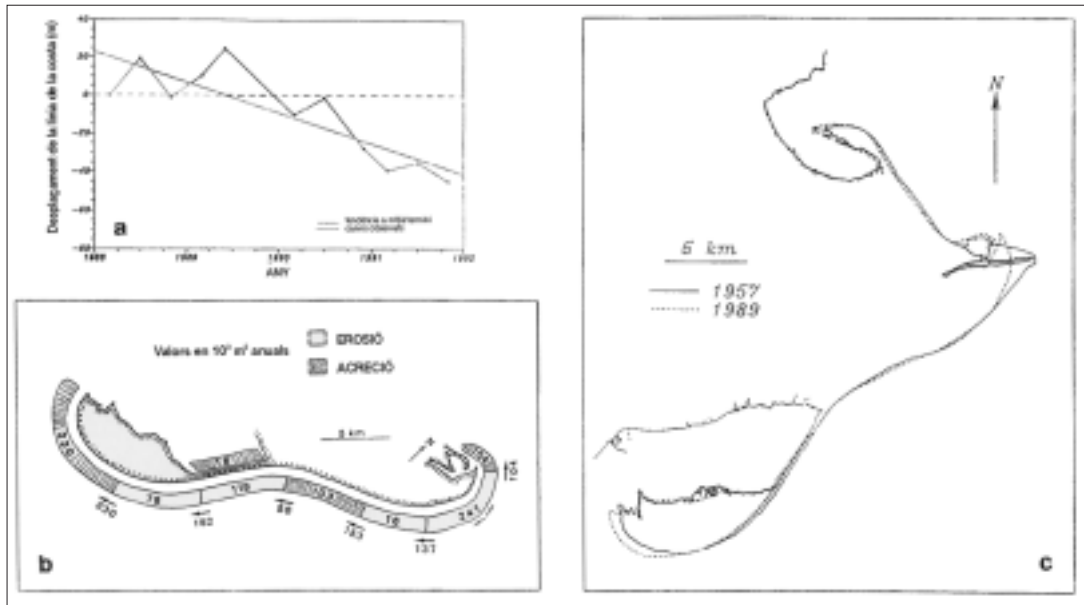


Figura B11.8. Rol del transport de sediments al llarg de la costa segons les diferents escales de temps: (a) termini curt, (b) termini mitjà i (c) termini llarg. Font: adaptada de Jiménez i Sánchez-Arcilla, 1993.

ment d'aquest. El seu paper queda il·lustrat a la figura B11.8, que mostra com les taxes de transport net anual permeten explicar el balanç sedimentari corresponent. Això significa també que els canvis volumètrics a llarg termini estaran controlats principalment pel patró de transport longitudinal net.

Quan l'escala de l'estudi és més petita que la del procés, aquest actuarà com una condició de contorn, tal com indica la figura B11.8a, on els moviments del perfil costaner de la costa del delta de l'Ebre apareixen dibuixats en contrast amb la tendència a mitjà termini. Poden observar-se les oscil·lacions estacionals clàssiques en el comportament transversal de la franja costanera. La tendència mitjana que es mostra en aquesta mateixa figura està associada al gradient positiu en el transport longitudinal net, que induïx un comportament erosiu i representa, per tant, una condició de contorn externa. Finalment, quan l'escala de l'estudi és més gran que la del procés considerat, aquest tindrà un efecte residual o de soroll.

Tal com il·lustra la figura B11.8c, l'evolució a llarg termini de la costa del delta de l'Ebre mostra un remodelament que pot definir-se en termes del corresponent balanç sedimentari. El transport longitudinal de sediments no pot considerar-se responsable d'aquest balanç, ja que el sistema està quasi «tancat», almenys pel que fa a la fracció sorra (Jiménez et al., 1993). Tanmateix, la remodelació observada es pot atribuir al transport longitudinal net, motiu pel qual aquest procés, a llarg termini, tindrà un efecte residual com a remodelador, però no contribuirà al balanç a aquesta escala.

La resposta costanera és funció de la climatologia, la geomorfologia i les estructures existents en cada tram de costa, i posseeix una multiplicitat d'escala. A l'hora d'analitzar la resposta costanera a un possible canvi climàtic a escala local es consideren normalment tres escales temporals:

1) **Escala temporal llarga:** és la que està relacionada més directament amb els canvis d'abast

global (en planta, perfil i balanç sedimentari) i està controlada pels factors següents: l'input sedimentari dels rius, els canvis relatius que es produeixen en el sistema terra-mar, el transport de sediments en el límit intern de la plataforma continental, intercanvis sedimentaris entre la franja costanera i la zona terrestre adjacent (a causa, per exemple, del transport eòlic) i variacions a escala decadal dels factors climàtics. També es pot considerar com agent a aquesta escala l'efecte residual del transport longitudinal de sediments.

- 2) **Escala temporal mitjana:** està associada a canvis costaners sistemàtics de l'ordre de quilòmetres i amb una variabilitat temporal de l'ordre d'anys. La principal resposta costanera observable a aquesta escala és el remodelament de la costa i el principal factor controlador són els transports nets de sediments (longitudinal i transversal). Els canvis costaners resultants són el producte de la integració dels diferents trens d'onatge que actuen en un tram de costa determinat, tot i que la manera d'omitjar-los dista d'estar universalment acceptada.
- 3) **Escala temporal episòdica:** està associada a l'acció de termes impulsors extrems, actuant durant pocs dies i amb un període de retorn de l'ordre de dècades. Aquest agents produeixen importants modificacions de tipus impulsiu a la zona costanera i, pel que fa a la costa mediterrània, se'n consideraran essencialment dos:
 - a) L'acció de tempestes, caracteritzades simultàniament per mareas meteorològiques i onatge altament energètic (que resultarà en patrons d'erosió accentuats i eventuais trencaments de trams costaners més fràgils).
 - b) Riuades extremes que produiran un important subministrament sedimentari en un curt període de temps i, simultàniament, un remodelat intents de la zona propera a la gola dels rius.

Aquest successos impulsius es caracteritzen per una resposta costanera immediata, a partir de la qual el tram costaner afectat s'anirà recuperant posteriorment amb una escala temporal diferent i que entra dins del que s'ha qualificat de termini mitjà. El possible canvi climàtic a escala local afectarà sens dubte la distribució d'aquests extrems, motiu pel qual el seu estudi és especialment important per caracteritzar l'impacte del canvi climàtic a la costa catalana.

La resposta costanera observada depèn en cada cas de l'escala de temps seleccionada per a l'estudi. La vulnerabilitat dels diferents tipus de respostes costaneres al canvi climàtic depèn, com ja s'ha indicat, de la geomorfologia, la climatologia i les estructures existents. Les costes penya-segades seran, en aquest sentit, menys vulnerables i menys dinàmiques, mentre que les costes sedimentàries amb un volum granular limitat seran les més vulnerables. Les costes sedimentàries amb un volum «indefinit» de material, encara que susceptibles de grans canvis per l'impacte de la climatologia, posseiran una vulnerabilitat més limitada. Els dos tipus de costa que (per ser el resultat del balanç entre factors terrestres, marins i atmosfèrics) estan en un equilibri més fràgil i són més vulnerables al possible canvi climàtic local són els deltes i els estuaris, que seran tractats específicament en altres apartats d'aquest capítol.

B11.4. Les zones deltaïques

L'existència de un possible canvi climàtic afectarà, de manera combinada, un nombre determinat de variables climatològiques. En un sentit estricte, aquests canvis afectaran la dinàmica actual dels sistemes deltaïcs a través dels seus components o subsistemes físic, ecològic i socioeconòmic. Pel que es refereix al tema d'aquest capítol, que és l'efecte en el component físic, i més particularment el substrat, les variables climatològiques poden agrupar-se segons el procés deltaïc que impliquen. És per això que solen classificar-se en variables associades a processos de formació i de reducció (Sánchez-Arcilla i Jiménez, 1997).

Els processos de formació (taula B11.1) es refereixen als mecanismes que governen el creixement del cos deltaic i es relacionen essencialment amb l'aportació sòlida del riu. Els processos de reducció actuen sobre el conjunt de la franja costanera i estan associats al transport sedimentari i remodelament de la costa.

Les dues variables principals associades als processos de formació són la taxa de precipitació a la conca fluvial i el percentatge de desertificació. Les taxes de precipitació a la conca mediterrània han estat estimades utilitzant models de circulació general (GCM), considerant-hi diferents escenaris climàtics (Mitchell et al., 1990; Palutikof et al., 1992). En general s'estima un increment en la precipitació mitjana del 3% per grau (°C) a l'hivern i una disminució del 3% per grau (°C) a l'estiu. Tot això va associat normalment a un augment de la precipitació mitjana a la tardor i hivern i un descens a l'estiu i primavera per a la zona de la conca mediterrània on està situada Catalunya.

L'augment de la precipitació dins de la conca de drenatge hauria d'anar associat a un increment del transport sedimentari. Tot i això, la clau és la manera com aquest augment de precipitació succeeix. Efectivament, un augment constant (distribuït uniformement al llarg de l'any) de la taxa de precipitació anirà associat a un lleuger increment de la descàrrega sòlida. El mateix augment concentrat en un nombre limitat de successos episòdics incrementarà notablement el transport sòlid, que és una funció altament no lineal de la velocitat de l'aigua en el riu.

Pel que fa al percentatge de desertització a la conca de drenatge, és important considerar l'efecte de la climatologia, dels períodes de sequera i de les pràctiques agrícoles (Sestini et al., 1989; Palutikof, 1993). Un augment de la desertització va associat a un potencial d'erosió més elevat de la conca de drenatge i, per tant, a una descàrrega sòlida del riu també més gran. Aquesta situació s'aprecia en el riu Ebre després de la gran desfo-

Processos deltaics	Variable climatològica	Tendència en la variable / procés
Formació	Pluja	↑/↑
	Desertització	↑/↑
Reducció	Pujada del nivell del mar	↑/↑
	Tempestes	↑/↑
	Canvis de direcció	↑/?

Taula B11.1. Canvis en els processos deltaics produïts per la climatologia

Font: elaboració pròpia.

restació que hi va haver en la seva àrea de drenatge fa diversos segles.

L'efecte d'aquestes dues variables en el canvi «físic» del cos sedimentari deltaic és potencial. Això significa que només succeeix sota condicions naturals, mentre que, per a rius altament regulats, els processos de formació deltaics dependran críticament de la política de regulació fluvial que controla la descàrrega líquida-sòlida del riu. Per aquest motiu, els efectes d'un possible canvi climàtic se sentiran amb molta menys intensitat en el delta que el que succeiria en un altre tipus de curs fluvial.

Les variables climàtiques associades a processos reductius estan associades a la dinàmica costanera i als factors que controlen aquesta dinàmica. Les infraestructures del riu quasi no afectaran aquestes variables, i el seu control serà solament indirecte, a través del volum sedimentari disponible.

La primera variable a considerar en aquest grup és el nivell relatiu terra-mar, un dels factors de canvi climàtic més universalment acceptats tot i que la taxa precisa del qual encara ofereix grans dubtes a nivell local (Warrick i Oerlemans, 1990; Wigley i Raper, 1993). L'augment del nivell relatiu del mar produirà un retrocés de la línia de costa, encara que la magnitud d'aquesta erosió ofereix un cert rang de variabilitat i incertesa, segons com es calculi (SCOR, 1991). La taxa d'augment del nivell mitjà del mar «perce-

buda» pels deltes serà notablement superior a l'experimentada en altres trams de costa degut a la subsidència local en aquests cossos sedimentaris. Aquest augment del nivell mitjà del mar afectarà la franja costanera dels deltes mitjançant l'erosió abans mencionada, però també a la plana deltaica. En efecte, les planes deltaïques que experimentin una taxa d'acreció vertical inferior a l'ascens del nivell relatiu del mar, tendiran a la desaparició (Wolff et al., 1993). Adicionalment aquest augment del nivell relatiu del mar disminuirà el període de retorn dels successos impulsius d'inundació, fins i tot sense considerar cap canvi en la climatologia de tempestes de la zona. Com a il·lustració la figura B11.9 mostra com variarà el clima de marea meteorològica a la costa del delta de l'Ebre si es considera un augment del nivell relatiu del mar de 0,46 metres de cara a l'any 2100 (Wigley i Raper, 1993).

El resultat és que la inundació que actualment succeeix cada 75 anys pot arribar a tenir lloc, en termes mitjans, cada 7 anys. Aquesta disminució en el període de retorn correspon a una costa sense resposta dinàmica a l'ascens del nivell relatiu del mar. En efecte, per a costes que poden «seguir» l'ascens del nivell relatiu del mar, el nivell relatiu terra-mar es mantindrà constant i no hi haurà variació en el període de retorn. Tanmateix, els sistemes sedimentaris de la costa catalana amb una mobilitat i un volum sedimentari suficients per tal que l'onatge pugui remodelar la costa i fer-li seguir l'ascens del nivell relatiu del mar són molt rars. En tots els altres casos, és a dir, en aquells casos en què no s'acompleix una regla tipus *Brunn* (Brunn, 1962), la resposta costanera, tant a la franja com a la plana deltaica, serà més petita que l'ascens relatiu del nivell mitjà del mar i, per tant, els successos d'inundació seran més freqüents.

L'altre possible efecte del canvi climàtic a escala local es refereix a la intensitat de les tempestes marines. La major part dels estudis realitzats en aquest camp s'han concentrat en la freqüència i en la intensitat dels ciclons tropicals, a causa de

la manca de precisió i resolució dels models generals de circulació a les latituds de la conca mediterrània. Les anàlisis realitzades al mar del Nord (Carter i Draper, 1988; Hoozemans, 1990) mostren un augment de 0,034 metres per any en el clima d'onatge. Aquests resultats, tanmateix, s'han de tractar amb precaució ja que es refereixen a un període de 15 a 20 anys, per la qual cosa són poc conclouents a l'hora de valorar un possible canvi climàtic.

En aquest sentit, cal destacar que és tan important un canvi en l'energia mitjana de l'onatge com un canvi en la desviació típica de la distribució d'aquesta variable (Katz i Brown, 1992). D'aquesta manera, un augment en la intensitat i la desviació típica (i, per tant, de les cues de la distribució) del clima de tempestes marines, augmentarà la magnitud de la resposta costanera observada. Això es deu, en primer lloc, als augmentos en les taxes de transport transversal i longitudinal i els seus corresponents gradients. En segon lloc –i més important–, també es deu a la disminució dels períodes de retorn entre successos erosius de tipus impulsiu. Això implica que els processos naturals de recuperació, un ordre de magnitud més lent que els processos d'erosió, no tindran el temps suficient per actuar, i això comportarà un augment de la tendència erosiva neta a llarg termini.

Igualment, és important considerar el canvi en la direccionalitat de l'onatge, factor determinant també en la resposta costanera observada. Els models de circulació general no permeten fer prediccions fiables a escala local i les anàlisis realitzades fins ara han utilitzat hipòtesis de tipus empíric (Hoozemans, 1990). El canvi induït per aquesta variació direccional en la resposta costanera depèn de la geomorfologia, del volum de sediment disponible i de la relació i la seqüència de tempestes que actuen. Per tot això, és difícil preveure quin serà el canvi esperat. Habitualment, s'assumeixen els escenaris més negatius possibles per estimar el màxim retrocés esperable de la línia de costa (vegeu, per exemple, Luoisie i Kuik, 1990).

B11.5. Les zones estuàries

La major part de les zones estuàries del país estan fortament modificades per la pressió antròpica. Les aigües són utilitzades per al reg i el subministrament urbà i industrial. Aquest augment de les necessitats d'aigua ha estat satisfet amb la construcció d'un nombre creixent d'embassaments i amb una adequació de la política de regulació fluvial. Tot això ha suposat una reducció notable de la descàrrega d'aigua, sediments i nutrients que arriben a la desembocadura.

Prenent com a exemple l'estuari més característic de la costa catalana, el del riu Ebre, la seva descàrrega s'ha reduït aproximadament en un 30% durant el segle xx, pels motius descrits anteriorment (Ibañez et al., 1996). Els 42 quilòmetres inferiors del curs del riu funcionen normalment com un estuari altament estratificat, amb una falca salina, la dinàmica de la qual depèn de la descàrrega fluvial i de la batimetria i climatologia de la zona. Així doncs, un canvi d'estació o en la climatologia local suposa un canvi en la seva extensió i en la seva dinàmica. Per exemple, durant el període 1960-1990 la descàrrega mitjana del riu era de 424 m³/s (mesurats a Tortosa a 42km de la desembocadura). En el període 1980-1990, la descàrrega anual mitjana es va reduir a 300m³/s (Ibañez, 1993). L'elevat grau d'estratificació de la columna d'aigua, amb una interfase o haloclina ben marcada, és típica d'estuaris amb una marea de tipus micromareal (Dyer, 1997). La dinàmica estuària, tant en les condicions climàtiques presents com en les futures, estarà controlada pels factors següents:

- 1) Fluvials
- 2) Atmosfèrics
- 3) Marins.

Entre els primers, l'essencial és la descàrrega líquida del riu. Entre els segons, els principals són

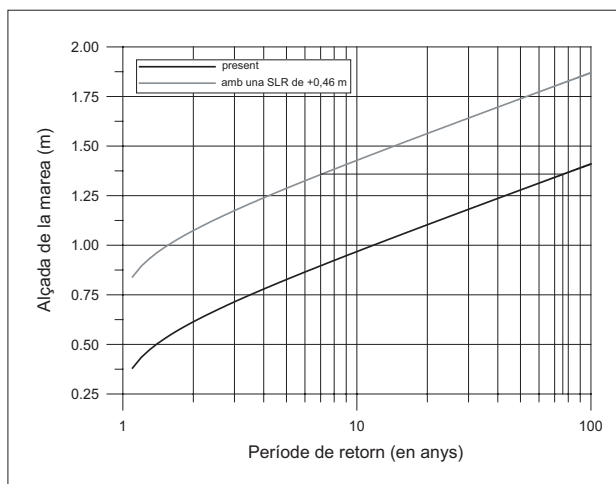


Figura B11.9. Clima de marea meteorològica al delta de l'Ebre, sota condicions actuals i sota una pujada mitjana del nivell del mar l'any 2100.

Font: elaboració pròpia.

el vent i la pressió atmosfèrica. Entre els tercers, els principals són l'onatge i el nivell mitjà del mar «receptor» (eventualment, també, dels corrents de la zona). Sota condicions climàtiques «normals», la falca salina oscil·la entre quatre posicions característiques controlades per la descàrrega fluvial i la topografia del fons (figura B11.10).

Pel que fa a la descàrrega líquida, abans que es modifiqui l'estructura estuària s'han d'excedir determinats llindars. Aquesta situació apareix resumida a la taula B11.2, que compara la posició de la falca salina amb la descàrrega fluvial. Com a resum pot dir-se que 400m³/s és el cabal crític que marca la diferència entre la presència o l'absència de la falca salina (Guillen, 1992; Ibañez, 1993; Sierra et al., 2002). En el cas del riu Ebre, la màxima penetració de la falca salina pot arribar a Amposta per a cabals entre 80 i 150m³/s i, eventualment, fins a Tortosa, a 42 km de la desembocadura (Aragón, 1943).

És important ressaltar l'efecte «memòria» de la zona estuària, mitjançant el qual la posició de la falca salina també es veu condicionada per la

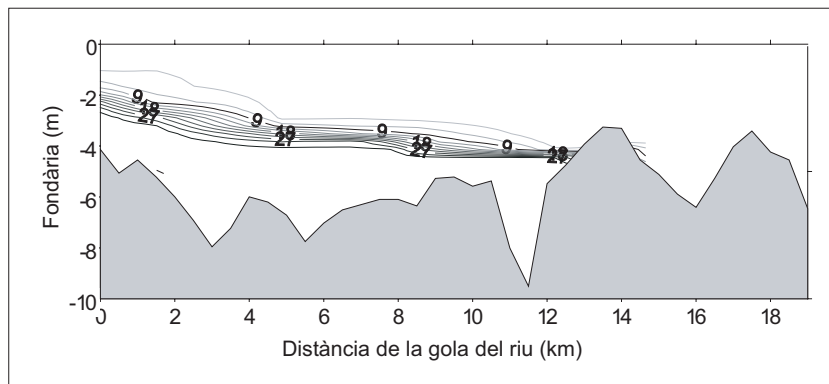


Figura B11.10. Distribució de salinitat a l'estuari de l'Ebre durant una campanya de la primavera de 1999. Font: elaboració pròpia.

Localització del límit de la falca salina	A	B	C
Sense falca	350-400 m ³ /s	>400 m ³ /s	Sense observacions
Migjorn (6 km)	250-350 m ³ /s	300-400 m ³ /s	>250 m ³ /s
Gracia (18 km)	150-250 m ³ /s	100-300 m ³ /s	>130-250 m ³ /s
Sapinya (21,5 km)	Sense observacions	80-100 m ³ /s	Sense observacions
Amposta (28,3 km)	<150 m ³ /s	<80 m ³ /s	<130 m ³ /s

Taula B11.2. Sumari dels valors de les descàrregues del riu (diàries) i localització del límit de la falca salina, segons diverses publicacions. Font: Guillén, 1992 (A); Ibáñez, 1993 (B) i Sierra et al., 2002 (C).

climatologia marina, meteorològica i fluvial dels dies anteriors (Sierra et al., 2004). L'estratificació es manté raonablement constant, tant a la capa superior com a l'inferior de la columna d'aigua, amb un fort gradient a l'interfase o haloclina, amb un gruix d'entre 0,5 i 1 metres. Més a prop de la desembocadura, es produeixen situacions de major turbulència i barreja i, per tant, augmenta l'amplitud de la interfase. Aquest efecte memòria també està associat a la presència de barres a la llera de la zona baixa del riu, que solen coincidir amb posicions «freqüents» de la falca salina. El llindar de 400 a 410 m³/s estimat per a la presència de falca salina (Sierra et al., 2004) tindrà una importància clau en la determinació de la presència i persistència d'a-

questa falca (en diferents escenaris futurs de canvi climàtic o en la hipòtesi d'un potencial transvasament de cabal del riu).

B11.6. Els impactes del canvi climàtic

Un possible canvi climàtic a escala regional alterarà les variables climatològiques que afecten la dinàmica costanera d'un manera combinada. Considerant deltes i estuaris, aquest canvi en la climatologia afectarà el seu component físic, ecològic i socioeconòmic. En aquest capítol només es consideren els canvis en el substrat físic. Pel que fa als deltes, les variables afectades per la climatologia poden agrupar-se, com s'ha dit abans, en *variables de formació* i *variables de reducció*.

Considerant primer la formació deltaica i, particularment, la taxa de precipitació (Mitchell et al., 1990; Palutikof, 1993) s'han obtingut augmentos de la precipitació a la tardor i l'hivern i disminucions a la primavera i l'estiu. Tanmateix, la precisió d'aquestes estimes per a la conca de la Mediterrània és limitada. Més encara, l'increment en la taxa de precipitació, considerant l'actual política de control fluvial, no és probable que produeixi canvis significatius.

La desertització o la coberta vegetal van associades al potencial d'erosió ja que, a més desertització, més fàcil és produir erosió a la conca de drenatge del riu. L'aportació sedimentària a la boca del riu dependrà de la política de regulació fluvial i de l'existència d'embassaments que actuen com a barreres al transport de sediments riu avall. Com que actualment la majoria dels deltes significatius estan regulats, aquests efectes a la climatologia es notaran amb una intensitat limitada.

Les variables climatològiques que afecten els processos de reducció actuen, com s'ha dit abans, sobre tota la franja costanera i no estan afectades per la política de regulació fluvial (només poden ser mitigades o augmentades per aquesta política). L'efecte de l'augment relatiu del nivell mitjà del mar depèn del perfil i topografia de la zona costanera, ja que a partir de les seves característiques existiran uns riscos d'erosió i inundació. Aquestes condicions controlaran la disminució del període de retorn d'inundacions (de 75 a 7 anys en un escenari d'augment del nivell mitjà del mar de 0,46 metres l'any 2100), fet que contribuirà a canviar l'ecologia i, per tant, la resistència de la zona a inundacions i erosions posteriors.

El canvi induït per la climatologia en les tempestes de la zona no pot estimar-se amb precisió per a una zona limitada com el Mediterrani Occidental (Raper, 1993; Schlesinger, 1993). Per aquest motiu no poden extreure's conclusions definitives per a una zona d'amplitud tan limitada. Tanmateix, les anàlisis realitzades amb da-

des limitades (de 15 a 20 anys) al mar del Nord mostren un lleuger augment anual de l'ordre de centímetres en l'alçada d'ona i una lleugera variació en la seva direccionalitat. Ambdós fenòmens produiran canvis en les taxes de transport i de dinàmica costanera que, per ser difícils d'estimar a priori, han de ser calculats en termes d'escenaris.

El fet més important és, sens dubte, considerar que no és sols la variació en la mitjana sinó en la desviació típica de qualsevol d'aquestes variables climatològiques la que realment afectarà la climatologia local i la resposta de la zona costanera (Katz i Brown, 1992). Efectivament, qualsevol canvi en la desviació típica de la distribució, fins i tot sense canvi en la mitjana, produirà un augment en la probabilitat d'ocurrència de successos extrems i, per tant, canvis més significatius en la resposta costanera, en general, i en deltes i estuaris, en particular.

Pel que fa als estuaris, i tenint en compte les mateixes limitacions que s'han posat de manifest en el cas dels deltes, es pot analitzar la seva resposta en termes de dinàmica climatològica, però sempre considerant l'impacte de la regulació fluvial. Si es pren com exemple el riu Ebre i s'analitza la intrusió de la falca salina durant el segle xx (en el període anterior a la construcció dels embassaments), pot ser il·lustratiu avaluar la sèrie temporal amb descàrregues anuals màximes i mínimes. Si es considera la descàrrega de l'any 1919 i la descàrrega de l'any 1931 (la descàrrega segona més alta i segona més baixa del període 1913-1931), es pot observar un augment de la presència i persistència de la falca salina en funció de la descàrrega fluvial immediatament anterior i, per tant, de l'efecte memòria a la conca baixa del riu (Sierra et al., 2004). La primera part del segle xx no va mostrar intrusió de la falca salina durant més de mig any, mentre que en el període 1990-1999 la intrusió salina va tenir lloc durant més de 9 mesos i, finalment, l'any 1999 va haver-hi una presència de falca salina durant més del 95% del temps de l'any (taula B11.3).

Campanya de camp	Data	Descàrrega mitjana (m³/s)
Pioneer I	03-04-99	183.90
	05-04-99	157.20
Pioneer II	07-07-99	119.80
	08-07-99	112.60
	12-07-99	129.40
Pioneer III	05-10-99	187.02
	06-10-99	241.87
Pioneer IV	03-02-00	302.82
	05-02-99	200.02

Taula B11.3. Sumari de dates i descàrregues del riu contemporànies a les mesures de salinitat al llarg del curs de l'estuari.

Font: elaboració pròpia.

Qualsevol canvi addicional en la climatologia o en les infraestructures amb un impacte comparable a la climatologia (com, per exemple, el projecte de transvasament de part del cabal líquid del riu proposat en el marc del derogat Pla Hidrològic Nacional) augmentaria la sensibilitat d'aquestes zones a qualsevol tipus d'impacte. En particular, una desviació del 15% del cabal anual a Tortosa, tal com s'havia planificant, hau-

ria produït una reducció dels pics (assumint que s'hagués mantingut en tot moment un cabal ecològic de 100m³/s i un augment lleuger en la salinitat) (figura B11.11). La mateixa situació hauria produït amb la salinitat a la capa inferior (figura B11.12).

Tanmateix, l'impacte sobre la dinàmica estuària depèn críticament de la manera com s'extreu aquest cabal del riu o en la manera com un canvi en la climatologia faci disminuir la descàrrega líquida del riu. Efectivament, és molt diferent extreure aquest cabal dels pics que extreure'l homogeniament al llarg de l'any. La descàrrega fluvial, amb la reducció considerada distribuïda proporcionalment al cabal del riu, es mostra a la figura B11.13. L'impacte d'aquesta desviació en diferents escenaris de descàrrega del riu (prenent com a any típic 1999 o l'any mitjà de la dècada 1990-1999 apareix a la taula B11.4).

La principal conclusió és que la disminució del cabal líquid del riu afectaria negativament la intrusió de la falca salina. Amb uns cabals com els de l'any 1999, l'estuari evolucionaria d'una situa-

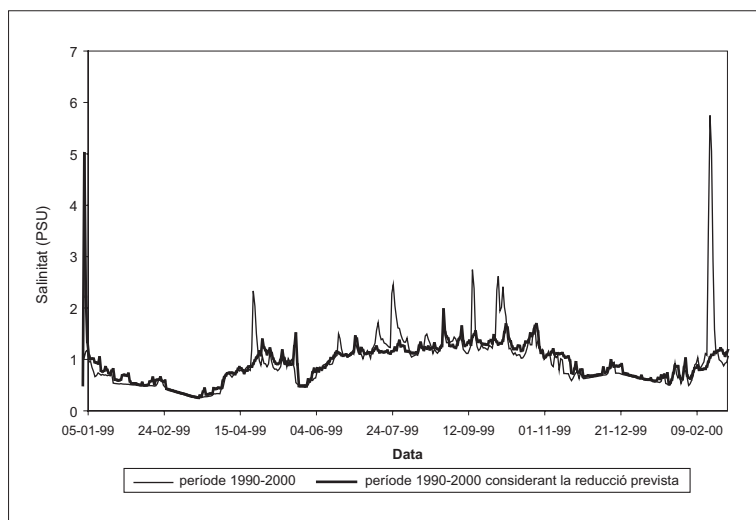


Figura B11.11. Valors de salinitat de la capa superior (al mig de l'estuari) considerant la reducció prevista al pla de transvasament (període 1999-2000) i sense considerar-la.

Font: elaboració pròpia.

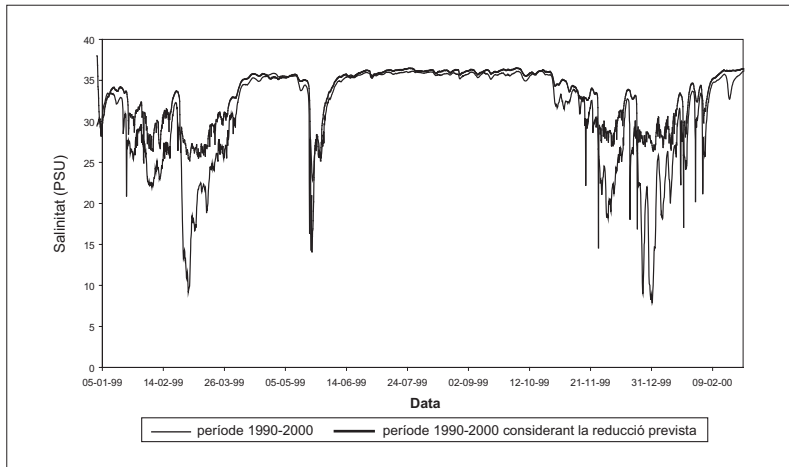


Figura B11.12. Valors de salinitat de la capa inferior (al mig de l'estuari), tenint en compte la reducció prevista al pla de transvasament (període 1999-2000) i sense considerar cap reducció atribuïble al transvasament. Font: elaboració pròpia.

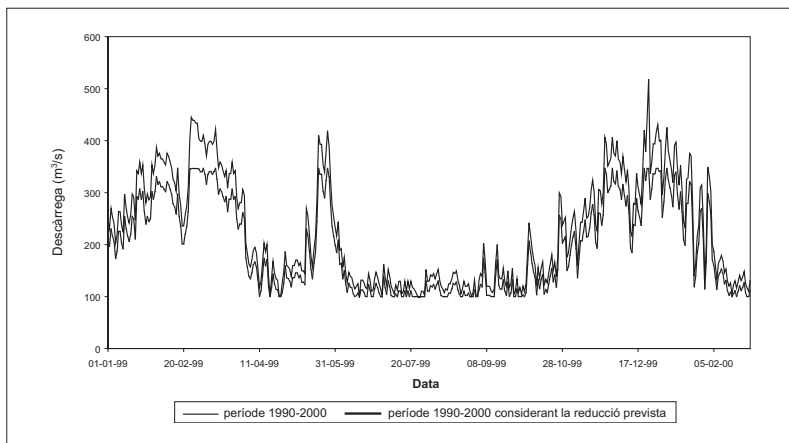


Figura B11.13. Descàrrega del riu amb la reducció associada a l'esquema de transvasament proposat i sense considerar-la. Font: elaboració pròpia.

ció en què no hi ha falca salina durant 16 dies a una situació en què la falca salina està permanentment present (Siecca et al., 2004). Per aquest motiu, tant l'extensió com la persistència de la falca salina són dues de les principals variables que, des del punt de vista físic, governen l'impacte climàtic en zones estuarianes. A partir d'elles es poden obtenir relacions amb descàrregues de nutrients i sediments que també afecten la dinàmica costanera i la productivitat biològica de la zona.

Aquests canvis climàtics a escala regional també afectaran altres trams de la costa catalana, amb més intensitat com més petit sigui el seu volum sedimentari i, per tant, la seva capacitat de reserva o resistència. A títol il·lustratiu, les zones amb cadenes de dunes a la reraplatja resistiran de manera molt més eficient qualsevol augment en la intensitat de les tempestes o ascens del nivell mitjà del mar. De la mateixa manera, aquests canvis en la climatologia afectaran les infraes-

Penetració de la falca salina L	1999 sense reducció	1990-1999 sense reducció	1999 amb reducció de 1.050 Hm ³	1990-1999 amb reducció de 1.050 Hm ³
Fora de l'estuari	4,5%	17,1%	0,0%	10,8%
1 < L < 5 km	18,4%	13,6%	7,6%	9,6%
5 < L < 10 km	4,5%	5,3%	3,6%	4,1%
10 < L < 15 km	16,0%	24,4%	23,5%	31,8%
15 < L < 20 km	11,4%	9,8%	14,7%	11,7%
20 < L < 25 km	32,6%	22,0%	14,1%	7,8%
25 km	12,6%	7,7%	36,4%	24,1%
Màxima (km)	28,4%	25,48%	31,24%	32,10%

Taula B11.4. Penetració de la falca salina (freqüències en %) sense reducció de cabals l'any 1999 i amb reducció, i un any mitjà virtual del període 1990-1999.

Font: elaboració pròpia.

estructures costaneres, tant pel que es refereix al nivell mitjà com a la intensitat de les tempestes. En efecte, les estructures costaneres han estat projectades per a un clima d'onatge determinat. Qualsevol augment en el nivell mitjà del mar també suposarà un increment en l'energia de les ones que arriben fins aquesta estructura i, per tant, una disminució de la seva seguretat envers la seva destrucció. Des del punt de vista funcional, qualsevol augment del nivell mitjà del mar o de la intensitat de les tempestes suposarà un augment de l'ascens de l'aigua sobre aquestes estructures i, per tant, del volum d'ultrapassament i paràmetres similars. Tots ells han de tenir-se en compte a l'hora d'avaluar l'impacte d'un possible canvi climàtic a escala regional.

B11.7. Vulnerabilitat i risc

La vulnerabilitat se sol definir com el producte de la probabilitat de fallida del sistema, multiplicat per l'avaluació dels danys associats. El risc o probabilitat de fallida del sistema ha de quantificar-se tenint en compte l'escala de temps i espai considerades i les incerteses existents en el càlcul. Així mateix, l'avaluació de danys ha de considerar aquestes escales de temps i espai i

utilitzar un procediment que incorpori tant la resposta negativa com positiva del sistema. La resposta negativa o susceptibilitat indica una degradació del sistema o la seva inhabilitat per enfrontar-se als termes modeladors en el seu estat actual. La resposta positiva o «resiliència» implica una millora del sistema o de la seva habilitat per enfrontar-se als termes impulsors.

Per aplicar aquests conceptes a un procés costaner, és necessari introduir les escales de temps adequades i també és útil l'ús d'un índex de vulnerabilitat que resumeixi aquesta informació, moltes vegades difusa i imprecisa, en un conjunt limitat de paràmetres. Un índex de vulnerabilitat parcial proposat a Sánchez-Arcilla et al. (1998) és el següent:

$$V_i = Q_i \cdot S_i \cdot L_c + R_i \cdot L_c$$

on S_i és l'índex de susceptibilitat, R_i és l'índex de resiliència, L_c és un factor de control local que actua com a 1 o 0 (eventualment un valor intermedi), i Q_i és un índex que reflecteix l'extensió espacial del procés analitzat.

Tipus d'anàlisi	Mesura	Resposta	SI	RI
Absoluta	Canvi del «recurs»/ stock	Disminució	-1	0
		Manteniment/augment	0	1
Relativa	Sistema sota escenari/ referència	Empitjorament	-1	0
		Millora/sense canvi	0	1

Taula B11.5. Índexs de susceptibilitat (SI) i «resiliència» (RI) i resposta del sistema associat per tal de ser utilitzat en l'anàlisi de vulnerabilitat.

Font: elaboració pròpia.

Agent	SI	RI	Resposta
Descàrrega fluvial	-1	0	Disminució capacitat transport
	0	1	Augment capacitat transport
RSLR	-1	0	Acreció vertical < RSLR
	0	1	Acreció vertical = RSLR
RSLR	-1	0	Erosió costanera
	0	1	Estabilitat/acreció costanera
Processos barrera	-1	0	Rollover limitat
	0	1	Rollover augmentat
Clima d'onatge	-1	0	Augment capacitat transport
	0	1	Disminució de capacitat transport
	?	?	Canvi direcció transport

Nota: l'interrogant (?) significa que una valoració a priori no pot completar-se sense conèixer les conseqüències finals.

Taula B11.6. Índexs de susceptibilitat (SI) i «resiliència» (RI) a llarg termini per a agents que afecten la vulnerabilitat geomòrfica i processos associats a aquesta escala.

Font: elaboració pròpia.

Agent	SI	RI	Resposta
Switching fluvial	-1	0	Lòbul abandonat
	0	1	Lòbul creat
Switching fluvial	-1	0	Aportació sediment «protegida»
	0	1	Aportació «exposada»
Riuades	-1	0	Wash-out sediment
	0	1	Aportació sediment
Tempestes d'onatge	-1	0	Erosió / trencament
	0	1	Aportació sediment <i>hinterland</i>

Taula B11.7. Índexs de susceptibilitat (SI) i «resiliència» (RI) a escala episòdica per a agents que afecten la vulnerabilitat geomòrfica i processos associats a aquesta escala.

Font: elaboració pròpia.

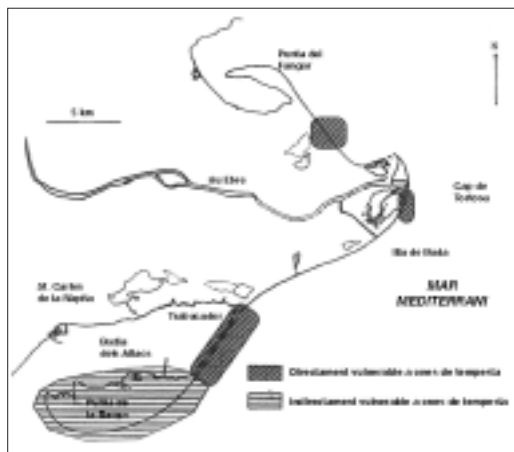


Figura B11.14. Índex de vulnerabilitat qualitatiu del delta de l'Ebre a escala «episòdica». Font: elaboració pròpia.

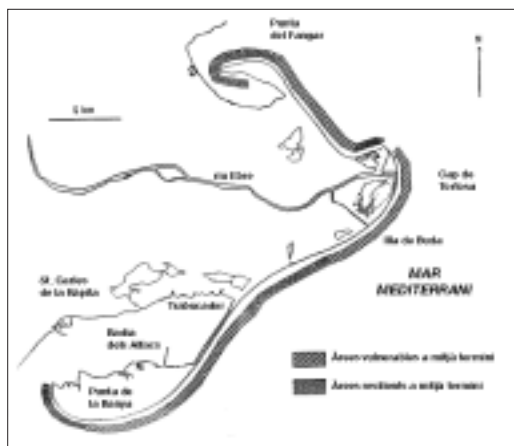


Figura B11.15. Vulnerabilitat causada pels canvis produïts a mig termini pel transport al llarg de la costa del delta de l'Ebre. Font: elaboració pròpia.

La taula B11.5 mostra una il·lustració de l'avaluació binària dels índexs de susceptibilitat o resiliència per a un tram de costa determinat. Una aplicació d'aquesta metodologia als índexs a llarg termini de susceptibilitat i resiliència per a una zona deltaica (en aquest cas el delta de l'Ebre) es troba recollida a la taula B11.6. De la mateixa manera, l'avaluació de successos episòdics, els més determinants de la remodelació del substrat físic en qualsevol tram de costa, es mostra a la taula B11.7 per a la zona del delta de l'Ebre.

L'esquematzació d'aquests índexs, amb la seva corresponent àrea de definició espacial, per a aquesta mateixa zona deltaica apareix a la figura B11.14. L'avaluació de la corresponent vulnerabilitat en una escala de termini mitjà apareix a la figura B11.15. Com pot observar-se al mapa de vulnerabilitat, canvia considerablement en funció de l'escala temporal seleccionada.

L'avaluació de la vulnerabilitat conjunta del sistema, tenint en compte els seus diversos components, requereix ampliar el marc d'anàlisi. Per això, és necessari esquematitzar el tram costaner explicitant els termes impulsors, els corresponents processos associats i com ambdós afecten els usos i recursos que aquest tram costaner suporta. Com a il·lustració del diagrama conceptual necessari per a una zona deltaica, la figura B11.16 mostra l'esquema derivat per a la zona costanera del delta de l'Ebre.

El punt clau d'aquest esquema és la identificació i la quantificació dels fluxos que lliguen uns elements amb altres. Aquests fluxos varien en magnitud i, fins i tot, en definició al canviar d'escala de temps. Per exemple, les pràctiques de reg i la construcció de preses i embassaments no afecten l'erosió costanera a curt termini, però sí que juguen un paper determinant en la dinàmica costanera a mitjà i llarg termini. Això és degut al control que exerceixen ambdós elements en l'aportació sòlida que el riu lliura a la costa.

B11.8. Les estratègies de resposta

Les estratègies clàssiques de gestió costanera comprenen el retrocés, l'adaptació i la defensa del litoral. Aquestes mateixes estratègies són d'aplicació envers un eventual canvi climàtic a escala regional.

L'estratègia de retrocés requereix, en primer lloc, l'espai necessari per a la reubicació dels usos i recursos que suporta el tram costaner. Aquesta estratègia, en cas d'existir el recurs espai necessari, és la més concordant amb les grans incerteses associades a la predicció del canvi climàtic a escala

regional i no suposa cap hipoteca de la zona a escales futures de temps. L'estratègia d'adaptació requereix un plantejament diferenciat per a l'erosió i la inundació. Així mateix exigeix una flexibilitat social i econòmica, augmentada pel nivell d'incertesa en les prediccions, que no és fàcil d'aconseguir.

Els riscos i els costos associats al procés d'inundació poden predir-se amb uns certs límits d'incertesa i han de ser, en qualsevol cas, ben coneguts per tots els usuaris i gestors de la franja costanera. Les defenses davant de les inundacions requeriran, de la mateixa manera, un manteniment continuat, i el seu eventual recreixement davant la possible subsidència del tram costaner o el corresponent augment eustàtic del nivell mitjà del mar. Aquesta és la pràctica de països com Holanda, enfrontats secularment a aquest problema.

L'estratègia de lluita contra l'erosió, des de la perspectiva de l'adaptació, requereix així mateix la ubicació d'estructures i usos flexibles a la interfase terra-mar. La tendència que actualment està acceptada de forma més universal va associada a la utilització d'una vegetació de recolzament i dissipació que permeti esmorteir els riscos d'erosió.

L'estratègia de defensa habitualment més acceptada per la societat a causa del seu «aparent» monolitisme, requereix uns costos inicials importants i cal no oblidar que també requereix costos de manteniment. La història de les estructures de defensa i protecció costanera al llarg de la costa del Maresme són un bon exemple de la necessitat de manteniment constant. Per aquest motiu, aquesta estratègia de defensa, tant davant de l'erosió com de la inundació, només pot plantejar-se per trams de costa concrets i sempre tenint en compte l'horitzó temporal. També s'ha de considerar el seu nivell d'incerte-

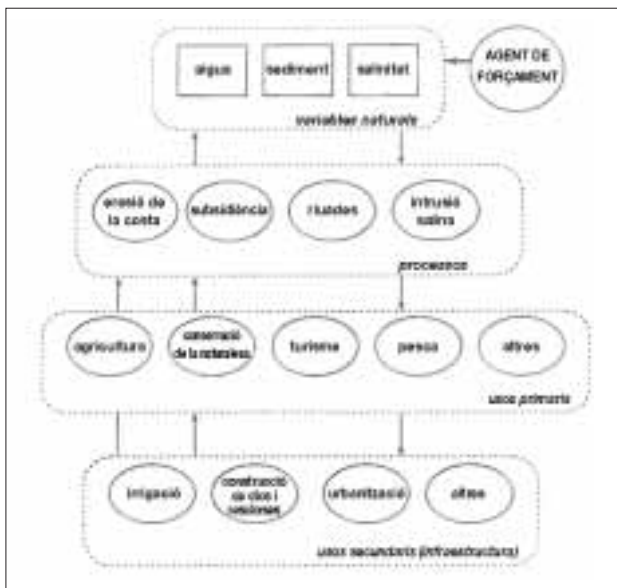


Figura B11.16. Esquema del sistema deltaic segons els processos i usos principals. Font: adaptat de Otter et al., 1996.

sa, tant en la resistència estructural de la solució adoptada com en el seu disseny funcional.

La millor solució, per a qualsevol escala temporal seleccionada, consisteix en la combinació dels tres elements, tot això dins del marc d'un pla integral de la zona costanera.

B11.9. La planificació costanera

Com ja s'ha esmentat anteriorment, la gestió i l'ordenació de la zona costanera, a qualsevol escala de temps, requereixen una planificació que intenti harmonitzar els diferents usos i recursos que aquesta zona suporta amb la seva dinàmica natural intrínseca. Davant d'un possible canvi climàtic a escala regional, caldrà introduir en aquesta planificació la dinàmica afegida al canvi en la climatologia. Aquesta exigència pot concretar-se en:

- Incorporar escenaris de canvi climàtic a escala regional que permetin quantificar el canvi en els termes impulsors i en la corresponent resposta costanera. Això suposa un coneixement

adequat de la climatologia terrestre, fluvial, marítima i atmosfèrica a escala local i sèries temporals suficientment llargues de les variables climatològiques necessàries.

- La decisió d'actuar anticipadament per permetre la remodelació de les estructures costaneres. Això és degut al fet que no és possible enfrontar-se de forma simultània i impulsiva a la remodelació de les estructures costaneres de tota la costa catalana, ja que qualsevol petita actualització requerirà un termini de l'ordre d'una dècada abans de poder-se finalitzar. Per això cal actuar anticipadament a l'ocurrència del canvi en la climatologia, per gradual que aquest sigui.
- Un pla integrat d'usos i recursos en la zona costanera, que disminueixi els conflictes existents entre ells i eviti la hipoteca d'aquesta zona envers futures alteracions climàtiques. Aquest pla ha d'incorporar la incertesa i limitació en el coneixement dels termes impulsors i la corresponent resposta costanera. Aquest pla també ha d'estar adaptat als diversos valors que existeixen en aquesta zona, en particular els valors naturals, els valors econòmics i els valors socials. Finalment, aquest pla ha d'estar adequat a la legislació local, autonòmica, estatal i europea que afecta la zona costanera.

La planificació costanera, complint els anteriors requisits, ha de realitzar-se en primer lloc per a les zones costaneres més vulnerables a un canvi eventual en la climatologia. Pel que fa a la costa catalana, aquestes zones són:

- Els deltes i els estuaris, pel delicat equilibri de factors naturals que els configuren.
- Les costes rígides per efecte de les infraestructures de diversos tipus (carreteres, ferrocarrils, passeigs marítics, etc.), ja que estan en contra del caràcter intrínsec (dinàmic) de la franja costanera.

En ambdós casos, aquests plans han de considerar l'erosió generalitzada de tota la costa del pla-

neta. Aquesta erosió és deguda, en primer lloc, a una falta generalitzada de material sedimentari i, en segon lloc, a un canvi o acceleració en la climatologia.

B11.10. Les campanyes d'observació

La primera conclusió és que la mesura de la vulnerabilitat o el risc de la zona costanera a un eventual canvi climàtic a escala regional ha d'incorporar el dinamisme d'aquesta zona. Dit això és important, en termes, per exemple, de l'erosió, no mesurar la posició de la línia de costa, que és dinàmica, sinó la taxa d'erosió, i comparar aquesta taxa d'erosió en un escenari de canvi climàtic amb l'actual taxa d'erosió. Addicionalment ha de comparar-se també el «consum» en el recurs costaner considerat amb el volum existent d'aquest recurs. Pel procés d'erosió, per exemple, s'ha de considerar el retrocés estimat de la línia de costa en un horitzó temporal de, per exemple, dues dècades, amb l'amplada que la platja té actualment. La probabilitat de fallada dependrà, lògicament, del romanent de platja que existeixi una vegada consumat aquest procés erosiu.

Des del punt de vista de les principals variables afectades per un eventual canvi climàtic, per a les zones costaneres baixes, s'ha fet referència als processos d'erosió i inundació. L'eventual canvi en la climatologia suposarà:

- Un augment dels processos erosius, especialment als trams costaners més sensibles, com poden ser les costes deltatiques i estuarianes
- Una disminució del període de retorn dels successos d'inundació associats, al litoral mediterrani, a marees meteorològiques (amb una disminució del període de retorn en un ordre de magnitud, de 70 a 7 anys per exemple, tal com s'ha exposat en seccions anteriors).

Pel que fa les zones estuarianes, les dues principals variables a què s'ha fet referència són la penetració de la falca salina i el seu període de residència. Un augment del nivell mitjà del mar relatiu anirà associat a un increment en la dis-

tància de penetració de la falca salina, amb els conseqüents problemes de salinització i a un major temps de residència d'aquella. Pel contrari, un augment en els processos de precipitació torrencial afavorirà la presència de breus períodes sense falca salina, amb la conseqüent renovació de volums d'aigua anòxics i l'associada millora en la qualitat de l'aigua.

Per a una quantificació precisa de tots aquests processos i efectes cal disposar de sèries temporals prou llargues que permetin detectar el possible canvi de climatologia a escala regional. Aquestes campanyes d'observació han de tenir un nivell de qualitat i precisió suficient, ja que han de registrar petits canvis que succeiran de manera molt gradual. Com a exemple, l'ascens eustàtic del nivell mitjà del mar és, aproximadament, d'1 mm anual, per la qual cosa les campanyes de mesura han de poder permetre estimar aquest ordre de magnitud, tot i que la quantificació definitiva requereixi períodes d'observació superiors a la dècada. Això suposa un esforç observacional notable i el benefici del qual únicament serà aparent per a les properes generacions.

Quant a les variables clau que cal monitoritzar per detectar aquest canvi en la climatologia, poden dividir-se en dos grans grups: les variables associades als termes impulsors i les variables associades a la resposta del substrat costaner. De les variables associades als termes impulsors s'ha donat especial rellevància a les següents:

- Clima d'onatge.
- Clima de vent i pressió atmosfèrica.
- Clima del nivell mitjà del mar.
- Clima de descàrrega líquida i sòlida dels rius.

Pel que es refereix a la resposta física del substrat costaner, tal com s'ha esmentat anteriorment, les variables clau fan referència al comportament en planta i perfil del tram costaner. No és necessari monitoritzar amb el mateix grau d'intensitat tots els sectors costaners: caldrà prioritzar aquells amb una major vulnerabilitat natural (deltes o

estuàries) o aquells que per la seva «rigidització» antròpica o els seus elevats valors socioeconòmics així ho requereixin.

B11.11. Conclusions

Encara que el més «natural» en el clima és la seva variabilitat i el seu canvi permanent, avui dia hi ha consens en el món científic respecte a l'acceleració i globalització en el canvi d'algunes variables climàtiques. L'augment de la temperatura mitjana global del planeta n'és una mostra.

Aquest «canvi climàtic» a escala global és molt més difícil de quantificar, tant en magnitud com en signe, a escala regional o local. Tot i això, i pel fràgil equilibri i alt valor de la zona costanera, és necessari començar a actuar, assumint que aquest canvi climàtic és cert i «durador» a una escala decadal, que és la que correspon a les actuacions i vida humana.

D'acord amb la revisió de termes impulsors realitzada anteriorment, els principals factors modeladors de la costa associats al possible canvi climàtic són:

- L'ascens relatiu del nivell mitjà del mar, ja que tot i que la component eustàtica és l'associada al canvi climàtic, la costa només reacciona a l'ascens relatiu.
- L'augment en la persistència de les tempestes i el lleuger increment en la seva intensitat (almenys a l'Atlàntic nord). Aquest creixement de la persistència augmenta tanmateix els processos d'erosió i inundació, ja que no permet la recuperació natural del cos sedimentari.
- L'augment de la freqüència d'inundacions (disminució del seu període de retorn), amb la conseqüent disminució de la capacitat de recuperació natural dels trams afectats.
- La disminució del volum sedimentari disponible a les costes sorrenques de Catalunya que, tal com s'ha indicat anteriorment, es deu a l'erosió acreixentada per l'ascens relatiu del nivell mitjà del mar i a la disminució de l'aportació sedimentària dels rius. Aquesta disminució, inde-

pendentment d'altres factors, està associada des del punt de vista del canvi climatològic a la torrencialització dels règims fluvials i l'augment de les pèrdues cap a la plataforma continental.

La resposta de la costa a aquests factors modeladors depèn, tal com s'ha indicat, de la morfologia costanera. Les costes sedimentàries baixes són les que respondran primer a aquests canvis i, per aquest motiu, la tipologia més vulnerable a aquest canvi climatològic correspon a deltes i estuaris. En ambdós ambients és previsible una acceleració dels actuals processos d'erosió i inundació associats al canvi climàtic previst.

Aquesta resposta disminueix la probabilitat de supervivència d'aquestes zones costaneres en el seu estat actual, fet que suposa un augment de la seva vulnerabilitat (tal com s'ha definit anteriorment) ja que tant els deltes com els estuaris compleixen importants funcions naturals i econòmiques.

En particular, els principals deltes de la costa catalana, inclosos els de l'Ebre, Llobregat i Torredra, juntament amb la resta d'aiguamolls costaners, apareixen com a directament amenaçats per aquest canvi local en la climatologia. L'augment relatiu del nivell mitjà del mar, la carència progressiva d'aportacions sedimentàries i la major persistència i freqüència de les tempestes marines implicaran una pèrdua de territori costaner, a menys que s'actui de manera urgent.

Aquesta actuació ha de començar amb suficient antelació a fi d'anticipar-se al possible canvi climàtic, ja que no serà factible defensar totes les costes baixes de Catalunya simultàniament i en un període de temps curt. Per tot això és recomanable començar des d'ara la planificació de les estratègies de resposta per poder disposar d'una a dues dècades de marge en la seva implementació, tal com realitzen països més directament amenaçats.

Les estratègies de resposta possibles han de considerar la geomorfologia, l'ecologia i l'economia

de cadascun dels trams costaners, juntament amb les infraestructures existents i la percepció social i valors culturals de les comunitats que «utilitzen» aquests trams. La valoració de les funcions naturals i econòmiques justificaran o limitaran la inversió per encarar-se al canvi climàtic local. Qualsevol actuació costanera haurà de poder integrar-se en una planificació integral del tram, entenent com a tal la unitat fisiogràfica, ecològica i socioeconòmica corresponent. Aquestes actuacions, tal com s'ha indicat, seran essencialment de dos tipus: les actuacions de retrocés, que han de valorar acuradament les implicacions de la pèrdua de territori i la disponibilitat d'espai a la franja costanera, i les actuacions de protecció i/o defensa, que han de valorar, també acuradament, els costos de construcció inicial i manteniment junt amb les implicacions de l'impacte costaner d'aquestes obres.

En ambdós casos s'hauran de realitzar les valoracions amb un horitzó temporal únic i consistent amb la velocitat de canvi previst per a la climatologia. Aquest és l'únic enfocament que permetrà una comparació sota diversos escenaris de canvi climàtic. Aquesta anàlisi caldrà que es realitzi en el marc d'una gestió integral de la zona costanera que tingui molt present el seu caràcter dinàmic i la impossibilitat de mantenir (sostenir) una línia de costa «fixa» en la seva posició actual.

Agraïments

Aquest text s'ha basat en diversos projectes de recerca, passats i presents. Dins d'aquests darrers mereixen especial atenció el projecte *PREVIMED* (REN2002-03415, Ministerio de Ciencia y Tecnología) i el projecte *ECOSUD* (ICA4/CT200110027), Comissió Europea i la fase de preparació del projecte *FLOODSITE* (contracte en tràmit FP6-505420, Comissió Europea). Els autors també voldrien agrair l'aportació del personal de recerca del Laboratori d'Enginyeria Marítima de la Universitat Politècnica de Catalunya (LIM/UPC) i del Centre Internacional d'Investigació dels Recursos Costaners (CIIRC).

Referències bibliogràfiques

- ACKERS, P.; WHITE, W.R. (1973). «Sediment Transport: New Approach and Analysis». *J. Hydraulic Div. ASCE*, núm. 99, HY11, p. 2041-2060.
- ARAGÓN, J. (1943). *Informe Sobre la Salinidad del Agua del Ebro, Informe Técnico*. Madrid, Instituto Nacional de Colonización.
- BARNETT, T.P. (1990). «Low-Frequency Changes in Sea Level and their Possible Causes». A: LeMehaute, B. i Hanes, D. (eds.) *Ocean Engineering Science*. New York: Wiley-Interscience, p. 841-867. (The Sea, vol. 10).
- BROADUS, J.; MILLIMAN, J.D.; EDWARDS, S.F.; AUBREY, D.G.; GABLE, F. (1986). «Rising Sea Level and Damming of Rivers: Possible Effects in Egypt and Bangladesh». In Titus, J.G. (ed.), *Effects of Change in Stratospheric Ozone and Global Climate*, vol. 4, Sea Level Rise, UNEP/EPA, p. 165-189.
- BRUUN, P. (1962). «Sea-Level Rise as a Cause of Shore Erosion». *J. Waterw. Harbours Div. ASCE* 88, WW1, p. 117-130.
- CARTER, D.J.T.; DRAPER, L. (1988). «Has the North Sea become Rougher?» *Nature*, núm. 332, p. 494.
- COLEMAN, J.M.; WRIGHT, L.D. (1973). «Variability of Modern River Deltas Golf Coast». *Ass. Geol. Soc. Trans.* núm. 23, p. 33-36.
- DAY, J.W.; TEMPLET, P.H. (1989). «Consequences of Sea Level Rise: Implications from the Mississippi Delta». *Coast. Managem.*, núm. 17, p. 241-257.
- DE VALK, C.F. de (1994). A Model of the Probability Distribution of Bivariate Storms Extremes Implemented to Computer Simple Risks Estimates, Report H2131, Delft Hydraulics.
- DE VRIEND, H.J. (1991). «Mathematical Modelling and Large-Scale Coastal Behaviour. Part I: Physical Processes». *J. Hydraulic Res.*, núm. 29, 6, p. 727-740.
- DE VRIEND, H.J.; CAPOBIANCO, M.; CHESCHER, T.; DE SWART, H.E.; LATTEUX, B.; STIVE, M.J.F. (1994). «Long-Term Modelling of Coastal Morphology». *Coastal Eng.*, núm. 21, p. 225-269.
- DELFT HYDRAULICS (1993). *Sea Level Rise. A Global Vulnerability Assessment*. (2nd Revised Edition), The Netherlands.
- DYER, K.R. (1997). *Estuaries: A Physical Introduction*. Chichester: John Wiley & Sons.
- EMERY, K.O.; AUSBREY, D.G. (1991). *Sea Levels, Land Levels and Tide Gauges* New York: Springer-Verlag, p. 237.
- GALLOWAY, W.E. (1975). «Process Framework for Describing the Morphologic and Stratigraphic Evolution of Deltaic Depositional Systems». A: Broussard, M.L. (ed.), *Deltas, Models for Exploration*. Houston: Houston Geological Society, p. 87-98.
- GUILLÉN, J.; DÍAZ, J.I.; PALANQUES, A. (1992). «Cuantificación y evolución durante el siglo XX de los aportes de sedimento transportado como carga fondo por el río Ebro al medio marino». *Rev. Soc. Geol. Esp.*, núm. 5, 27-37.
- GUILLÉN, J. (1992). *Dinámica y balance sedimentario en los ambientes fluvial y litoral del Delta del Ebro*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. (Tesi doctoral).
- HOOZEMANS, F.M.J. (1990). «Long Term Changes in Wind and Wave Climate on the North Sea». In Proc. 22nd Coastal Eng. Conf., ASCE, p. 1888-1894.
- IBAÑEZ, C. (1993). *Dinámica hidrológica y funcionamiento ecológico del tramo estuarino del río Ebro*. Tesis doctoral, Universitat de Barcelona, Barcelona.
- IBAÑEZ, C.; PRAT, N.; CANICIO, A. (1996). «Changes in the Hydrology and Sediment Transport Produced by Large Dams on the Lower Ebro River and its Estuary». *Regulated Rivers: Research & Management*, núm. 12, p. 51-62.
- IPCC, 1992, *Global Climate Change and the Rising Challenge of the sea*. CZM Subgroup, Rijkswatersaat, M. Public Works, The Hague.
- JIMENEZ, J.A.; VALDEMORO, H.I.; SANCHEZ-ARCILLA, A.; STIVE, M.J.F. (1993). «Erosion and Accretion of the Ebro Delta Coast: a Large Scale Reshaping Process». In *Large Scale Coastal Behaviour'93*, US Geological Survey, Open File Report 93-381, p. 88-91.
- JIMENEZ, J.A.; GARCIA, M.A.; SANCHEZ-ARCILLA, A. (1990). *Análisis y Propuesta de Soluciones para Estabilizar el Delta del Ebro*. Estimación del Transporte de Sedimentos en el Ebro. Contribucion a la Evolucion Costera, Informe Técnico LT-2/7, Generalitat de Catalunya, Barcelona, p. 25.
- JIMENEZ, J.A.; SANCHEZ-ARCILLA, A. (1993). «Medium-Term Coastal Response at the Ebro Delta, Spain», *Marine Geology*, núm. 114, p. 105-118.
- JIMENEZ, J.A.; SANCHEZ-ARCILLA, A. (1997). «Physical Impacts of Climatic Change on Deltaic Coastal Systems (II): Driving Terms». *Climatic Change*, núm. 35, p. 95-118.
- JIMÉNEZ, J.A.; SÁNCHEZ-ARCILLA, A.; VALDEMORO, H.I.; GRACIA, V.; NIETO, F. (1997). «Processes reshaping the Ebro delta». *Marine Geology*, núm. 144, p. 59-79.

- JIMÉNEZ, J.A.; GUILLÉN, J.; GRACIA, V.; PALANQUES, A.; GARCÍA, M.A.; SÁNCHEZ-ARCILLA, A.; PUIG, P.; PUIGDEFÁBREGAS, J.; RODRÍGUEZ, G. (1999). «Water and sediment fluxes on the Ebro delta shoreface: On the role of low frequency currents». *Marine Geology*, núm. 157, p. 219-239.
- KATZ, R.W.; BROWN, B.G. (1992). «Extreme Events in Changing Climate: Variability is More Important than Averages». *Clim. Change*, vol. 21, núm. 3, p. 289-302.
- LEE, A.C.; OSBORNE, R.H. (1995). «Relative Fluxes of Sand for Southern California Beaches: Fourier Grain-Shape Analysis». *Shore & Beach*, vol. 63, núm. 3, p. 9-19.
- LINDZEN, R.S. (1994). «Climate Dynamics and Global Change». *Ann. Rev. Fluid Mech.*, núm. 26, p. 353-378.
- LUOISSE, C.J.; KUIK, A.J. (1990). «Coastal Defense Alternatives in the Netherlands». A: *Proc. 22nd Coastal Engineering Conference*, ASCE, p. 1.862-1.875.
- MITCHELL, J.F.B.; MANABE, S.; TOKIOKA, T.; MELESHKO, V. (1990). «Equilibrium Climate Change and its Implications for the Future». A: Houghton, J.T., Jenkins, G.J., Ephraums, J.J. (eds.). *Climate Change. The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 131-172.
- MITOSEK, H.T. (1995). «Climate Variability and Change within the Discharge Time Series: A Statistical Approach». *Clim. Change*, vol. 29, núm. 1, p. 101-116.
- MORHANGE, C. (1994). *La mobilité récente des Littoraux Provençaux: Elements d'Analyse Géomorphologique*. Aix-en-Provence: Université de Provence. (Thèse de 3ème cycle.)
- NAKATO, T. (1990). «Tests of Selected Sediment-Transport Formulas». *J. Hydraulic Eng.*, vol. 116, núm. 3, p. 362-379.
- PALUTIKOF, J.P. (1993). «Mediterranean Land Use and Desertification - The Medalus Project». A: Troen, I. (ed.) *Proc. Symp. Climate Change and its Impacts*. Copenhagen, p. 165-172.
- PALUTIKOF, J.P.; GUO, X.; WIGLEY, T.M.L.; GREGORY, J.M. (1992). «Regional Changes in Climate in the Mediterranean Basin due to Global Greenhouse Gas Warning». Athens: UNEP, p. 172. (MAP Technical Reports Series, 66).
- PIRAZZOLI, P.A. (1991). *World Atlas of Holocene Sea-Level Changes*. Amsterdam: Elsevier, p. 300.
- RAPER, S.C.B. (1993). «Observational Data on the Relationships between Climatic Change and the Frequency and Magnitude of Severe Tropical Storms». A: Warrick, R.A., Barrow, E.M., Wigley, T.M. (eds.) *Climate and Sea Level Change. Observations, Projections and Implications*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 192-212.
- SANCHEZ-ARCILLA, A.; JIMENEZ, J.A. (1994). «Breaching in a Wave-Dominated Barrier Split: The Trabucador Bar (Northeastern Spanish Coast)». *Earth Surf. Proc. Landf.*, núm. 19, p. 483-498.
- SANCHEZ-ARCILLA, A.; STIVE, M.J.F.; JIMENEZ, J.A.; GARCIA, M.A. (1993). «Impacts of Sea Level Rise in a Mediterranean Delta: The Ebro Delta Case». A: *Sea Level Changes and their Consequences for Hydrology and Water Management, Seachange'93*. UNESCO IHP-IV, IV p. 53-62.
- SANCHEZ-ARCILLA, A.; JIMENEZ, J.A. (1997). «Physical Impacts of Climatic Change on Deltaic Coastal Systems (I): An Approach». *Climatic Change*, núm. 35, p. 71-93.
- SANCHEZ-ARCILLA, A.; JIMENEZ, J.A.; VALDEMO-RO, H.I. (1998). «The Ebro Delta: Morphodynamics and Vulnerability». *Journal of Coastal Research*, vol. 14, núm. 3, p. 754-772.
- SCHLESINGER, M.E. (1993). «Model Projections of CO₂-Induced Equilibrium Climate Change». A: Warrick, R.A., Barrow, E.M., Wigley, T.M. (eds.) *Climate and Sea Level Change. Observations, Projections and Implications*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 169-191.
- SCOR (Scientific Committee on Ocean Research) (1991). «The Response of Beaches to Sea-Level Changes: A Review of Predictive Models». *J. Coastal Res.*, vol. 7, núm. 3, p. 895-921.
- SESTINI, G.; JEFTIC, L.; MILLIMAN, J.D. (1989). *Implications of Expected Climate Changes in the Mediterranean Region: an Overview*. Atenes: UNEP, p. 52. (MAP Technical Reports Series, 27).
- SIERRA, J.P.; SANCHEZ-ARCILLA, A.; GONZALEZ DEL RIO, J.; FLOS, J.; MOVELLAN, E.; MOSSO, C.; MARTINEZ, R.; RODILLA, M.; FALCO, S.; ROMERO, I. (2002). «Spatial Distribution of Nutrients in the Ebro Estuary and Plume». *Continental Shelf Research*, vol. 22, núm. 2, p. 361-378.
- SIERRA, J.P.; SANCHEZ-ARCILLA, A.; FIGUERAS, P.A.; GONZALEZ DEL RIO, J.; RASSMUSSEN, E.K.; MOSSO, C. (2004). «Effects of Discharge Reductions on Salt Wedge Dynamics of the Ebro River». *River Res. Applic.*, núm 19, p. 1-17.
- SUANEZ, S. (1995). «Estimation de la Remontée Relative du Niveau Marin et des Mouvements du Sol dans le Delta du Rhône a Partir des Enregistrements Maregra-

phiques». *Meeting on Impact of RSLR in the European Coast, Aix-en-Provence* (Also submitted to *Compte Rendu de l'Académie des Sciences de Paris*).

SUHAYDA, J.N. (1987). «Subsidence and Sea Level». A: Turner, R.E., Cahoon, D.R. (eds.). *Causes of Wetlands Loss in the Coastal Central Gulf of Mexico. Volume II: Technical Narrative*. New Orleans: OCS Study/MMS 87-0120, Minerals Management Service, p. 187-202.

STANLEY, D. (1988). «Subsidence in the Northeastern Nile Delta: Rapid Rates, Possible Causes and Consequences». *Science*, núm. 240, p. 497-500.

THOMAS, R.H. (1986). «Future Sea Level Rise and Its Early Detection by Satellite Remote Sensing». A: Titus, J.G. (ed.) *Effects of Changing Stratospheric Ozone and Global Climate*, vol. 4: *Sea Level Rise*. UNEP, EPA, p. 19-36.

VAN RIJN, L.C. (1984a). «Sediment Transport. Part I: Bed Load Transport». *J. Hydraulic Eng.*, vol. 110, núm. 10, p. 1.431-1.456.

VAN RIJN, L.C. (1984b). «Sediment Transport. Part II: Suspended Load Transport». *J. Hydraulic Eng.* vol. 110, núm. 11, p. 1.613-1.641.

VAN RIJN, L.C. (1993). *Principles of Sediment Transport in River, Estuaries and Coastal Seas*. Amsterdam: Aqua Pub., p. 654 i annexos.

VARELA, J.M.; GALLARDO, A.; LÓPEZ DE VELASCO, A. (1986). «Retención de sólidos por los embalses de Mequinenza y Ribarroja. Efectos sobre los aportes al Delta del Ebro». A: Marino, M.G. (ed.) *Sistema Integrado del*

Ebro: Cuenca, Deltas y Medio Marino. Madrid: Hermes, p. 203-219.

WARRICK, R.A. (1993). «Climate and Sea Level Change: A Synthesis». A: Warrick, R.A., Barrow, E.M., Wigley, T.M. (eds.) *Climate and Sea Level Change. Observations, Projections and Implications*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 3-21.

WARRICK, R.A.; OERLEMANS, J. (1990). «Sea Level Rise». A: Houghton, J.T., Jenkins, G.J., Ephraums, J.J. (eds.) *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 257-282.

WIGLEY, T.M.L.; RAPER, S.C.B. (1993). «Future Changes in Global Mean Temperatures and Sea Level». A: Warrick, R.A., Barrow, E.M., Wigley, T.M. (eds.) *Climate and Sea Level Change. Observations, Projections and Implications*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 111-133.

WOLFF, W.J.; DIJKEMA, K.S.; ENS, B.J. (1993). *Expected Ecological Effects of Sea Level Rise*. The Hague: Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Seachange'93, p. 139-150.

WRIGHT, L.D. (1987). «Shelf-Surfzone Coupling: Diabathic Shoreface Transport». *Coastal Sediments'87*, ASCE, p. 25-40.

WRIGHT, L.D.; COLEMAN, J.M. (1973). «Variations in Morphology of Major River Deltas as Functions of Ocean Wave and River Discharge Regimes», *AAPG Bull.*, núm. 57 (2), p. 370-398.

B12. Canvi climàtic i salut

Marc Saez

Aitana Lertxundi-Manterola

Grup de Recerca en Estadística, Economia Aplicada i Salut (GRECS)
Universitat de Girona

Marc Saez Zafra (Barcelona, 1963) és doctor en Ciències Econòmiques per la Universitat de Barcelona. Actualment és catedràtic d'Estadística i Econometria a la Universitat de Girona. Fou director del Departament d'Economia d'aquesta universitat entre els anys 2000 i 2002 i des de 1998 és l'investigador principal del Grup de Recerca en Estadística, Economia Aplicada i Salut (GRECS) de la Universitat de Girona.

Ha publicat uns setanta articles científics sobre econometria de la salut, bioestadística i estadística i epidemiologia ambiental, tant en revistes estatals com internacionals, així com alguns llibres docents i de caràcter científic sobre estadística i econometria.

Ha dirigit i dirigeix diversos projectes competitius de recerca i és el coordinador d'alguns projectes de recerca europeus del cinquè programa marc a l'Estat espanyol, entre els quals destaquen els següents: EMECAM i EMECAS (*Estudio multicéntrico de los efectos a corto plazo de la contaminación atmosférica en la salud*), PHEWE (*Assessment and prevention of acute health effects of weather conditions in Europe*) i APHEIS (*Air pollution and health: a European Information System*).

Aitana Lertxundi Manterola (Zarautz, Guipúscoa, 1980) és llicenciada en Ciències Ambientals per la Universitat de Girona. Actualment és professora associada en Informàtica i Estadística a la mateixa universitat. Les seves línies de recerca són l'estadística, l'epidemiologia ambiental i el càncer.

Síntesi	647
B12.1. Introducció	649
B12.2. Estat i determinants de la salut	650
B12.3. Els impactes del canvi climàtic sobre la salut	652
B12.3.1. Els efectes directes	
B12.3.1.1. Temperatures extremes	
B12.3.1.2. Esdeveniments meteorològics extremes	
B12.3.2. Efectes indirectes	
B12.3.2.1. Contaminació atmosfèrica, pol·len i salut respiratòria	
B12.3.2.2. Problemes psicosocials	
B12.3.2.3. Augment del nivell del mar	
B12.3.2.4. Problemes en el subministrament d'aliments	
B12.3.2.5. Malalties infeccioses transmeses per vectors	
B12.3.2.6. Malalties infeccioses transmeses per l'aigua	
B12.4. Conclusions	666
Agraïments	667
Referències bibliogràfiques	667

Síntesi

El canvi climàtic pot tenir importants efectes sobre la salut, tant de forma directa com indirecta. Encara que la salut pot estar afectada tant per variacions climàtiques (regionals) com per canvis en el temps meteorològic, l'associació entre la variabilitat climàtica (és a dir, les desviacions del clima mitjà d'una regió en un període de temps que pot abastar des de setmanes fins a anys) i la salut permeten inferir la possibilitat que el canvi climàtic tingui efectes sobre la salut de la població.

El problema és que la variabilitat climàtica d'origen antròpic pot afectar la salut a través de nombroses vies. La magnitud dels efectes, a més, depèn en part de l'habilitat per anticipar-los, així com de l'educació i de la planificació de les respostes d'emergència, que podrien reduir els impactes. D'aquesta manera, l'impacte últim sobre la salut pública dependrà, en termes generals, de si pesen més les tensions que la variabilitat climàtica provoca sobre la salut o, per contra, si són més importants les mesures d'adaptació dissenyades per protegir la població d'aquestes tensions.

Com ja s'ha apuntat, el temps i la variabilitat climàtica poden afectar la salut a través de mecanismes directes i indirectes. Els efectes directes inclouen, sobretot, impactes físics que causen un estrès fisiològic o un dany físic sobre les persones. Els efectes indirectes, com els dels agents climàtics sobre la producció d'aliments o els brots de malalties infeccioses, poden operar a través de diverses vies, en les quals estan implicades variables molt diverses.

Els efectes més importants i evidents de la variabilitat climàtica sobre la salut dels catalans són els directes, especialment els que poden estar associats a augmentos de les temperatures. En primer lloc, cal parlar de les temperatures extremes que s'assoleixen durant les onades de calor, però

també cal fer-ho de la relació existent entre les variacions de temperatura a curt termini i la salut (mortalitat i morbiditat). En aquest sentit, i encara que és difícil de generalitzar, el fet que alguns estudis hagin trobat un rang de temperatures de confort bastant ample a l'Estat espanyol, juntament amb el fet que aquestes temperatures de confort disminueixin quan s'introdueixen variables de confusió (contaminació atmosfèrica, sobretot), suggereixen que augmentos de la temperatura, tot i estar fora del rang de situacions extremes com són les onades de calor, poden causar un efecte sobre la salut. En segon lloc, també caldria destacar que s'haurien de menysprear els efectes de les riuades sobre la salut i el benestar de les persones, fins i tot en països amb el nivell de desenvolupament que té Catalunya.

Pel que fa als efectes indirectes, el canvi climàtic pot afectar la salut en modificar els nivells de contaminació atmosfèrica (antropogènica) i de pol·len (biogènica). L'efecte més importat sobre la salut està provocat per la contaminació atmosfèrica, en general, i les concentracions d'ozó, en particular. Cada cop hi haurà més població en situació de risc, sobretot les persones que pateixen malalties respiratòries i les que viuen en àrees on es pot experimentar un augment molt important de les concentracions d'ozó. Per altra banda, l'impacte d'alguns dels contaminants sobre la salut és més evident durant l'estiu o amb temperatures elevades. El problema és que la majoria d'estudis han investigat el possible efecte independent de la temperatura i/o la contaminació atmosfèrica sobre la salut, però no les interaccions entre aquestes variables, tot i que algunes iniciatives intenten solucionar aquest dèficit (com el projecte europeu *Assessment and Prevention of acute Health Effects, PHEWE*).

Segons l'informe del grup de treball conjunt de l'Organització Mundial de la Salut (OMS), l'Or-

ganització Mundial de Meteorologia i del Programa de les Nacions Unides per al Medi Ambient (PNUMA), titulat *Climate Change and Human Health*, la incidència de les malalties infeccioses augmentarà com a conseqüència de l'escalfament global.

Les malalties infeccioses trameses per vectors apareixen com a conseqüència de la transmissió d'agents infecciosos a través de vectors artròpodes quan s'alimenten de la sang d'animals als que poden transmetre aquests patògens. No obstant això, la complexitat i els múltiples factors que determinen la transmissió de les malalties transmeses per vectors fan que sigui molt difícil generalitzar sobre els mecanismes i molt menys predir en quina direcció es produiran els canvis, si és que s'acaben produint. En qualsevol cas, el risc més elevat per als catalans amb rela-

ció a aquestes malalties continuarà associant-se als viatges o a la immigració procedent de regions on els vectors locals són abundants i la transmissió d'aquestes malalties és important.

Alguns factors climàtics (la temperatura i la precipitació) afecten la supervivència i la reproducció de bacteris i virus. A Catalunya, les condicions higièniques i el tractament de les aigües (tant les potables com les residuals) eviten que brots esporàdics d'infeccions esdevinguin epidèmies, com passa a Sudamèrica o al sudest asiàtic. Així doncs, encara que l'augment de la temperatura de l'aigua i altres factors climàtics pot fer augmentar el nombre de bacteris viables a l'aigua i als peixos, el manteniment de les infraestructures de tractament de les aigües potables i residuals impedirà l'aparició de grans brots de còlera a Catalunya.

B12.1. Introducció

L'Organització Mundial de la Salut (OMS) defineix la salut com «(...) un estat complet de benestar físic, mental i social» (OMS, 1996). La salut està determinada per una barreja de factors, biofísics, socials, econòmics, polítics o culturals, que actuen a través d'una gran diversitat de determinants, que poden ser:

- 1) De tipus individual: els estils de vida, les conductes amb relació al consum, les pràctiques sexuals i les tensions psicosocials.
- 2) De tipus ambiental: exposicions (ambientals i tòxiques en el marc del treball), moviments de la població i intervencions de salut pública i d'atenció sanitària.

Com l'OMS i altres organismes han expressat, el canvi climàtic pot tenir, de forma directa o indirecta, efectes importants sobre la salut. En aquest sentit, s'han publicat revisions que resumeixen les evidències dels efectes del canvi climàtic sobre la salut, tant a escala mundial (McMichael et al., 1996; Watson et al., 1996; Shindell i Raso, 1997; World Resource Institute, 1999; McMichael et al., 2001; Patz i Khaliq, 2002; OMS, 2002) com més específiques (Smith i Tirpack, 1998; Patz et al., 2000; Balbus i Wilson, 2000; EPA, 2003 per a Estats Units; Department of Health, 2002 per al Regne Unit; i Health Canada, 2003 per a Canadà).

De fet, la salut pot estar afectada tant pel clima (regional) com pel temps (meteorològic). Men-

tre el clima d'una regió pot definir-se com les condicions atmosfèriques mitjanes a llarg termini (dècades o, fins i tot, períodes més llargs), el temps es pot definir com les condicions atmosfèriques a curt termini (dies com a màxim). El clima pot influir en determinades malalties en, per exemple, determinar hàbitats idonis pels seus agents. El temps afecta la salut mitjançant, entre d'altres, condicions extremes de temperatura, precipitació o vent.

Cal distingir entre els termes canvi climàtic i variabilitat climàtica. El canvi climàtic és una variació en les variables atmosfèriques (la temperatura mitjana anual, per exemple), d'abast regional o global (mundial), en un període relativament llarg (dècades, per exemple) (Shindell i Raso, 1997). El terme variabilitat climàtica es refereix a desviacions del clima mitjà d'una regió en un període que pot abastar des de setmanes fins a anys. De fet, l'associació entre la variabilitat climàtica i la salut permet inferir els possibles efectes del canvi climàtic sobre la salut.

La variabilitat climàtica antropogènica pot afectar la salut a través de diverses vies. En primer lloc, la salut està afectada per la disponibilitat d'aliments adequats i nutritius, per l'accés a una quantitat suficient d'aigua potable, per la bona qualitat de l'habitatge i per altres condicions higièniques que estan fortament influïdes per factors ambientals. En segon lloc, l'exposició a agents infecciosos, l'extensió del seu contagi i la

immunització, pot alterar-se per la variabilitat climàtica. Finalment, la població té el risc de fer-se mal o fins i tot de morir com a conseqüència d'esdeveniments climàtics extrems com riudes, grans ventades i onades de calor.

Per altra banda, la freqüència creixent o la gravetat cada cop més important de tots aquests esdeveniments poden produir determinats impactes directes i mesurables en la salut física i mental de les persones. La magnitud d'aquests efectes, però, depèn en part de l'habilitat per anticipar-los i de l'educació i de la planificació de les respostes d'emergència que podrien reduir els impactes (Balbus i Wilson, 2000). L'impacte últim en la salut pública, en general, dependrà de si pesen més les tensions que la variabilitat climàtica provoca sobre la salut o, per contra, són més importants les mesures d'adaptació dissenyades per protegir la població d'aquestes tensions.

Encara que aquest capítol s'adreça als possibles efectes del canvi i la variabilitat climàtica (antropogènics) sobre la salut a Catalunya, part de la discussió ha de referir-se forçosament a altres països i contextos, per diverses raons. En primer lloc, el món està immers en un procés d'interconnexió creixent. De fet, els viatges i la immigració constitueixen el principal factor que hi ha al darrera de l'expansió de moltes de les malalties infeccioses emergents, moltes d'elles associades al canvi climàtic. Encara que, com es veurà, actualment a Catalunya moltes de les malalties i dels problemes de salut relacionats amb el clima no són importants, ni tampoc és probable que ho siguin en un futur pròxim, aquestes malalties i problemes poden esdevenir una amenaça significativa per a la salut dels catalans si el canvi climàtic augmenta la seva incidència fora del país.

En segon lloc, els vincles polítics i econòmics creixents a escala internacional poden tenir una repercussió a Catalunya de part de les càrregues sobre la salut conseqüència del canvi climàtic. Tercer, encara que a Catalunya actualment cap de les malalties relacionades amb el clima, com

per exemple el còlera, té una prevalència significativa, alguna d'elles va ser una preocupació de la salut pública fins fa molt poc (són prou coneguts els brots de còlera a Barcelona, València i Múrcia l'any 1971, amb 53 casos implicats en el cas de Barcelona; Guardia et al., 1996; Rotaetche, 2001).

En quart lloc, la capacitat per estudiar i comprendre com responen aquestes malalties a la variabilitat climàtica, crucial per avaluar la possibilitat de la seva reaparició en el nostre país en un context de canvi climàtic, per minsa que sigui, depèn del coneixement que es tingui d'aquestes malalties en altres països. Finalment, malgrat alguns esforços, l'evidència empírica duta a terme a Catalunya sobre els efectes del canvi i de la variabilitat climàtica sobre la salut és, encara, molt escassa.

En definitiva, l'objectiu d'aquest capítol és assenyalar la càrrega potencial de diversos tipus d'impactes del canvi i la variabilitat climàtica per a la salut pública, especialment a Catalunya, així com identificar quins grups de població serien els que presentarien un risc més elevat.

B12.2. Estat i determinants de la salut

La població de Catalunya és una de les saludables del món, amb una esperança de vida en néixer, l'any 2000, de 76,5 anys els homes, de 83,2 anys les dones, i de 79,9 anys per a tots dos sexes (SIE, 2003). Respecte a altres països europeus i als Estats Units d'Amèrica la situació de Catalunya es troba en una posició molt avançada, tal i com mostra la taula B12.1 (Gispert et al., 2001).

El nombre total de defuncions de persones residents ocorregudes a Catalunya durant l'any 2000 va ser de 55.279, 28.832 de les quals van ser homes (52,16%) i 26.447 dones (47,84%). La freqüència absoluta de les defuncions és sempre més alta en els homes, excepte a partir dels 80 anys, en què el nombre de defuncions en dones és més elevat. En els homes les defuncions es

concentren en el grup de 75 a 79 anys, mentre que en les dones és en el de 85 a 89 anys (SIE, 2003).

L'any 2000, la taxa bruta de mortalitat va ser de 8,96 per 1.000 habitants (9,56 en els homes i 8,38 en les dones), mentre que la taxa estandarditzada per població mundial va ser 4,38 per 1.000 habitants (5,88 en els homes i 3,17 en les dones) (SIE, 2003). Novament, les xifres són molt més favorables a Catalunya (taula B12.2).

Pel que fa a les causes de la mortalitat, en els homes la primera són els tumors (32,4%), seguida de les malalties del sistema circulatori (28,3%). En les dones aquestes també són les dues causes de mort més freqüents, però amb l'ordre invers: primer les malalties del sistema circulatori (37,6%) i després els tumors (21,7%). En tots dos sexes, la tercera causa són les malalties del sistema respiratori, la quarta per als homes són les causes externes (com a conseqüència dels accidents de trànsit de vehicles de motor) i en les dones són els trastorns mentals i del comportament (fonamentalment per causa de demències). Destaca que, en els homes de 25 a 34 anys, les malalties infeccioses ocupen el tercer lloc, a causa de les morts per la SIDA (SIE, 2003).

A Catalunya la mortalitat atribuïble a les malalties que estan associades més directament amb la variabilitat climàtica (directament, com l'estrès tèrmic i els cops de calor, o indirectament, com les malalties infeccioses transmèses per vectors i per l'aigua) ha estat petita. Així, per exemple, l'any 1998 van produir-se 92 defuncions per malalties infeccioses transmèses per vectors i per l'aigua (Busquets i Gispert, 2001).

De fet, mentre que les malalties cròniques no infeccioses comporten la gran majoria de morts als

Països (any de naixement)	En néixer		Als 65 anys	
	Homes	Dones	Homes	Dones
Alemanya (1995)	73,8	80,0	14,9	18,7
Bèlgica (1989-90)			14,2	18,4
Finlàndia (1986)			13,4	17,4
Itàlia (1990)	73,5	80,0	14,9	18,8
Països Baixos (1990)			14,4	19,0
Països Baixos (1994)	74,6	80,3		
Noruega (1985)	72,6	79,0	14,3	18,2
Estats Units d'Amèrica (2000)	74,1	79,5	16,3	19,2
Estat espanyol (1991)	73,3	80,5	15,4	19,2
Catalunya (1994)	74,9	82,1	16,4	20,4
Catalunya (2000)	76,5	83,2	17,0	20,9

Taula B12.1. Esperança de vida en néixer i als 65 anys en diversos països
Font: Gispert et al. (2001) i SIE (2003).

països desenvolupats, com Catalunya, les malalties infeccioses més o menys relacionades amb la calor són les que causen més morts en els països en desenvolupament. Aquesta diferència reflecteix un conjunt de factors socioeconòmics rellevants en explicar la vulnerabilitat d'aquestes poblacions davant el canvi climàtic (Balbus i Wilson, 2000).

Així, actualment els principals determinants de la mortalitat a Catalunya (excloses les causes externes) estan relacionades amb l'estil de vida: consum de tabac i d'alcohol, sobre-ingesta de calories i greix, conducta sexual i inactivitat física. El nivell econòmic assolit i el desenvolupament social de Catalunya han generat els recursos suficients per adreçar-los de forma efectiva a determinants bàsics de la salut tal com la nutrició, el sanejament i la qualitat de l'habitatge. A més, Catalunya dedica una gran quantitat de re-

País (any)	Taxa estandarditzada per 1.000 habitants
Catalunya (00)	4,4
Catalunya (99)	4,7
Suècia (96)	4,8
França (96)	4,9
Itàlia (95)	5,1
Espanya (95)	5,2
Grècia (97)	5,2
Àustria (98)	5,3
Holanda (97)	5,4
Luxemburg (97)	5,4
Alemanya (97)	5,6
Regne Unit (97)	5,6
Bèlgica (94)	5,8
Finlàndia (96)	5,8
Dinamarca (96)	6,4
Irlanda (96)	6,5
Portugal (98)	6,7

Taula B12.2. Mortalitat estandarditzada als països de la UE i a Catalunya.

Font: Tresseras i Gispert (2002).

cursos a l'assistència sanitària i manté una efectiva, sinó òptima, infraestructura de salut pública. Per tant, Catalunya hauria de ser menys vulnerable que altres països menys desenvolupats als impactes del canvi climàtic sobre la salut.

B12.3. Els impactes del canvi climàtic sobre la salut

El temps i la variabilitat climàtica poden afectar la salut a través de mecanismes directes i indirectes. Els efectes directes inclouen sobretot impactes físics que causen estrès fisiològic (la temperatura, per exemple) o dany físic sobre les

persones (tempestes i riuades, per exemple). Els efectes directes s'observen quasi a continuació de l'esdeveniment climàtic que els ha causat i, per tant, són més fàcils de modelar i de comprendre que els efectes indirectes. Aquests últims, com els impactes dels agents climàtics sobre la producció d'aliments o els brots de malalties infeccioses, poden operar a través de diverses vies, en les que estan implicades moltes variables. Els efectes, per altra banda, poden presentar un llindar i/o una resposta no lineal a nivells creixents d'un determinat factor climàtic.

La complexitat d'aquests efectes implica que l'avaluació dels impactes del canvi climàtic sobre la salut s'hagi de centrar en mecanismes parcials, és a dir, en alguna de les anelles de la cadena causal. El problema és que passar de l'anàlisi dels mecanismes parcials a la predicció de la incidència d'una malaltia en una localització específica és difícil. En aquest capítol es discuteix fins a quin punt s'han identificat i mesurat els factors crítics per a una determinada malaltia, quina és l'evidència dels efectes del canvi climàtic sobre aquesta malaltia i qui n'estarà més afectat.

Caldria diferenciar, però, entre sensibilitat i vulnerabilitat climàtiques. Un problema de salut pot ser sensible al clima si la seva gravetat respon d'alguna forma a canvis o variacions en el clima. Per exemple, la mortalitat associada a les onades de calor a Nova York és, evidentment, un problema de salut sensible a canvis climàtics (Balbus i Wilson, 2000). La vulnerabilitat climàtica d'una població o d'un grup d'aquesta, però, depèn de la capacitat d'aquesta població o grup per adaptar-se o protegir-se davant d'aquesta amenaça per a la seva salut. Seguint el mateix exemple, la població del Village novaiorquès, amb més recursos econòmics, probablement és probable que tingui un accés més fàcil a l'aire condicionat i porti un estil de vida més allunyat del carrer que la població del Bronx, més pobre, sobretot els més grans, sent aquests últims, per tant, els més vulnerables al canvi climàtic (Balbus i Wilson, 2000).

B12.3.1. Els efectes directes

B12.3.1.1. *Temperatures extremes*

Els coneguts excessos de mortalitat com a conseqüència de l'onada de calor dels mesos de juliol i agost de l'any 2003 van posar d'actualitat aquest problema de salut pública. De fet, s'ha argumentat que la successió bastant freqüent d'onades de calor, des de la que va tenir lloc a Chicago l'any 1995, pot ser part d'una tendència recent d'onades de calor més freqüents i més duradores (Gaffen i Ross, 1998).

Encara que no existeix cap definició consensuada d'onada de calor, aquest fenomen es pot definir com el manteniment de temperatures elevades durant un període de 48 hores consecutives (Institut de Veille Sanitaire, 2003). L'Institut Nacional de Meteorologia (INM) defineix onada de calor com un escalfament important de l'aire o una invasió d'aire molt càlid, que s'estén per un terreny ampli, quan es donen temperatures màximes iguals o superiors a 40°C més de dos dies consecutius (López-Cotín i Ramos, 1996). Mentre que per als meteoròlegs francesos una onada de calor es dona quan se sobrepassen els 30 °C de temperatura màxima, per als americans aquesta temperatura són els 32°C, i per als britànics es produeix quan la temperatura mitjana sobrepassa en 4°C la temperatura mitjana dels últims trenta dies (Institut de Veille Sanitaire, 2003).

Amb calor, la suor s'evapora de la pell, refreda el cos i el manté a una temperatura acceptable per a les funcions fisiològiques. En condicions de calor extrem, però, el cos és incapaç de refredar-se per si mateix i fallen els processos biològics normals. Les condicions atmosfèriques precises sota les quals el cos deixa de tenir un funcionament normal depenen, però, de l'edat, de la presència d'una malaltia cardíaca o pulmonar, de la capacitat per mantenir la hidratació i d'altres condicions de salut. A més, l'exposició continua a temperatures elevades comporta l'aclimatació, un canvi fisiològic en el cos que li permet adaptar-se a una calor creixent.

El grau de gravetat d'una onada de calor depèn del fet que aquest fenomen tingui lloc a principis d'estiu (abans que la població hagi tingut l'oportunitat d'aclimatar-se), de la seva durada i de si les temperatures mínimes nocturnes són més o menys elevades (Ramlow i Kuller, 1990). Aquest últim condicionant és molt important, ja que es preveu que l'efecte d'hivernacle tingui un impacte més elevat sobre les temperatures nocturnes, perquè l'acumulació de gasos amb efecte d'hivernacle captura la calor durant el dia i impedeix el refredament durant la nit. A les ciutats aquest efecte està exacerbat pel fenomen conegut com «illa urbana de calor», que fa que la calor acumulada durant el dia pel ciment i els materials metàl·lics urbans es desprengui al llarg de la nit (Balbus i Wilson, 2000). La mortalitat relacionada amb les ones de calor és més elevada entre la població més jove i la més gran, especialment entre aquells que tenen malalties subjacents. El risc principal per a aquests grups de població està relacionat amb l'aïllament urbà i la falta d'accés a l'aire condicionat (Kilbourne et al., 1982; Semenza et al., 1996).

A més dels mesos de juliol i agost de l'any 2003 cal destacar, per la seva importància, algunes onades de calor més o menys recents. A França, per exemple, se'n coneixen dues (Institut de Veille Sanitaire, 2003). La primera va tenir lloc entre els mesos de juny i juliol de l'any 1976, al llarg dels quals la mortalitat va augmentar prop del 10% en vint departaments. Els últims deu dies de juliol de 1983, una altra onada de calor va augmentar la mortalitat en 4.700 casos a tota França (300 dels quals només a Marsella). A Atenes, una onada de calor que va tenir lloc els últims dies del mes de juliol de 1987 va causar 2.000 morts (Institut de Veille Sanitaire, 2003). Als Estats Units d'Amèrica, diverses ciutats van experimentar onades de calor al llarg de l'any 1995 i, a una escala més petita, els anys 1998 i 1999. Entre elles destaca una onada de quatre dies viscuda per la ciutat de Chicago, que va causar 514 morts (12 morts per cada 100.000 habitants) (Whitman et al., 1997). Finalment,

una onada de calor al sud d'Anglaterra l'any 1995 va augmentar la mortalitat per totes les causes un 9,8%, i un 16,1% al Gran Londres (Rooney et al., 1998).

A l'Estat espanyol, a més de l'onada de juliol i d'agost de 2003, les evidències més properes es refereixen a Madrid i a Sevilla on, segons Díaz et al. (2002a i 2002b), entre els anys 1986 i 1997 la mortalitat va augmentar un 28,4% per cada grau que ultrapassà els 36,5 °C (Madrid); i un 51%, entre els més grans de 75 anys, per cada grau per sobre dels 41 °C (Sevilla). Els efectes de l'onada sobre la mortalitat van més grans entre les dones i les persones més grans de 75 anys, bàsicament per causes cardiovasculars i respiratòries.

Els efectes de l'onada de calor de juliol i agost de l'any 2003 són prou coneguts. A França, per exemple, es van produir 11.435 morts més que en el mateix període de 2002 (tenint en compte l'estructura d'edat de la població, segons l'INSEE). A Portugal, es van produir 1.316 morts més entre el 30 de juliol i el 12 d'agost, i al Regne Unit es van produir 907 morts més en el període comprès entre el 15 i el 22 d'agost (Institut de Veille Sanitaire, 2003).

Tant a Catalunya com a l'Estat espanyol, l'onada de calor va començar, de fet, a mitjans del mes de juny de 2003, amb temperatures mitjanes entre 4 i 5 °C superiors a les normals. A partir de llavors es van anar superant tots els rècords, fins a mitjans d'agost, on les temperatures van tornar a la normalitat. Hi ha certa polèmica respecte a les seves conseqüències. Segons el Ministeri de Sanitat del Govern espanyol, durant l'onada de calor de l'any 2003 es van produir 101 morts, 47 de les quals van ser com a resultat directe de cops de calor i 57 més per un agreujament de patologies existents prèviament (elmundosalud.com, 2003). No obstant això, la Federación de Asociaciones para la Defensa de la Sanidad Pública (FADSP) va sostenir que les morts produïdes per l'onada de calor van superar les xifres proporcionades per les autoritats sanitàries. De

fet, afirmà que aquestes dades es contradieien amb les proporcionades pels serveis funeraris d'arreu del país, que assenyalaven un augment de defuncions respecte a l'any 2002 que oscil·la entre el 25% i el 100% (IBLNEWS, 2003).

En aquest sentit, pel que fa a Catalunya les dades proporcionades per les funeràries d'algunes de les 15 ciutats més grans del país (Barcelona, Tarragona, Lleida, Girona, Badalona, L'Hospitalet de Llobregat, Manresa, Mataró, Santa Coloma de Gramenet, Sabadell, Terrassa, Reus, Igualada, Tortosa i Vilafranca del Penedès) van mostrar que durant els mes de juliol i la primera quinzena d'agost es van registrar 1.670 defuncions més (és a dir, un 34,5% més) que en el mateix període de 2002 (Belt Ibérica, 2003). Van destacar els augments produïts a la ciutat de Barcelona (1.946 morts més, és a dir, un 33,2% més) i en altres localitats de la seva província com l'Hospitalet, Sabadell, Terrassa i Santa Coloma de Gramenet, on l'increment del nombre de baixes va ser de 1.162, és a dir, un 60,2% més). Només a Reus es van produir menys morts que l'any 2002 (110 en front de 115) (Belt Ibérica, 2003). Per altra banda, segons l'Agència de Salut Pública de Barcelona, des de primers de juliol fins al 15 d'agost es van produir 837 morts més, un 60%, que en el mateix període del 2002 (Institut de Veille Sanitaire, 2003).

Encara que no es poden considerar com onades de calor *strictu sensu*, Saez et al. (1995) van trobar que a Barcelona augmentava la mortalitat per totes les causes (2%) i, especialment, en la població més grans (2,6% entre els més grans de 65 anys) i per causes específiques, cardiovascular (4,6%) i respiratòria (21,6%), durant períodes de més de 3 dies amb temperatures més elevades de les que són habituals (29 °C de màxima i 20,2 °C de mínima a l'estiu; 16 °C de màxima i 7,6 °C de mínima a l'hivern).

Kalstein i Greene (1997) van fer prediccions de la mortalitat atribuïble a onades de calor per a quaranta-quatre ciutats dels Estats Units d'Amè-

rica basades en els escenaris climàtics per a l'any 2020. Les variacions en la mortalitat predites comprenen des d'una reducció de 30 morts (23%) a Filadèlfia fins a un augment de 347 morts (181%) a Chicago, depenent del model de circulació general (GCM) utilitzat. Probablement es tracta de prediccions conservadores, ja que parteixen dels supòsits següents: una climatització completa, poblacions estacionàries i no variació en l'estoc d'habitatges ni en la disponibilitat d'aparells d'aire condicionat. La precisió de les prediccions, a més, depèn de la incertesa existent sobre la variabilitat climàtica futura i sobre les tendències que puguin seguir els factors socials i tecnològics que podrien mitigar els efectes de les ones de calor.

A l'altre extrem, la sobreexposició a temperatures molt fredes condueix a la congelació i a la mort, perquè el cos és incapaç de generar la calor suficient per mantenir les funcions fisiològiques normals. Wigley (1999) argumenta que als Estats Units d'Amèrica el canvi climàtic farà augmentar les temperatures hivernals en una magnitud semblant que les estiuenques. Això porta a plantejar diverses qüestions. En primer lloc, si l'augment mitjà de les temperatures hivernals comportarà una reducció en la freqüència i/o gravetat dels episodis de fred extrem. Però, també, si unes temperatures hivernals més càlides faran disminuir la mortalitat total (Balbus i Wilson, 2000).

La mortalitat total presenta un clar component estacional amb la mortalitat observada durant l'hivern, amb taxes entre un 10 i un 25% més elevades (Sakamoto-Momiyama, 1977; Khaw, 1995; Laake i Sverre, 1996). Cal destacar, però, que la mortalitat per sota dels 45 anys presenta una conducta oposada, amb el pic de mortalitat a l'estiu. Aquest comportament, però, es compensa amb escriu pel nombre més elevat de morts que es detecta entre la població més gran de 45 anys (Kilbourne, 1998). El pic hivernal de la mortalitat s'atribueix, sobretot, a morts per pneumònia, grip, malalties cardiovasculars,

atacs de feridura i malaltia pulmonar obstructiva crònica (Kilbourne, 1998).

L'efecte del canvi climàtic sobre la mortalitat hivernal no s'ha estudiat gaire. Kalstein (1993) conclou que, com que no és probable que el canvi en el clima afecti les malalties infeccioses que tenen el seu pic a l'hivern (com per exemple la grip), un clima més càlid segurament no reduirà la mortalitat hivernal. Contràriament, Langford i Bentham (1995); Martens (1997a) i Guest et al. (1999) indiquen que la reducció de la mortalitat hivernal com a conseqüència del canvi climàtic podria ser més gran que l'augment de la mortalitat que es produeix a l'estiu.

Martens (1997b) analitza la relació existent entre la temperatura mitjana mensual i la mortalitat total i per causes específiques, cardiovasculars i respiratòries. L'anàlisi combinada que fa de diversos estudis sobre aquest tema apunta una reducció consistent, sobretot en la mortalitat cardiovascular, amb temperatures hivernals més càlides, i un brusc augment de la mortalitat per la majoria de les causes respiratòries amb temperatures estiuenques creixents. Pel que fa a la mortalitat total anual, preveu una reducció del 5,6% als Estats Units d'Amèrica entre les persones més grans de 65 anys, conseqüència de la reducció en la mortalitat cardiovascular esmentada anteriorment.

Donaldson et al. (2001) preveuen una reducció de 20.000 morts anuals (un 25%) relacionades amb el fred al Regne Unit en l'horitzó de l'any 2050. Per contra, Kalstein i Greene (1997) analitzen la relació existent entre canvis anticipats en el clima i la mortalitat hivernal¹ i suggereixen una disminució molt petita o, fins i tot, un augment en la mortalitat hivernal de cara a l'any 2020 (en funció del model GCM utilitzat) i mostren un augment global de la mortalitat quan es

1. Utilitzant un enfocament sinòptic que caracteritza i agrupa condicions climàtiques en lloc d'analitzar els efectes de variables climàtiques individuals.

combinen les dades de l'estiu i de l'hivern. Per altra banda, la sensibilitat al fred (el percentatge d'augment de la mortalitat per cada grau centígrad de disminució de la temperatura) és més gran en regions càlides (Atenes, sud dels Estats Units d'Amèrica, etc.) que en altres més fredes (sud de Finlàndia, nord dels Estats Units d'Amèrica, etc.). Això pot ser conseqüència d'una insuficiència de roba d'hivern en les primeres (Eurowinter Group, 1997). En definitiva, no està gens clar fins a quin punt hiverns més càlids reduiran la mortalitat cardiovascular, ni quin serà l'augment de mortalitat que les onades de calor estiuenques produiran entre la població més jove i la més gran.

Diversos autors han estudiat la relació entre les variacions de la temperatura a curt termini (és a dir, dies) i la mortalitat per totes les causes (Kunst et al., 1993; Saez et al., 1995; Ballester et al., 1997; Lawlor et al., 2002; Donaldson et al., 2003) i per causes específiques (cerebro-vasculars, Pan et al., 1995; mortalitat per malalties is-

quèmiques del cor, Saez et al., 2000; cardiovasculars i respiratòries, Braga et al., 2002). En general, la relació entre temperatura i mortalitat presenta una forma de **V** (la majoria d'autors) o d'**U** (Braga et al., 2002), fet que implica que la mortalitat és mínima per a un cert valor de temperatura (temperatura de confort) i creix progressivament amb la distància a aquest valor (figura B12.1). Encara que més rares, també s'han descrit altres formes de dependència, com **W** (Ballester et al., 1997) o **J** (Curriero et al., 2002).

El llindar de la temperatura a partir del qual la mortalitat associada amb la calor (la temperatura de confort) augmenta depèn del clima local, sent més gran en àrees més càlides. Per exemple, s'ha descrit que la temperatura de confort al sud de Finlàndia és d'aproximadament 14 °C (Donaldson et al., 2003), mentre que a Holanda és de 16,5 °C (Lawlor et al., 2002), al Regne Unit de 18 °C (Kunst et al., 1993), a Boston de 21 °C (Curriero et al., 2002), a Florida de 27 °C (Peacock et al., 2003) i de 28 °C a Taiwan (Pan et al.,

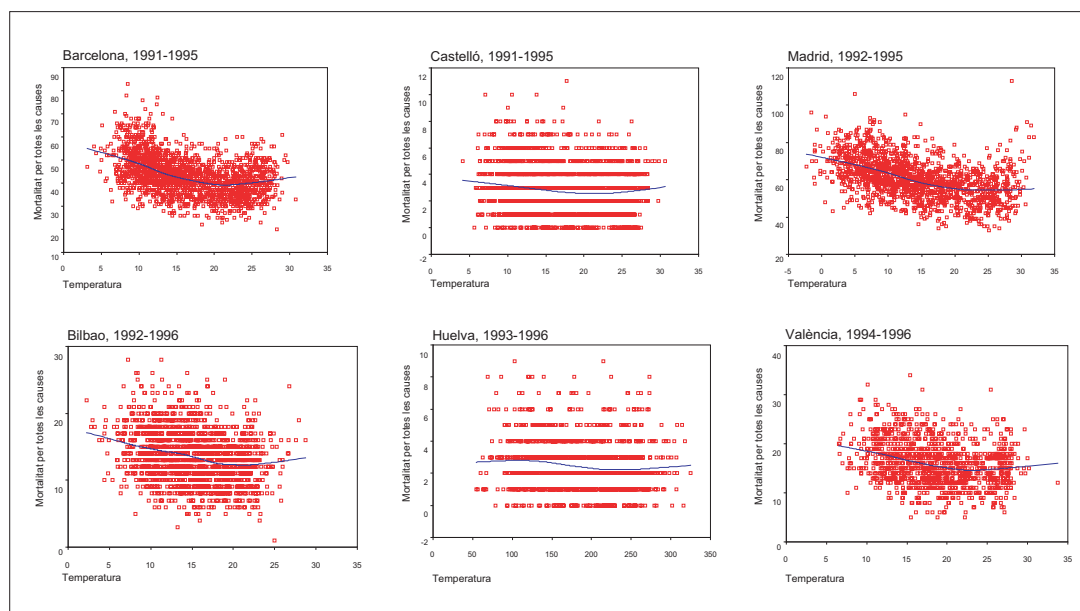


Figura B12.1. Relació entre la temperatura diària mitjana i la mortalitat diària, per totes les causes, en algunes de les ciutats participants en el projecte Estudi Multicèntric dels Efectes de la Contaminació Atmosfèrica sobre la Mortalitat (EMECAM).
Font: Ballester et al., 2002; Saez et al., 2002.

1995). Keatinge et al. (2000) suggereixen que les regions d'Europa amb estius més calorosos no mostren una mortalitat anual associada amb la calor significativament diferent que les regions més fredes. Als Estats Units d'Amèrica, però, les ciutats amb un clima més fred són més sensibles a la calor (Chestnut et al., 1998).

Pel que fa a l'Estat espanyol, Íñiguez et al. (2003), en el marc del projecte TEMPRO, van identificar temperatures de confort que varien entre els 13,9 °C de Vigo i els 23,3 °C de Cartagena. En el cas de Barcelona, única ciutat catalana on s'ha estudiat la relació, la temperatura de confort s'ha estimat entre els 20,3 °C (Íñiguez et al., 2003) i els 22,6 °C (Sáez et al., 1995) per a la mortalitat per a totes les causes i els 21 °C per a la mortalitat per malalties isquèmiques del cor (Saez et al., 2000).

Diversos autors han mostrat com la probabilitat que es produeixi una defunció és més gran davant augments que enfront a disminucions de la temperatura (Saez et al., 1995; Ballester et al., 1997; Saez et al., 2000; Íñiguez et al., 2003), més gran per causes específiques, a l'estiu, i per a les persones d'edat més elevada. Així, per exemple, un increment de 5 °C per sobre la temperatura de confort a Barcelona s'associaria amb un augment de 5 morts diaris (12,6%) (Íñiguez et al., 2003).

Encara que és difícil de generalitzar, el fet que l'estudi TEMPRO (Íñiguez et al., 2003) hagi trobat un rang de temperatures de confort bastant ample per a l'Estat espanyol i que aquestes temperatures de confort disminueixin quan s'introdueixen variables addicionals, com la contaminació atmosfèrica, sobretot, suggereixen que augments de la temperatura, encara fora del rang de situacions extremes com onades de calor (com la del juliol i l'agost de l'any 2003), poden causar un efecte sobre la salut, com s'ha descrit anteriorment en el cas de Barcelona (Saez et al., 2000) i València (Ballester et al., 1997).

No obstant això, la càrrega final dels canvis en les temperatures extremes, tant de calor com de fred, per a la salut pública estarà moderada per un conjunt de factors. Així, la càrrega final de la mortalitat associada a la calor podria disminuir en el temps si en un context de canvi climàtic es reduïa l'aïllament social dels grups de població urbana més desafavorits i se'ls facilitava l'accés a ambients més refrigerats durant l'estiu i, al mateix temps, es reduïa prou la mortalitat cardiovascular durant uns hiverns més temperats. Per contra, la càrrega final pot ser més gran que la predita si la disponibilitat d'ambients refrigerats disminueix per alguna raó o altra.

En aquest sentit s'ha de dir, per exemple, que l'actual tecnologia d'aire condicionat limita el seu propi creixement, implicant uns costos econòmics i ambientals elevats, ja que la producció d'aparells d'aire condicionat requereix energia que, al seu torn, contribueix a l'escalfament global. La càrrega final dels extrems de temperatura també estarà condicionada per la variabilitat climàtica futura. L'escalfament sostingut tendirà a aclimatar la població a l'estrès tèrmic i a un estrès cardiovascular induït pel fred més petit, mentre que temperatures més variables i extremes augmentaran l'estrès psicològic i la mortalitat associada.

B12.3.1.2. Esdeveniments meteorològics extrems

Els esdeveniments meteorològics extrems (tempestes, riuades, ventades) tenen efectes sobre la salut a curt i a llarg termini que són ben coneguts i documentats (Noji, 1997; Menne et al., 1999). La pluja molt intensa, causant de riuades, esllavissades i allaus, o les ventades molt fortes, poden produir morts o danys immediats. El vent, les riuades o les sequeres també poden produir efectes duradors o diferits sobre l'habitatge, la producció d'aliments, l'abastament d'aigua potable i la infraestructura social que, al seu torn, pot resultar en malalties infeccioses i en problemes econòmics. A Catalunya, els impactes d'esdeveniments meteorològics extrems sobre la salut han estat bastant moderats, amb una

forta tendència a la baixa, almenys pel que fa a la mortalitat, des de principis dels anys seixanta del segle XX. Aquesta reducció és, probablement, una conseqüència de les millores en els sistemes de protecció civil, d'alerta i d'evacuacions i en les estructures de construcció (Noji, 1997). De fet, la majoria de morts com a conseqüència d'aquests esdeveniments (de les riuades, per exemple) han estat per ofegaments a l'interior de vehicles arrossegats per les aigües, accidents de trànsit i electrocucions accidentals.

L'experiència viscuda a l'Europa central l'any 1997, però, on van morir més de 100 persones, mostra que els efectes de les riuades sobre la salut i el benestar, fins i tot als països desenvolupats, no s'han de menysprear. A Polònia es van inundar 6.000 km² i 160.000 persones van ser evacuades de les seves llars, amb un cost econòmic estimat de 3.000 milions de dòlars (2,7% del PIB polonès de l'any 1996). A la República Txeca es van evacuar 50.000 persones, amb un cost de 1.800 milions de dòlars (3,7% del PIB txec) (IFRC, 1998). A més, en aquest Estat va augmentar la incidència de la *leptospirosi* (malaltia infecciosa transmesa pel contacte amb aigua contaminada) (Kriz et al, 1998).

Pel que fa a les sequeres, els impactes sobre la salut es produeixen, sobretot, a través dels seus efectes sobre la producció d'aliments i als països en desenvolupament (vegeu la secció B12.3.2.4). De fet, les sequeres augmenten el nombre de malalties associades amb la malnutrició (McMichael et al., 1996). Per altra banda, en temps d'escassetat hídrica, l'aigua és utilitzada per cuinar i no tant per higiene. Això augmenta el risc de diarrees (per contaminació fecal) i altres malalties relacionades amb la higiene (per exemple, el tracoma i la sarna) (McMichael i Githeko, 2001). Durant les sequeres es poden produir brots de malària com a resultat de canvis en els llocs d'alimentació dels vectors (Bouma i van der Kaay, 1996). La malnutrició també pot fer augmentar la susceptibilitat a les infeccions (McMichael i Githeko, 2001).

Hi ha un marge d'incertesa elevat sobre el fet de si el canvi climàtic augmentarà la freqüència d'esdeveniments meteorològics extrems a Catalunya (vegeu Calbó, capítol A6 d'aquest informe). A escala global, Karl et al. (1995) apunten una tendència creixent en la intensitat de les precipitacions durant tot el segle XX, fenomen consistent amb un context d'efecte d'hivernacle creixent. Frederik i Gleik (1999) creuen que les riuades seran més comunes i extremes. Pel que fa a Catalunya, com la resta de la península Ibèrica, en els darrers quaranta anys hi ha hagut més dies de pluja, però amb menys precipitació. Al sud-est de la península, per contra, ha plogut menys dies, però amb més quantitat (Goodess i Jones, 2003). Hulme i Sheard (1999) prediuen que, excepte a l'hivern (amb un augment del 7%, al 2050, i del 9%, al 2080), les precipitacions en el quadrant nord-oriental de la península Ibèrica es reduiran, tant a la tardor (6% menys l'any 2050 i 8% menys l'any 2080) com, sobretot, a l'hivern (9% menys l'any 2020, 16% menys a l'any 2050 i 21% menys l'any 2080). A Catalunya, segons Calbó (op. cit.), en general hi ha un cert acord a l'hora de predir disminucions petites o moderades (fins a un 20%) de la precipitació durant l'estiu i augmentos petits (fins un 10%) a l'hivern de cara a finals del segle XXI.

Els grups de població que es troben en situació de risc davant esdeveniments meteorològics extrems inclouen aquells que viuen a la costa i en altres zones vulnerables (a la vora de les rieres, per exemple). No s'han publicat estudis sobre les conseqüències d'aquests esdeveniments sobre la salut.

B12.3.2. Efectes indirectes

B12.3.2.1. Contaminació atmosfèrica, pol·len i salut respiratòria

El canvi climàtic pot afectar la salut en modificar els nivells de contaminació atmosfèrica (antropogènica) i de pol·len (biogènica). Les condicions climàtiques interaccionen de diverses formes amb els contaminants atmosfèrics. Per exemple,

les inversions tèrmiques en sistemes de pressió atmosfèrica estancats s'associen amb nivells més elevats de partícules, d'ozó (O_3), d'òxids de nitrogen (NO_x) i de sofre (SO_x), i les ones de calor solen venir acompanyades per una humitat relativa alta i per nivells elevats d'aquests contaminants. Per altra banda, el clima càlid pot propiciar la dispersió d'espores i pol·len, que pot fer augmentar les reaccions al·lèrgiques i l'asma. Per contra, els vents i les pluges generalment redueixen els nivells de contaminants atmosfèrics i de pol·len, mitjançant la dispersió i l'absorció per les gotes d'aigua.

L'impacte últim del clima sobre les malalties associades al pol·len és difícil de predir, ja que depèn en part de la resposta a canvis climàtics de les espècies al·lèrgiques locals. Des de principis del segle xx, la durada de l'època de cultius ha augmentat en la major part del món i, de fet, es preveu que aquesta durada continuï creixent a mesura que ho faci l'escalfament global. Aquesta durada més prolongada pot comportar un augment de l'exposició al pol·len de llavors i herbes que tendeixen a pol·linitzar abans de les primeres gelades. Canvis a llarg termini en el clima poden alterar la distribució de les plantes i modificar (en més o en menys) el nombre d'al·lèrgens produïts (Emberlin, 1994). Altres factors, com la radiació ultraviolada i la concentració de contaminants atmosfèrics, poden canviar els nivells de pol·len produït per les plantes o modificar l'al·lèrgenitat dels grans de pol·len (Behrendt et al., 1997). Per altra banda, alguns al·lèrgens presents a l'interior dels edificis (pols, àcars, florits, paneroles) són sensibles a les condicions climàtiques (Beggs i Curson, 1995).

Nivells de pol·len elevats s'han associat amb epidèmies i brots d'asma, sovint combinats amb tronades (Hajat et al., 1997; Newson et al., 1998). Un estudi realitzat a Mèxic suggereix que l'altitud també pot afectar el desenvolupament de l'asma (Vargas et al., 1999). No obstant això, sembla que els efectes del temps i dels aeroal·lèrgens sobre els símptomes de l'asma són

petits (Epton et al., 1997) i altres estudis no han trobat que possibles interaccions entre contaminació atmosfèrica i pol·len presentin efectes adversos sobre l'asma (Guntzel et al., 1996; Stieb et al., 1996; Anderson et al., 1998; Hajat et al., 1999).

Els estudis que relacionen el canvi climàtic, la contaminació atmosfèrica i la salut es poden dividir en dos grups: aquells que estudien l'impacte conjunt del temps i la contaminació atmosfèrica sobre la salut i els que estimen els nivells futurs dels contaminants.

Excepte l'ozó, no s'han publicat estudis dels possibles impactes del canvi climàtic sobre la concentració d'altres contaminants atmosfèrics. Davant de la importància de la temperatura en la formació de l'ozó, els efectes del canvi climàtic són segurament més importants que sobre els nivells d'altres contaminants (Walcock i Yuan, 1997; Patz et al., 2000). A més, als Estats Units d'Amèrica l'ozó és el contaminant al qual un nombre més elevat de persones està exposat per sobre dels nivells establerts com a estàndard (EPA, 1996). L'efecte directe de la temperatura en els nivells d'ozó, però, pot estar mitigat per canvis en el vent, la precipitació i la nuvolositat. Els models han estimat un augment en l'ozó troposfèric (superficial) en vuit ciutats americanes del 2 al 4% si les temperatures augmenten 2 °C, de la mateixa manera que la disminució de l'ozó estratosfèric (també dit atmosfèric) comportarà un augment de la radiació ultraviolada a l'atmosfera inferior (Grey et al., 1987). Per tant, cada cop més població estarà en risc, sobretot les persones que tinguin malalties respiratòries (com l'asma), així com les persones que viuen en àrees susceptibles d'experimentar un creixement més elevat dels nivells d'ozó.

Per altra banda, el radó és un gas radioactiu inert, la taxa d'emissió del qual des del terra està relacionada amb la temperatura (ONU, 1982). Alguns estudis experimentals han mostrat certa evidència que l'escalfament global pot fer aug-

mentar la concentració del radó a l'atmosfera inferior (Cuculeanu i Iorgulescu, 1994). A l'interior dels edificis, grans exposicions a aquest gas estan associades amb un augment de casos de càncer de pulmó (IARC, 1988).

Hi ha prou proves de l'impacte de la contaminació atmosfèrica sobre la salut a curt termini (Committee of the Environmental and Occupational Health Assembly of the American Thoracic Society, 1996a i 1996b; Ballester et al., 2002; Saez et al., 2002; Samoli et al., 2003; Touloumi et al., 2003; entre molts altres). Concretament, s'han estudiat extensament sis contaminants: diòxid de sofre (SO_2), ozó (O_3), diòxid de nitrogen (NO_2), monòxid de carboni (CO), plom i partícules.

L'impacte d'alguns dels contaminants sobre la salut és més evident durant l'estiu o amb temperatures elevades (Bates i Sizto, 1987; Bates et al., 1990; Castellsagué et al., 1995; Bobak i Roberts, 1997; Katsouyanni et al., 1997; Spix et al., 1998; De Diego et al., 1999; Hajat et al., 1999). Així, per exemple, s'ha trobat que la relació entre SO_2 i la mortalitat total i cardiovascular a Barcelona (Sunyer et al., 1996), a València (Ballester et al., 1996) i a Roma (Michelozzi et al., 1998) és més gran a l'estiu que a l'hivern. Per contra, Moolgavkar et al. (1995) conclouen que a Filadèlfia, l' SO_2 té els efectes més importants a la primavera, a la tardor i a l'hivern.

Un grau elevat d'ozó en dies de molta calor ha estat associat a augments en la mortalitat i en la morbiditat (mesurada per ingressos hospitalaris) diàries (Moolgavkar et al., 1995; Sunyer et al., 1996; Touloumi et al., 1997; Saez et al., 2002). Encara que la literatura no és del tot conclouent sobre els efectes de l'ozó sobre les persones asmàtiques, hi ha prou proves que concentracions d'ozó superficial elevades estan associades amb l'exacerbació de l'asma. La població general, davant de nivells d'ozó alts, pot experimentar inflamació del pulmó mitjà, encara que no és clar si aquesta danya permanentment el pulmó.

Una darrera qüestió important pel que fa a la salut respiratòria és el possible efecte de la temperatura o d'altres factors climàtics sobre la toxicitat dels contaminants. Cal preguntar-se, per exemple, si una concentració determinada de partícules pot causar efectes adversos, més greus o més freqüents, sobre la salut en condicions de temperatures més elevades. De Diego et al. (1999) mostren com temperatures més càlides modifiquen l'efecte de les partícules sobre l'exacerbació de l'asma. En el mateix sentit, Katsouyanni et al. (1993) descriuen com la temperatura modifica l'efecte en el cas de la relació entre el diòxid de sofre i la mortalitat total. No obstant això, un estudi fet per Samet et al. (1998) utilitzant dades de Filadèlfia no conclou que el clima alteri l'impacte sobre la salut de l'exposició a partícules ni a diòxid de sofre. El problema és que la majoria d'estudis han investigat el possible efecte independent de la temperatura i/o la contaminació atmosfèrica sobre la salut, però no les interaccions entre aquestes variables, encara que iniciatives com el projecte europeu PHEWE (*Assessment and Prevention of acute Health Effects of Weather conditions in Europe*) (Michelozzi, 2003), intenten solucionar aquest dèficit.

És previsible que el canvi climàtic augmenti el risc d'incendis forestals, amb el consegüent fum, i un increment de l'impacte sobre la salut. Els grans focs del sud d'Àsia i Amèrica de l'any 1997 es van associar amb augments en símptomes respiratoris i oculars (Brauer, 1999; OMS, 1999). A Malàisia es van duplicar i fins i tot triplicar les visites mèdiques, i en termes mitjans es va reduir en un 14% la funció pulmonar en escolars. A Alta Floresta, al Brasil, les visites mèdiques es van multiplicar per vint. Els incendis de l'any 1998 a Florida es van associar amb un augment en les urgències per asma (91%), bronquitis (132%) i mal de pit (37%) (CDC, 1999). A Sidney, però, els focs de 1994 no van comportar un augment de les urgències per asma (Smith et al., 1996).

B12.3.2.2. Problemes psicosocials

Alguns estudis suggereixen que es podrien produir efectes adversos sobre la salut mental si, com a conseqüència del canvi climàtic, es produeix una alteració ecològica clarament percebuda, freqüents i importants tempestats o brots greus de malalties (Balbus i Wilson, 2000). Baum i Fleming (1993) suggereixen que són elements humans, i no tant els naturals, els que més contribueixen a l'estrès crònic i altres problemes de salut persistents. Green (1993) inclou certs esdeveniments traumàtics aguts com causants de la conducta violenta de les persones.

S'ha posat de manifest que les riuades tenen un impacte important sobre la salut mental de la comunitat afectada (OMS, 1992; Menne et al., 1999). Després de les riuades que van tenir lloc a Polònia l'any 1997 es van registrar augments dels casos de suïcidis i d'alcoholisme, així com de desordres psicològics i de comportament, sobretot en nens (IFRC, 1998).

Per últim, el canvi climàtic pot afectar l'economia, les infraestructures i l'oferta de recursos i per tant, en certa forma, el moviment de la població. Fins a quin punt aquests problemes afectaran la salut, però, dependrà de l'estatus econòmic i sociopolític que tenia la comunitat afectada abans de l'impacte, així com el de les comunitats veïnes (Shindell i Raso, 1997). De fet, Shindell i Raso (1997) argumenten que, en qualsevol cas, seran els factors polítics i no tant el canvi climàtic els que tindran més influència sobre els problemes psicosocials.

B12.3.2.3. Augment del nivell del mar

Un nivell del mar creixent, accelerat per l'escalament global, pot afectar adversament la salut. Es preveu que el nivell del mar augmenti uns 45 cm (McMichael, 2001) o de 20 a 90 centímetres de cara a l'any 2100 (Wigley, 1999). Aquest augment del nivell pot experimentar-se com una pujada gradual de la línia de la costa o bé com un augment en la gravetat de les tempestats amb danys a la franja litoral (Neumann et al., 2000).

En qualsevol cas, un augment del nivell del mar també pot afectar la salut per la intrusió de sal en l'aigua potable, i danyar els ecosistemes estuaris que són essencials per filtrar i/o proporcionar aliments als animals marins, o desplaçar les comunitats animals costaneres. L'efecte final, però, dependrà de la dinàmica de la zona considerada en particular.

A més d'afectar la salut de forma més o menys directa, un augment del nivell del mar també l'afectarà a través de les seves conseqüències econòmiques. Catalunya disposa, o pot disposar, dels recursos econòmics necessaris per protegir la salut pública de les zones costaneres, així com d'una infraestructura d'abastament d'aigua potable prou eficient. Els danys als ecosistemes costers, com maresmes i aiguamolls, i l'erosió de les platges, però, seran molt més difícils d'evitar.

Les estimacions dels costos de protecció de les costes als Estats Units d'Amèrica se situen entre 20.000 i 150.000 milions de dòlars (Neumann et al., 2000). Aquests costos, però, no contemplen les possibles pèrdues en els ingressos per turisme, ni en les rendes pesqueres per degradació dels recursos, ni tampoc les pèrdues de zones humides, així com tampoc les inversions en potabilització i en infraestructures de sanejament. A més, la disminució de la renda i l'augment d'atur corresponent poden estar associats amb un empitjorament de l'estat de salut de la població (Sorlie et al., 1995; Syme i Balfour, 1998). Els impactes indirectes de l'augment del nivell del mar poden ser més importants, fins i tot, que els directes (Balbus i Wilson, 2000).

B12.3.2.4. Problemes en el subministrament d'aliments

Un dels possibles efectes del canvi climàtic és l'alteració de la productivitat agrícola. Per una banda, es poden produir reduccions en la producció relacionades amb modificacions en les pautes de pluja i amb disminucions de la humitat del sòl. Per l'altra, algunes collites podrien augmentar com a conseqüència d'increments en

la concentració de diòxid de carboni a l'atmosfera i per l'allargament de les èpoques de cultiu (Adams et al., 1999). Reduccions significatives en la productivitat agrícola poden amenaçar la salut a través d'un augment en els costos dels aliments o en la dificultat d'aconseguir un abastament de nutrients adequat per part d'alguns grups de població. És d'esperar, però, que la protecció combinada de la major part de Catalunya en una zona de clima temperat, una infraestructura de transport molt ben desenvolupada, una base econòmica i tecnològica forta i un fàcil accés al comerç internacional, minimitzarà qualsevol impacte que pugui produir modificacions en la producció d'aliments (Adams et al., 1999).

A més de la quantitat d'aliments, el canvi climàtic podria afectar la contaminació bacteriana dels aliments (Bentham i Langford, 1995). Les malalties infeccioses transmeses pels aliments són més freqüents durant l'estiu a causa, en part, del fet que a l'estiu és l'època de l'any on es menja més a l'exterior i menys aliments es mantenen als frigorífics. És probable que unes temperatures més altes augmentin el risc de creixement bacterià, almenys en una proporció tal que pugui causar infeccions. La contaminació bacteriana dels aliments, però, no és només una conseqüència de conductes individuals. El creixement d'una indústria transformadora i distribuïdora d'aliments a Catalunya cada cop més centralitzada augmenta la importància de factors ecològics que poden conduir a la contaminació bacteriana dels aliments. No obstant això, de nou la contaminació bacteriana dels aliments és un problema amb múltiples determinants causals, on el clima n'és només un. A més, no s'han publicat estudis que relacionin el canvi climàtic amb malalties infeccioses transmeses pels aliments.

B12.3.2.5. Malalties infeccioses transmeses per vectors

Segons l'informe del grup de treball conjunt de l'Organització Mundial de la Salut (OMS), de l'Organització Mundial de Meteorologia (OMM)

i del Programa de les Nacions Unides per al Medi Ambient (PNUMA) titulat *Climate Change and Human Health* (McMichael et al., 1996), la incidència de les malalties infeccioses augmentarà com a conseqüència de l'escalfament global. En el cas de la malària, per exemple, es calcula que es podrien produir 50 milions de nous casos l'any 2100.

Com se sap, els insectes i altres invertebrats són de sang freda i, per tant, tenen una forta dependència de la temperatura del seu entorn. Això vol dir, doncs, que el clima juga un paper fonamental en la seva conducta, desenvolupament i reproducció. A més, el desenvolupament dels patògens també està regulat per la temperatura. D'aquesta manera, les malalties transmeses per aquests invertebrats poden estar més afectades pel canvi climàtic que altres.

Les malalties infeccioses transmeses per vectors es produeixen com a conseqüència de la transmissió d'agents infecciosos per vectors artròpodes en alimentar-se de la sang dels animals als quals poden transmetre aquests patògens. Algunes d'aquestes malalties, com la malària o el dengue, dites antroponòtiques, són transmeses per un artròpode que ha adquirit el patògen d'un humà. En moltes altres, dites zoonòtiques, l'agent infeccios normalment es troba en animals, amb transmissió ocasional i accidental a les persones. Els animals actuen com a reservoris per a la malaltia servint com a hostes per a la reproducció dels seus agents, entre brots consecutius en humans.

El canvi climàtic, en millorar la longevitat, augmentar el ritme reproductor, facilitar les picades o augmentar el rang d'aquests vectors, pot incrementar el nombre de persones infectades. A més, els efectes semblants en animals vertebrats que serveixen com a reservoris d'agents associats amb malalties hantavirals (és a dir, malalties infeccioses virals pulmonars), leptospirosi (una malària bacteriana caracteritzada per icterícia i febre) o ràbia, també pot fer augmentar el risc en

humans. Així, per exemple, es creu que l'augment explosiu de ratolins després de les grans pluges associades a *El Niño* en el període 1991-1992 va fer aparèixer el primer brot d'hantavirus als Estats Units d'Amèrica (Engelthaler et al., 1999; Glass et al., 2000).

La complexitat i els múltiples factors que determinen la transmissió de les malalties transmeses per vectors, però, fan molt difícil generalitzar sobre els mecanismes i molt menys predir en quina direcció tindran lloc els canvis, si és que n'hi ha. A més, és més difícil predir els impactes climàtics sobre les malalties zoonòtiques que sobre les antropòniques, pel paper dels animals en la dinàmica de transmissió. Les prediccions han de basar-se en extrapolacions basades en les distribucions existents i en les toleràncies ambientals i freqüències de transmissió actuals. El fet que altres variables importants també puguin variar amb el canvi climàtic complica la predicció.

Entre les malalties més comunes que són transmeses per vectors, almenys pel que fa als Estats Units d'Amèrica, cal citar les transmeses per mosquits (malalties víriques associades amb inflamació en el cervell, com l'encefalitis de Sant Louis, l'encefalitis equina i l'encefalitis de La Crosse, o protozoàries com la malària), paparres (malalties bacterianes caracteritzades per febre i fatiga, com la malaltia de Lyme, la febre de les Rocalloses o l'Ehrlichiosi) o puces (pesta). Diversos estudis han mostrat que alguns aspectes del cicle vital d'aquests vectors, la seva supervivència i la conducta relacionada amb el desenvolupament o la transmissió de patògens, estan afectats per variables meteorològiques, com una temperatura elevada, alteracions en les precipitacions o canvis en el vent i en la radiació solar (Kettle, 1995). Així, el canvi climàtic pot incrementar la freqüència de certes malalties transmeses per mosquits, com l'encefalitis de Sant Louis, en àrees on ara són molt rares (Reeves et al., 1994). Tanmateix, l'encefalitis equina occidental pot aparèixer després de pluges fortes (Nasci i Moore, 1998).

Altres estudis han mostrat com la direcció del vent i les riuades poden fer variar (augmentant o disminuint) les densitats dels vectors o la seva distribució (Patz i Lindsay, 1999). El brot del virus West Nile (semblant al de Sant Louis) a Nova York durant l'estiu de 1999 va ser atribuït a les condicions de sequera de l'estiu (Balbus i Wilson, 2000). Més concretament, les larves de mosquits del gènere *Culex* (al qual pertanyen moltes espècies que actuen de vectors) es desenvolupen inicialment en aigua estancada. Les condicions de sequera de l'estiu van fer que l'aigua quedés estancada en clavegueres i en piscines no utilitzades; així, es van donar les condicions ideals per a aquest mosquit i es va impulsar la transmissió del virus West Nile (Wilgoren, 1999).

La discussió sobre l'efecte del canvi climàtic en malalties infeccioses a Catalunya s'ha centrat en malalties que actualment són rares, transmeses per mosquits, i «importades», com la malària o el paludisme (causades per paràsits *Plasmodium*), el dengue i, més recentment, la febre del virus West Nile. Ocasionalment, el dengue i la malària s'introdueixen a Catalunya, però no es produeix la transmissió a la població. La immensa majoria de casos de malària i dengue detectats en aquest país (206 individus amb malària entre 1996 i 1999; Rotaeche et al., 2001) corresponen a turistes (en el cas del dengue) o bé immigrants (en els dos casos), que visiten o procedeixen de països on aquestes malalties són endèmiques (Rotaeche et al., 2001). En qualsevol cas, no representen una amenaça per als altres residents a Catalunya.

Mentre que es preveu que el canvi climàtic augmenti de forma gradual les regions en el món on les condicions són ideals per als mosquits vectors de malalties, hi ha també moltes àrees on els mosquits hi són presents però no es produeix la transmissió. Encara que això depèn de les condicions particulars de la regió o del fet que les espècies del mosquit vectors de malalties infeccioses no són abundants en aquestes regions i, per tant, rarament entren en contacte amb les

persones, o bé que l'agent infeccios no està present en les persones o no és capaç de desenvolupar-se en el vector.

A Catalunya hi ha zones amb molts mosquits, on es produeix el contacte amb les persones i no es produeix cap tipus d'infecció. Així, la mera presència d'aquests mosquits no implica una transmissió, ni persistent ni ocasional. Fins i tot la introducció de persones infectades en un determinat entorn de persones no provoca l'aparició d'epidèmies. Així, encara que a Catalunya les condicions climàtiques canviessin de tal forma que els mosquits vectors de malalties fossin més abundants o tinguessin una extensió més àmplia, es requeriria que totes les altres condicions per una transmissió important d'aquestes infeccions es donessin alhora i de forma augmentada.

La presència a Catalunya d'espècies de mosquits vectors potencials d'aquestes malalties, com l'*Anopheles Atroparvus* en el cas de la malària, o altres dels gèneres *Culex*, *Aedes* o *Ochlerotatus* en el cas del virus West Nile, implica que, amb independència del canvi climàtic, s'hagi de continuar fent esforços de control sobre aquests vectors, així com la vigilància epidemiològica sobre les malalties que transmeten. Mentre es mantinguin aquests mecanismes de control i l'actual nivell socioeconòmic del país no és probable que el canvi climàtic augmenti de forma significativa el risc de patir aquestes malalties. La reducció del nombre de mosquits (controlant els focus de producció larvària), la limitació del seu contacte amb persones (per exemple millorant les condicions d'habitatge o fomentant la utilització de repel·lents) i l'absència de persones infectades (els viatgers es vacunen o prenen mesures preventives), contribuiran a reduir el risc de la introducció de les malalties transmeses per vectors. En definitiva, el risc més elevat per als catalans respecte a aquestes malalties continuarà associant-se amb els viatges o a la immigració procedent de regions on els vectors locals són abundants i la transmissió de la malaltia per ells transmesa és important.

La *Leishmaniosi* (malaltia infecciosa transmesa per flebotoms, uns insectes semblants als mosquits) és endèmica en moltes parts del sud d'Europa, i ha esdevingut important en convertir-se en una infecció oportunista dels subjectes amb el virus d'immunodeficiència adquirida (HIV) (Githeko et al., 2000). Des de l'any 1990 s'han registrat 1.616 infeccions (oportunistes), sobretot, a l'Estat espanyol, al sud de França i a Itàlia (Dedet i Pratlong, 2000). En escalfar-se el clima, els vectors de la *Leishmaniosi* es faran més abundants i s'expandiran cap al nord d'Europa (Githeko et al., 2000). Estius més càlids i duradors també són ideals per a altres tipus d'insectes, com la mosca comuna, fet que pot provocar un augment del risc de patir diarrees.

Els estudis sobre malalties zoonòtiques transmeses per paparres, com la malaltia de Lyme o l'*Ehrlichiosi*, han mostrat que les seves incidència i distribució estan fortament relacionades amb variables ambientals, encara que es desconeix el paper que el canvi climàtic pot jugar en l'epidemiologia futura de la transmissió. La malaltia de Lyme pot estar associada a accions en la distribució de les paparres, relacionades amb la precipitació i amb la pressió atmosfèrica, sobretot per l'altitud (Amerasinghe et al., 1992), i està associada amb les característiques de l'habitat en una forma complexa (Wilson, 1998). De nou, el paper que el canvi climàtic pot jugar en la presència i el nombre de paparres vectors de la malaltia de Lyme (sobre tot *Ixodes Scapularis*) és pura especulació. El mateix passa amb altres espècies de paparres vectors de certs paràsits *Ehrlichia*, que provoquen malalties febrils en humans (Vail i Smith, 1998; Lindsay et al., 1999). Com en el cas anterior, generalment les avaluacions climàtiques han interpretat de forma prudent aquestes relacions, suggerint que el canvi climàtic pot alterar la distribució o la incidència de l'*Ehrlichiosi* si l'abundància de paparres, la seva supervivència o la seva conducta alimentària es modifiquen.

Encara que a Catalunya no s'han declarat casos de malalties transmeses per paparres, sí que se

n'han aportat constatacions molt properes. Segons Oteo et al. (2001), La Rioja és un àrea endèmica de la malaltia de Lyme, així com una zona amb una presència important d'*Ehrlichia granulòtica*. La malaltia de Lyme també està estesa, en diferents graus, a la província de León, (Rojo, 1997), a Euskadi (Arteaga et al., 1998 i 1999; Barral et al., 2002) i a Sòria (Merino et al., 2000).

Entre les malalties zoonòtiques transmeses per puces, la pesta encara té certa importància en alguns llocs, fins i tot als Estats Units d'Amèrica, on hi ha molts mamífers infestats de puces (Campbell i Dennis, 1998). El moviment de les puces a humans i a altres hostes depèn del nombre de reservoris vertebrats i de la seva supervivència. Per aquesta raó, no està clar l'efecte del clima en l'extensió de la pesta més enllà dels seus reservoris usuals. Encara que el canvi climàtic pot alterar el nombre i les interaccions de l'hoste i el vector, hi ha poques proves que indiquin si es modifiquen els riscos sobre la salut derivats d'aquesta malaltia.

B12.3.2.6. Malalties infeccioses transmeses per l'aigua

Alguns factors climàtics (temperatura ambiental i precipitació) afecten la supervivència i la reproducció de bacteris i virus en el medi ambient. Temperatures elevades tendeixen a millorar la supervivència de bacteris i poden facilitar la transmissió d'algunes malalties transmeses per l'aigua, mentre que alguns virus persisteixen molt de temps en temperatures baixes. Hi ha força proves que el bacteri del còlera (*Vibrio Cholerae*) sobreviu entre brots d'aquesta malaltia en una forma latent dins del zooplàcton en zones costaneres (Colwell, 1996). Els brots de còlera a Bangladesh, per exemple, s'han associat amb la temperatura de la superfície de l'aigua del mar (Colwell, 1996). Tanmateix, es creu que l'escalfament anormal de la temperatura de l'aigua del mar associat amb el fenomen de *El Niño* va contribuir al brot de còlera a Sudamèrica en el període 1991-1992.

A Catalunya el còlera no és una amenaça important, ja que es clora pràcticament tota l'aigua potable, amb la qual cosa es mata el bacteri. Malgrat això, a l'Estat espanyol la dècada dels setanta es caracteritzà per l'aparició de tres epidèmies de còlera, que van afectar Saragossa, Barcelona, València i Múrcia (any 1971), Galícia (any 1975) i Màlaga i Barcelona (any 1979). És probable que el bacteri *Vibrio Cholerae* encara estigui present en aigües costaneres catalanes. A Catalunya, les condicions higièniques i el tractament de les aigües potables i residuals impedeixen que brots esporàdics de còlera esdevinguin epidèmies, com a Sudamèrica o al sudest asiàtic. Així doncs, encara que l'augment de la temperatura de l'aigua i altres factors climàtics pot fer augmentar el nombre de bacteris viables de còlera en l'aigua i en els peixos, el manteniment de les infraestructures de tractament de les aigües potables i residuals impediran l'ocurrència de grans brots de còlera a Catalunya.

A través de l'aigua també es pot transmetre la Cryptosporidiosi, una malaltia intestinal causada per espècies del protozou *Cryptosporidium* i que és sensible a pluges fortes. El *Cryptosporidium* és molt petit, fet que dificulta la seva filtració, com es fa amb la majoria de bacteris en l'aigua potable, i és resistent a la cloració. Algunes espècies de *Cryptosporidium* també es troben en el fems del bestiar. Així doncs, pluges fortes poden portar *Cryptosporidium* a les aigües superficials a través de l'escorrentia. A més, precipitacions fortes poden fer que les depuradores (en particular aquelles sense drenatge) deixin anar molta aigua a rieres i/o a la costa, i s'alliberi una gran quantitat de *Cryptosporidium* a les aigües superficials. Això és el que va passar en el brot de Cryptosporidiosi que va tenir lloc l'any 1993 a Milwaukee, als Estats Units d'Amèrica, després d'una fallida en el sistema de filtració de les aigües (Balbus i Wilson, 2000).

En ambdós casos, el canvi climàtic podria augmentar les concentracions de bacteris a l'aigua. L'impacte final sobre la salut, però, dependrà de

L'eficàcia del tractament d'aigües residuals. Fins ara no s'han fet estudis sistemàtics sobre l'impacte del canvi climàtic en malalties transmeses per l'aigua.

B12.4. Conclusions

El canvi climàtic pot tenir efectes importants sobre la salut, tant de forma directa com indirecta. Encara que la salut pot estar afectada tant per variacions en el clima (regional) com per canvis en el temps (meteorològic) és, de fet, l'associació entre la variabilitat climàtica (desviacions del clima mitjà d'una regió en un període que pot abastar des de setmanes fins a anys) i la salut el que ens permetrà inferir els possibles efectes sobre la salut del canvi climàtic, si n'hi ha.

El problema és que la variabilitat climàtica (antropogènica) pot afectar la salut a través de nombroses vies. La magnitud dels efectes, a més, depèn en part de l'habilitat per anticipar-los i de l'educació i de la planificació de les respostes d'emergència que podrien reduir-ne els impactes. Així doncs, l'impacte últim en la salut pública, en general, dependrà de si pesen més les tensions que la variabilitat climàtica provoca sobre la salut o, per contra, són més importants les mesures d'adaptació dissenyades per protegir la població d'aquestes tensions.

Com ja s'ha dit, el temps i la variabilitat climàtica poden afectar la salut a través de mecanismes directes i indirectes. Els efectes directes inclouen, sobretot, impactes físics que causen estrès fisiològic (per exemple la temperatura) o dany físic sobre les persones (per exemple tempestats, riuades). Els efectes indirectes, com els impactes dels agents climàtics sobre la producció d'aliments o els brots de malalties infeccioses, poden operar a través de diverses vies en les quals estan implicades moltes variables.

Els efectes més importants i evidents de la variabilitat climàtica sobre la salut dels catalans són els directes, alguns dels quals poden estar associats a augmentos de les temperatures. Encara

que es fa difícil generalitzar, el fet que alguns estudis hagin trobat un rang de temperatures de confort bastant ample per a l'Estat espanyol, així com el fet que aquestes temperatures de confort disminueixen quan s'introdueixen variables addicionals com la contaminació atmosfèrica, sobretot, suggereixen que augmentos de la temperatura, encara fora del rang de situacions extremes com onades de calor, poden causar un efecte sobre la salut. En segon terme, no s'haurien de menysprear els efectes de les riuades sobre la salut i el benestar, fins i tot als països desenvolupats com Catalunya.

Pel que fa als efectes indirectes, en primer lloc, el canvi climàtic pot afectar la salut en modificar els nivells de contaminació atmosfèrica (antropogènica) i de pol·len (biogènica). L'efecte més important, davant del previsible augment de les seves concentracions conseqüència del canvi climàtic, estarà provocat per l'ozó. Cada cop hi ha més població que es trobarà en situació de risc, sobretot persones amb malalties respiratòries (entre elles l'asma), així com les que viuen en àrees susceptibles d'experimentar uns nivells d'ozó més elevats. Per altra banda, l'impacte d'alguns dels contaminants sobre la salut és més evident durant l'estiu o amb temperatures elevades. El problema és que la majoria d'estudis han investigat el possible efecte independent de la temperatura i/o la contaminació atmosfèrica sobre la salut, però no les interaccions entre aquestes variables, encara que iniciatives tal com el projecte europeu *Assessment and Prevention of acute Health Effects of Weather conditions in Europe* (PHEWE) (Michelozzi, 2003), intenten solucionar aquest dèficit.

Segons l'informe del grup de treball conjunt de l'Organització Mundial de la Salut (OMS), l'Organització Mundial de Meteorologia i del Programa de les Nacions Unides per al Medi Ambient (PNUMA), intitulat *Climate Change and Human Health*, la incidència de les malalties infeccioses augmentarà com a conseqüència de l'escalfament global (McMichael et al., 1996). La

complexitat i els múltiples factors que determinen la transmissió de les malalties a través de vectors, però, fan molt difícil generalitzar sobre els mecanismes i molt menys predir en quina direcció tindran lloc els canvis, si n'hi ha.

Alguns factors climàtics (com la temperatura ambiental i la precipitació) afecten la supervivència i la reproducció de bacteris i virus en el medi ambient. A Catalunya, les condicions higièniques i el tractament de les aigües potables i residuals impedeixen que brots esporàdics d'infeccions esdevinguin epidèmies, com passa a Sudamèrica o al sudest asiàtic. Així doncs, encara que l'augment de la temperatura de l'aigua i altres factors climàtics pot fer augmentar el nombre de bacteris viables en l'aigua i en els peixos, el manteniment de les infraestructures de tractament de les aigües potables i residuals impedirà l'aparició de grans brots de còlera a Catalunya.

Agraïments

Els autors agraeixen els comentaris de la Dra. Maria Sala i de Carles Aranda, del Servei de Control de Mosquits del Consell Comarcal del Baix Llobregat, especialment en la secció B12.3.2.5. (on es tracten les malalties infeccioses transmeses per vectors).

Referències bibliogràfiques

ADAMS, R.M.; HURD, B.H.; REILLY, J. *Agriculture and global climate change: a review of impacts to U.S. agricultural resources*. Arlington, VA: Pew Center on Global Climate Change, 1999.

AMERASINGHE, F.P.; BREISCH, N.L.; AZAD, A.F.; GIMPEL, W.F.; GRECO, M.; NEIDHARTD, K.; PAGAC, B.; PIESMAN, J.; SANDT, J.; SCOTT, T.W. «Distribution, density and Lyme disease spirochete infection in *Ixodes dammini* (Acari Ixodidae) on white-tailed deer in Maryland». *Journal of Medical Entomology*, núm. 29 (1992), p. 54-61.

ANDERSON, H.R.; PONCE DE LEON, A.; BLAND, J.M.; BOWER, J.S.; EMBERLIN, J.; STRACHAN, D.P. «Air pollution, pollens, and daily admissions for asthma in London, 1987-1992». *Thorax*, núm. 53 (1998), p. 842-848.

ARTEAGA, F.; GARCÍA-MONCO, J.C. «Asociación de la enfermedad de Lyme con las actividades laborales y de ocio». *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, vol. 16, núm. 6 (1998), p. 265-269.

ARTEAGA, F.; GARCÍA-MONCO, J.C. «Factores de riesgo asociados con la presencia de anticuerpos contra *Borrelia burgdorferi*». *Revista Clínica Española*, vol. 199, núm. 3, p. 136-141.

BALBUS, J.M.; WILSON, M.L. *Human health and global climate change. A review of potential impacts in the United States*. Report of the Pew Center on Global Climate Change, 2000. <<http://www.pewclimate.org/projects/human-health.cfm>>.

BALLESTER, F.; CORELLA, D.; PÉREZ-HOYOS, S.; SAEZ, M.; HERVÁS, A. «Air pollution and mortality in Valencia, Spain: a study using the APHEA methodology». *Journal of Epidemiology and Community Health*, núm. 50 (1996), p. 527-533.

BALLESTER, F.; CORELLA, D.; PÉREZ-HOYOS, S.; SAEZ, M.; HERVÁS, A. «Analysis of mortality as a function of temperature: a study in Valencia, Spain, 1991-1993». *International Journal of Epidemiology*, vol. 25, núm. 3 (1997), p. 551-561.

BALLESTER, F.; SAEZ, M.; PÉREZ-HOYOS, S.; ÍÑIGUEZ, C.; GANDARILLAS, A.; TOBIÁS, A.; BELLIDO, J.; TARACIDO, M.; ARRIBAS, F.; DAPONTE, A.; ALONSO, E.; CAÑADA, A.; GUILLÉN-GRIMA, F.; CIRERA, L.; PÉREZ-BOÍLLOS, M.J.; SAURINA, C.; GÓMEZ, F.; TENÍAS, J.M. «The EMECAM project: a multicentre study on air pollution and mortality in Spain: combined results for particulates and for sulfur dioxide». *Occupational Environmental Medicine*, núm. 59 (2002), p. 300-308.

BARRAL, M.; GARCÍA-PÉREZ, A.L.; JUSTE, R.A.; HURTADO, A.; ESCUDERO, R.; SELLA, R.E.; ANDA, P. «Distribution of *Borrelia burgdorferi* sensu lato in *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) ticks from the Basque Country, Spain». *Journal of Medical Entomology*, vol. 39, núm. 1 (2002), p. 177-184.

BATES, D.V.; SIZTO, R. «Air pollution and hospital admissions in Southern Ontario: the acid summer haze effect». *Environmental Research*, núm. 43 (1987), p. 317-331.

BATES, D.V.; BAKER-ANDERSON, M.; SIZTO, R. «Asthma attack periodicity: a study of hospital emergency visits in Vancouver». *Environmental Research*, núm. 51 (1990), p. 51-70.

BAUM, A.; FLEMING, I. «Implications of psychological research on stress and technological accidents». *American Psychologist*, núm. 18 (1993), p. 665-672.

- BEGGS, P.J.; CURSON, P.H. «An integrated environmental asthma model». *Archives of Environmental Health*, núm. 32 (1995), p. 1.777-1.783.
- BEHRENDT, I.L.; BECKER, W.M.; FRITZSCHE, C.; SLIWA-TOMCZEK, W.; TOMCZEK, J.; FRIEDRICH, K.I.I.; RING, J. «Air pollution and allergy: experimental studies on modulation of allergen release from pollen by air pollutants». *International Archives of Allergy and Immunology*, núm. 113 (1993), p. 69-74.
- BELT IBÉRICA SA, ANALISTAS DE PREVENCIÓN. «Quince de las mayores ciudades catalanas registraron 6.516 muertos durante la ola de calor». <<http://www.belt.es/noticias/2003/agosto/22/ola.htm>> [22 d'agost de 2003].
- BENTHAM, G.; LANGFORD, I.H. «Climate change and the incidence of food poisoning in England and Wales». *International Journal of Biometeorology*, núm. 39 (1995), p. 81-86.
- BOBAK, M.; ROBERTS, A. «Heterogeneity of air pollution effects is related to average temperature». *British Medical Journal*, núm. 315 (1997), p. 1.161-1.162.
- BOUMA, M.J.; VAN DER KAAJ, H.J. «The El Niño southern oscillation and the historic malaria epidemics in the Indian subcontinent and Sri Lanka: an early warning system for future epidemics». *Tropical Medicine and International Health*, núm.1 (1996), p. 86-96.
- BRAGA, A.L.F.; ZANOBETTI, A.; SCHWARTZ, J. «The effect of weather on respiratory and cardiovascular deaths in 12 U.S. cities». *Environmental Health Perspectives*, vol. 110, núm. 9 (2002), p. 859-863.
- BRAUER, M. «Health impacts of air pollution from vegetation fires». A: GOH, K.T.; SCHWELA, D.; GOLDAMMER, J.; SIMPSON, O. (eds). *Health Guidelines for Vegetation Fire Events: Background Papers*. Singapur: Institute of Environmental Epidemiology, OMS, 1999.
- BUSQUETS, E.; GISPERT, R. *Evolució de la mortalitat a Catalunya, 1983-1998*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Sanitat i Seguretat Social, Direcció General de Recursos Sanitaris, Servei d'Informació i Estudis, 2001.
- CALBÓ, J. «Projeccions futures sobre el clima a Catalunya». A: LLEBOT, J.E. (ed). *El Canvi Climàtic a Catalunya*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans-CADS, 2005.
- CAMPBELL, G.L.; DENNIS, D.T. «Plague and other Yersinia infections». A: KASPER, D.L. et al. (eds). *Harrison's principles of internal medicine*. Nova York: McGraw-Hill, 1998. p. 975-983.
- CASTELLSAGUÉ, J.; SUNYER, J.; SAEZ, M.; ANTÓ, J.M. «Short-term association between air pollution and emergency room visits for asthma in Barcelona». *Thorax*, núm. 50 (1995), p. 1.051-1.056.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). «Surveillance of morbidity during wildfires: Central Florida 1999». *Morbidity and Mortality Weekly Reports*, núm. 281 (1999), p. 789-790.
- CHESTNUT, L.G.; BREFFLE, W.S.; SMITH, J.B.; KALSTEIN, L.S. «Analysis of differences in hot-weather-related mortality across 44 U.S. metropolitan areas». *Environmental Science and Policy*, núm. 1 (1998), p. 59-70.
- COLWELL, R.R. «Global climate change and infectious disease: the cholera paradigm». *Science*, núm. 271 (1996), p. 2.025-2.031.
- Committee of the Environmental and Occupational Health Assembly of the American Thoracic Society. «Health effects of outdoor air pollution». *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, núm. 153 (1996a), p. 3-50.
- Committee of the Environmental and Occupational Health Assembly of the American Thoracic Society. «Health effects of outdoor air pollution. Part 2». *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, núm. 153 (1996b), p. 477-498.
- CURCULEANU V.; IORGULESCU, D. «Climate change impact on the radon activity in the atmosphere». *Romanian Journal of Meteorology*, núm 1 (1994), p. 55-58.
- CURRIERO, F.C.; HEINER, K.S.; SAMET, J.M.; ZEGER, S.L.; STRUG L.; PATZ, J.A. «Temperature and mortality in 11 cities of the eastern United States». *American Journal of Epidemiology*, núm. 155(1) (2002), p. 80-87.
- DE DIEGO, D.; LEON, E.M.; PERPINA, T.M.; COMPTE, T.L. «Effects of air pollution and weather conditions on asthma exacerbation». *Respiration*, núm. 66 (1999), p. 52-58.
- DEDET, J.; PRATLONG, F. «Leishmania, Trypanosoma and moxoneous trypanosomatids as emerging opportunistic agents». *Journal of Eukaryotic Microbiology*, núm. 47 (2000), p. 37-39.
- Department of Health NHS UK. 2002. <<http://www.doh.gov.uk/airpollution/climatechange02/>>.
- DÍAZ, J.; JORDÁN, A.; GARCÍA, R.; LÓPEZ, C.; ALBERDI, J.C.; HERNÁNDEZ, E.; OTERO, A. «Heat waves in Madrid 1986-1997: effects on the health of the elderly». *International Archives of Occupational and Environmental Health*, vol. 75, núm. 3 (2002a), p. 163-170.
- DÍAZ, J.; GARCÍA, R.; VELÁZQUEZ-DE-CASTRO, F.; HERNÁNDEZ, E.; LÓPEZ, C.; OTERO, A. «Effects of ex-

- tremely hot days on people older than 65 years in Seville (Spain) from 1986 to 1997». *International Journal of Biometeorology*, vol. 46, núm. 3 (2002b) p. 145-149.
- DONALDSON, G.C.; KOVATS, R.S.; KEATINGE, W.R.; MCMICHAEL, A.J. «Heat- and cold-related mortality and morbidity and climate change». A: *Health Effects of Climate Change in the UK*. London: Department of Health, 2001.
- DONALDSON, G.C.; KEATINGE, W.R.; NAYHA, S. «Changes in summer temperature and heat-related mortality since 1971 in North Carolina, South Finland, and Southeast England». *Environmental Research*, vol. 91, núm. 1 (2003) p. 1-7.
- EMBERLIN, J. «The effects of patterns in climate and pollen abundance on allergy». *Allergy*, núm. 49 (Supl.18) (1994), p. 15-20.
- ENGELTHALER, D.M.; MOSLEY, D.G.; CHEEK, J.E.; LEVY, C.E.; KOMATSU, K.K.; ETTESTAD, P.; DAVIS, T.; TANDA, D.T.; MILLER, L.; FRAMPTON, J.W.; PORTER, R.; BRYAN, R.T. «Climatic and environmental patterns associated with hantavirus pulmonary syndrome. Four Corners Region, United States». *Emerging Infectious Diseases*, núm. 5 (1999), p. 87-94.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). *National air quality and emissions trends report. 1996*. Environmental Protection Agency (EPA), 1996. (Document number 454/R-9/-013). <<http://www.epa.gov/oar/aqtrmd96/chapter1.pdf>>.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA), 2003. <<http://yosemite.epa.gov/oar/globalwarming.nsf/content>>.
- EPTON, M.J.; MARTIN, JR.; GRAHAM, P.; HEALY, P.E.; SMITH, H.; BALASUBRAMANIAM, R.; HARVEY, I.C.; FOUNTAIN, D.W.; HEDLEY, J.; TOWN, G.I. «Climate and aeroallergen levels in asthma: a 12 month prospective study». *Thorax*, núm. 52 (1997), p. 528-534.
- EUROWINTERGROUP. «Cold exposure and winter mortality from ischaemic heart disease, cerebrovascular disease, respiratory disease, and all causes in warm and cold regions of Europe». *Lancet*, núm. 349 (1997), p. 1341-1346.
- FREDERICK, K.D.; GLEICK, P.L. *Water and global climate change: potential impacts on U.S. water resources*. Arlington, VA: Pew Center on Global Climate Change, 1999.
- GAFFEN, D.J.; ROSS, R.J. «INCREASED SUMMERTIME HEAT stress in the US». *Nature*, núm. 396 (1998), p. 529-530.
- GISPERT, R.; PUIG, X.; TORNÉ, M.M.; PUIGDEFÀBREGAS, A. «Esperança de vida en bona salut. Catalunya, 1986-1997». *Butlletí Epidemiològic de Catalunya*, vol. 22, núm. 11 (2001), p. 143-148.
- GITHEKO, A.K.; LINDSAY, S.W.; CONFALONIERI, U.E.; PATZ, J.A. «Climate change and vector-borne diseases: a regional analysis». *Bulletin of the World Health Organization*, vol. 78, núm. 9 (2000), p. 1136-1147.
- GLASS, G.; CHEEK, J.; PATZ, J.A.; SHIELDS, T.M.; DOYLE, T.J.; THOUROUGHMAN, D.A.; HUNT, D.K.; ENSORE, R.E.; GAGE, K.L.; IRELAND, C.; PETERS, C.J.; BRYAN, R. «Predicting high risk areas for hantavirus pulmonary syndrome with remotely sensed data: the Four Corner outbreaks, 1993». *Emerging Infectious Diseases*, núm. 6 (2000), p. 238-247.
- GOODESS, C.; JONES, J. *Mediterranean climate change*. <<http://www.cru.uea.ac.uk/~clareg/merc.htm>, 2003>.
- GREEN, B.L. «Identifying survivors at risk: trauma and stressors across events». A: WILSON, J.P. I RAPHAEL, B. (eds). *International Handbook of Traumatic Stress Syndromes*. Nova York: Plenum Press, 1993.
- GREY, M.; EDMOND, R.; WHITTEN, G. *Tropospheric ultraviolet radiation: assessment of existing data and effect on ozone formation*. Research Triangle Park, NC: Environmental Protection Agency (EPA), 1987.
- GUARDIA, M.; FERNÁNDEZ-DORADO, F.; NADAL, P.; DRAPKIN, C. «Còlera en España. Una realitat domèstica». *Medicina Clínica*, vol. 106, núm. 2 (1996), p. 76-77.
- GUEST, C.S.; WILSON, K.; WOODWARD, A.; HENNESSY, K.; KALSTEIN, L.S.; SKINNER, C.; MCMICHAEL, A.J. «Climate and mortality in Australia: retrospective study, 1979-1990, and predicted impact in five major cities in 2030». *Climate Research*, núm. 13 (1999), p. 1-15.
- GUNTZEL, O.; BOLLAG, U.; HELFENSTEIN, U. «Asthma and exacerbation of chronic bronchitis: sentinel and environmental data in a time series analysis». *Zentralblatt für Hygiene und Umweltmedizin*, núm. 198, (1996) p. 383-393.
- HAJAT, S.; GOUBET, S.A.; HAINE, S A. «Thunders-torm-associated asthma: the effect on GP consultations». *British Journal of General Practitioners*, núm. 47 (1997), p. 639-641.
- HAJAT, S.; HAINES, A.; GOUBET, S.A., ATKINSON, R.A.; ANDERSON, H.R. «Association of air pollution with daily GP consultations for asthma and other lower respiratory conditions in London». *Thorax*, núm. 54, (1999), p. 597-605.
- Health Canada, 2003. <<http://www.hc-sc.gc.ca/hecsesc/ccho/index.htm>>

- HOUGHTON, J.; DING, Y.; GRIGGS, M. et al. (eds). *Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- HOUGHTON, J.; DING, Y.; GRIGGS, M. et al. (eds). *IPCC. Climate change 1995: the science of climate change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
- HULME, M.; SHEARD, N. *Escenarios de cambio climático para la Península Ibérica*. Norwich: Unidad de Investigación Climática, 1999.
- IARC. *Radon. IARC monograph on the evaluation of carcinogenic risks to humans*. Vol 43. Lyon: International Agency for Research on Cancer (IARC), 1988.
- IBLNEWS. «Denuncian que las muertes por la ola de calor superan las cifras oficiales». <<http://iblnews.com/noticias/08/84964.html>> [consulta 24 d'agost de 2003].
- IFRC. *World disasters report 1998. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies*. Oxford: Oxford University Press, 1998.
- Institut de Veille Sanitaire. *Impact sanitaire de la vague de chaleur en France survenue en août 2003*. Département des maladies chroniques et traumatismes. Département santé environnement. Rapport d'étape, 29 août 2003.
- ÍÑIGUEZ, C.; BALLESTER, F.; FERRÁNDIZ, J.; PÉREZ-HOYOS, S.; SAEZ, M. *Temperatura y mortalidad en 13 ciudades españolas*. (En premsa).
- Johns Hopkins University. 2000. <<http://www.jhu.edu/~climate>>
- KALSTEIN, L.S. «Direct impacts in cities». *Lancet*, núm. 342, (1993), p. 1.397-1.399.
- KALSTEIN, L.S.; GREENE, J.S. «An evaluation of climate/mortality relationship in large U.S. cities and the possible impacts of a climate change». *Environmental Health Perspectives*, núm. 105 (1997) p. 84-93.
- KARL, T.R.; KNIGHT, R.W.; PLUMMER, N. «Trends in high-frequency climate variability in the twentieth century». *Nature*, núm. 377 (1995) p. 217-220.
- KATSOUYANNI, K.; PANTAZOPOULOU, A.; TOULOUMI, G.; TSELEPIDAKI, I.; MOUSTRIS, K.; ASIMAKOPOULOS, D.; POULOPOULOU, G.; TRICHOPOULOS, D. «Evidence of interaction between air pollution and high temperature in the causation of excess mortality». *Archives of Environmental Health*, vol. 48, núm. 4 (1993), p. 235-242.
- KATSOUYANNI, K.; TOULOUMI, G.; SPIX, C.; SCHWARTZ, J.; BALDUCCI, F.; MEDINA, S.; ROSSI, G.; WOJTYNIAK, B.; SUNYER, J.; BACHAROVA, L.; SCHOUTEN, J.P.; PONKA, A.; ANDERSON, H.R. «Short-term effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities: results from time series data from the APHEA project; air pollution and health: a European approach». *British Medical Journal*, núm. 314, (1997), p. 1.658-1.663.
- KEATINGE, WR.; DONALDSON, G.C.; CORDIOLI, E.; MARTINELLI, M.; KUNST, A.E.; MACKENBACH, J.P.; NAYA, S.; VUORI, I. «Heat related mortality in warm and cold regions of Europe: observational study». *British Medical Journal*, núm. 81 (2000), p. 795-800.
- KETTLE, D.S. (ed). *Medical and veterinary entomology*. 2a edició. Wallingford: CAB International, 1995.
- KHAW, K.T. «Temperature and cardiovascular mortality». *Lancet*, núm. 345, (1995), p. 337-338.
- KILBOURNE, E.M.; CHOI, K.; JONES, T.S.; THACKER, S.B.; TEAM, F.I. «Risk factors for heat stroke: a case-control study». *Journal of the American Medical Association*, núm. 247 (1982), p. 3.332-3.336.
- KILBOURNE, E.M. «Illness due to thermal extremes». A: WALLACE, R.B. (ed). *Maxcy-Rosenau-Last public health an preventive medicine*. 14a edició. Stamford: Appleton-Lange, 1998.
- KRÍZ, B.; BENES, C.; CÁSTKOVÁ, J.; HELCL, J. «Monitorování epidemilogické situace v zaplavených oblastech v České Republice v roce 1997». A: DAVIDOVÁ, P.; RUPES, V. (eds). *Konference DDD'98: Kongresové Centrum Lázeňská Kolonáda Podebrady, 11-13 Kvetna 1998*, p. 19-34.
- KUNST, A.E.; LOOMAN, C.W.; MACKENBACH, J.P. «Outdoor air temperature and mortality in the Netherlands: a time-series analysis». *American Journal of Epidemiology*, vol. 137, núm. 3 (1993), p. 331-341.
- LAAKE, K.; SVERRE, J.M. «Winter excess mortality: a comparison between Norway and England plus Wales». *Age and Ageing*, núm. 25 (1996), p. 343-348.
- LANGFORD. L.II., BENTHAM, G. «The potential effects of climate change on winter mortality in England and Wales». *International Journal of Biometeorology*, vol. 38, núm. 3 (1995), p. 141-147.
- LAWLOR, D.A.; MAXWELL, R.; WHEELER, B.W. «Rurality, deprivation, and excess winter mortality: an ecological study». *Journal of Epidemiology and Community Health*, vol. 56, núm. 5 (2002), p. 373-374.
- LINDSAY, L.R.; MATHISON, S.W.; BARKER, I.K.; MCEVERT, S.A.; GILLESPIE, T.J.; SURGEONER, G.A. «Mi-

- croclimate and habitat in relation to *Ixodes scapularis* (Acari Ixodidae) populations on Long Point, Ontario, Canada». *Journal of Medical Entomology*, vol. 36, núm. 3 (1999), p. 255-262.
- LÓPEZ-COTÍN, L.F.; RAMOS, P. «Descripción de la ola de calor del 18 al 25 de Julio del 95». A: *IV Simposio Nacional de Predicción. Memorial «Alfonso Ascaso», Instituto Nacional de Meteorología, Madrid, 15-19 d'abril de 1996.*
- MARTENS, W.J.M. «Climate change, thermal stress and mortality changes». *Social Science and Medicine*, núm. 46 (1997), p. 331-344.
- MARTENS, W.J.M. *Health impacts of climate change: an eco-epidemiological modelling approach.* Maastrich: Netherlands, 1997.
- MCMICHAEL, A.J.; HAINES, A.; SINOF, R.; KOVATS, S. (eds). *Climate change and human health.* Ginebra: Organització Mundial de la Salut, 1996.
- MCMICHAEL, A. I GITHEKO, A. «HUMAN HEALTH». A: MCCARTHY, J.J.; CANZANI, O.F.; LEARY, N.A.; DOKKEN, D.J.; WHITE, K.S. (eds). *Climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability.* Cambridge: Cambridge University Press, 2001, p. 453-485.
- MENNE, B.; POND, K.; NOJI, E.K.; BERTOLLINI, R. «Floods and public health consequences, prevention and control measures. UNECE/MP.WAT/SEM.2/1999/22». A: *United Nations Economic Commission for Europe (UNCE) Seminar on Flood Prevention, Berlin, 7-8 Octubre 1999.* Roma: WHO Europe Centre for Environment and Health, 1999.
- MERINO, F.J.; SERRANO, J.L.; SAZ, J.V.; NEBRED, T.; GEGUNDEZ, M.; BELTRAN, M. «Epidemiological characteristics of dogs with Lyme borreliosis in the province of Soria (Spain)». *European Journal of Epidemiology*, vol. 16, núm. 2 (2000), p. 97-100.
- MICHELOZZI, P.; FORASTIERE, F.; FUSCO, D.; TOBIAS, A.; ANTO, J.M. «Air pollution and daily mortality in Rome, Italy». *Occupational and Environmental Medicine*, núm. 55 (1998), p. 605-611.
- MICHELOZZI, P. (coord). *PHEWE: Assessment and Prevention of acute Health Effects of Weather conditions in Europe.* European Commission: Quality of life and management of living resources. Key action no. 4: Environment and Health, 2003. (EU contract QLK4-CT-2001-00152).
- MOOLGAVKAR, S.H.; LUEBECK, E.F.; HALL, T.A.; ANDERSON, E.L. «Air pollution and daily mortality in Philadelphia». *Epidemiology*, núm. 6 (1995), p. 476-484.
- Elmundosalud. «Las oscilaciones de la mortalidad son normales, según Ana Pastor». <<http://elmundosalud.el-mundo.es/elmundosalud/2003/08/22/medicina/1061560917.html>> [consulta 22 d'agost de 2003].
- NASCI, R.S. I MOORE, C.G. «Vector-borne disease: surveillance and natural disasters». *Emerging Infectious Diseases*, núm. 4 (1998), p. 333-334.
- NEUMANN, J.E.; YOHE, R.; NICHOLLS, R. I MANLON, M. *Sea-level rise and global climate change: a review of impacts to U.S. coasts.* Arlington: Pew Center on Global Climate Change, 2000.
- NEWSON, R.; STRACHAN, D.; ARCHIBALD, E.; EMBERLIN, J.; HARDAKER, P. I COLLIER, C. «Acute asthma epidemics, weather and pollen in England, 1987-1994». *European Respiratory Journal*, núm. 11 (1998), p. 694-701.
- NOJI, E.K. «The nature of disaster». A: NOJI, E.K. (ed). *The public health consequences of disasters.* Nova York: Oxford University Press, 1997.
- Organització Mundial de la Salut. *50 facts from the 1996 World Health Report.* Ginebra: Organització Mundial de la Salut, 1996. <<http://www.who.org/whr/1996/50facts.htm>>.
- Organització Mundial de la Salut. *Health Guidelines for Episodic Vegetation Fire Events.* Ginebra: Organització Mundial de la Salut, 1999. (WHO/EHG/99.7).
- Organització Mundial de la Salut. 2002. <<http://www.who.int/peh/climate/climate-and-health.htm>>.
- Organització de les Nacions Unides. *Sources and biological effects of ionizing radiation.* Nova York: ONU, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1982.
- OTEO, J.A.; GIL, H.; BARRAL, M.; PÉREZ, A.; JIMÉNEZ, S.; BLANCO, J.R.; MARTÍNEZ, A.; ARTOLA, V.; GARCÍA-PÉREZ, A.; JUSTE, R.A. «Presence of granulocytic ehrlichia in ticks and serological evidence of human infection in La Rioja, Spain». *Epidemiology Infections*, vol. 127, núm. 2 (2001), p. 353-358.
- PAN, W.J.; LI, L.A.; TSAI, M.J. «Temperature extremes and mortality from coronary heart disease and cerebral infarction in elderly Chinese». *The Lancet*, vol. 345, núm. 11 (1995), p. 353-355.
- PATZ, J.A. I LINDSAY, S.W. «New challenges, new tools: the impact of climate change on infectious diseases». *Current Opinion in Microbiology*, vol. 2, núm. 4 (1999), p. 445-451.
- PATZ, J.A.; MCGEEHIN, M.A.; BERNARD, S.M.; EBI, K.L.; EPSTEIN, P.R.; GRAMBSCH, A.; GUBLER, D.J.;

- REITER, P.; ROMIEU, I.; ROSE, J.B.; SAMET, J.M.; TRTANJ, J. «The potential health impacts of climate variability and change for the United States: executive summary of the report of the health sector of the U.S. National Assessment». *Environmental Health Perspectives*, vol. 108, núm. 4 (2000), p. 367-376.
- PATZ, J.A.; KHALIQ, M. «Global climate change and health: challenges for future practitioners». *Journal of the American Medical Association*, núm. 287 (2002), p. 2283-2284.
- PEACOCK, J.L. «Acute effects of winter air pollution on respiratory function in schoolchildren in southern England». *Occupational and Environmental Medicine*, núm. 60(2) (2003), p. 82-89.
- RAMLOW, J.M.; KULLER, L.II. «Effects of the summer heat wave of 1988 on daily mortality in Allegheny County, PA». *Public Health Reports*, núm. 105 (1990), p. 283-289.
- REEVES, W.C.; HARDY, J.L.; REISEN, W.K.; MILBY, M.M. «Potential effect of global warming on mosquito-borne arboviruses». *Journal of Medical Entomology*, núm. 31, 1994, p. 323-332.
- RODÓ, X.; RODRÍGUEZ-ARIAS, M.A. «El forçament antropogènic i els canvis en el clima». A: LLEBOT, J.E. (ed). *Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans-CADS, 2005.
- ROJO, J. «Seroprevalencia de infecciones causadas por *Borrelia Bugdorferi* y *Rickettsia Conorii* en humanos y perros en atención primaria en San Andrés del Rabanedo (León, España)». *Revista Española de Salud Pública*, núm. 71(2) (1997), p. 173-180.
- ROONEY, C.; MCMICHAEL, A.J.; KOVATS, R.S.; COLEMAN, M. «Excess mortality in England and Wales, and in Greater London, during the 1995 heatwave». *Journal of Epidemiology and Community Health*, núm. 52 (1998), p. 482-486.
- ROTAECHE, V. «Paludismo inducido en España, 1971-2000». *Boletín Epidemiológico*, núm. 9(13/137-148) (2001), p. 137-138.
- ROTAECHE, V.; HERNÁNDEZ-PEZZI, G.; DE MATEO, S. «Vigilancia epidemiológica del paludismo en España, 1996-1999». *Boletín Epidemiológico*, núm. 9(03/21-32) (2001), p. 21-25.
- SAEZ, M.; SUNYER, J.; CASTELLSAGUÉ, J.; MURILLO, C.; ANTÓ, J.M. «Relationship between weather temperature and mortality: a time series analysis approach in Barcelona». *International Journal of Epidemiology*, núm. 24 (1995), p. 576-582.
- SAEZ, M.; SUNYER, J.; TOBIÁS, A.; BALLESTER, F.; ANTÓ, J.M. «Ischaemic heart disease mortality and weather temperature in Barcelona, Spain». *European Journal of Public Health*, vol. 10, núm. 1 (2000), p. 58-63.
- SAEZ, M.; BALLESTER, F.; BARCELÓ, M.A.; PÉREZ-HOYOS, S.; BELLIDO, J.; TENÍAS, J.M.; OCAÑA, R.; FIGUEIRAS, A.; ARRIBAS, F.; ARAGONÉS, N.; TOBIÁS, A.; CIRERA, LL.; CAÑADA, A. «A combined analysis of the short-term effects of photochemical air pollutants on mortality within the MECAM project». *Environmental Health Perspectives* núm. 110(3) (2002), p. 221-228.
- SAKAMOTO-MOMIYAMA, M. *Seasonality in human mortality: a medico-geographical study*. Tokyo: University of Tokyo, 1977.
- SAMET, J.; ZEGER, S.; KELSALL, J.; XU, J.; KALSTEIN, L. «Does weather confound or modify the association of particulate air pollution and mortality? An analysis of the Philadelphia data, 1973-1980». *Environmental Health Perspectives* vol. 77, núm. 1 (1998), p. 9-19.
- SAMOLI, E.; TOULOUMI, G.; ZANOBETTI, A.; LE TRETRE, A.; SCHLINDER, C.; ATKINSON, R.; VONK, J.; ROSSI, G.; SAEZ, M.; RABCZENKO, D.; SCHWARTZ, J.; KATSOUYANNI, K. *Investigating the dose-response relationship between air pollution and total mortality in the APHEA2 multicity project*. Environmetrics, 2003 (en premsa).
- SEMENZA, J.C.; RUBIN, C.II.; FALTER, K.II.; SELANI-KIO, J.D.; FLANDERS, W.D.; HOWE, II.L.; WILHEM, J.L. «Heat-related deaths during the July 1995 heat wave in Chicago». *New England Journal of Medicine*, vol. 335, núm. 2 (1996), p. 84-90.
- SHINDELL, S.; RASO, J. *Global climate change and human health*. Nova York: The American Council on Science and Health, 1997. <<http://www.acsh.org/publications/reports/global.html>>
- SIE. Servei d'Informació i Estudis de la Direcció General de Recursos Sanitaris del Departament de Sanitat i Seguretat Social. «Anàlisi de la mortalitat a Catalunya». *Butlletí Epidemiològic de Catalunya*, vol. 24, núm. 1 (2003), p. 1-8.
- SMITH, J.B.; TIRPACK, D. (eds). *The potential effects of global climate change on the United States*. Washington: Environmental Protection Agency, 1989. (EPA-230-05-89-050).
- SMITH, M.A.; JALALUDIN, B.; BYLES, J.E.; LIM, L.; LEEDER, S.R. «Asthma presentation to emergency departments in Western Sydney during the January 1994 bushfires». *International Journal of Epidemiology*, núm. 25 (1996), p. 1.227-1.236.

- SORLIE, P.D.; BACKLUND, E.; KELLER, J.B. «US mortality by economic, demographic, and social characteristics». *American Journal of Public Health*, vol. 85, núm. 7 (1995), p. 949-956.
- SPIX, C.; ANDERSON, H.R.; SCHWARTZ, J.; VIGOTTI, MA.; LETERTRE, A.; VONK, J.M.; TOULOUMI, G.; BALDUCCI, F.; PIEKARSKI, T.; BACHAROVA, L.; TOBIAS, A.; PONKA, A.; KATSOUYANNI, K. «Short-term effects of air pollution on hospital admissions of respiratory diseases in Europe: a quantitative summary of APHEA study results - air pollution and health: a European approach». *Archives of Environmental Health*, núm. 53 (1998), p. 54-64.
- STIEB, D.M.; BURNETT, R.T.; BEVERIDGE, R.C.; BROOK, J.R. «Association between ozone and asthma emergency department visits in Saint John, New Brunswick, Canada». *Environmental Health Perspectives*, núm. 104 (1996), p. 1.354-1.360.
- SUNYER, J.; CASTELLSAGUÉ, J.; SAEZ, M.; TOBIAS, A.; ANTÓ, J.M. «Air pollution and mortality in Barcelona». *Journal of Epidemiology and Community Health*, vol. 50, núm. 1 (1996), p. 76-80.
- SYME, S.L.; BALFOUR, J.L. «Social determinants of diseases». A: WALLACE, R.B. (ed). *Maxcy-Rosenau-Last public health and preventive medicine*. 14a edició. Stamford: Appleton-Lange, 1998.
- TOULOUMI, G.; KATSOUYANNI, K.; ZMIROU, D.; SCHWARTZ, J.; SPIX, C.; PONCE DE LEON, A.; TOBIAS, A.; QUENNEL, P.; RABCZENSKO, D.; BACHAROVA, L.; BISANTI, L.; VONK, J.M.; PONKA, A. «Short-term effects of ambient oxidant exposure on mortality: a combined analysis within the APHEA project». *American Journal of Epidemiology*, núm. 146 (1997), p. 177-185.
- TOULOUMI, G.; ATKINSON, R.; LE TERTRE, A.; SAMOLI, E.; SCHWARTZ, J.; SCHLINDER, C.; VONK, J.M.; ROSSI, G.; SAEZ, M.; RABSZENKO, D.; KATSOUYANNI, K. «Analysis of health outcome time series data in epidemiological studies». A: *Occupational and Environmental Medicine 2003*. (En premsa).
- TRESSERAS, R.; GISPERT, R. *Risc per a la salut. La mortalitat a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Sanitat i Seguretat Social, Direcció General de Recursos Sanitaris, Servei d'Informació i Estudis, 2002.
- VAIL, S.G.; SMITH, G. «Air temperature and relative humidity effects on behavioral activity of blacklegged tick (*Acaris Ixodidae*) nymphs in New Jersey». *Journal of Medical Entomology*, vol. 35, núm. 6 (1998) p. 1.025-1.028.
- VARGAS, M.H.; SIERRA-MONGE, J.J.; DÍAZ-MEJÍA, G.; DELEÓN-GONZÁLEZ, M. «Asthma and geographical altitude: an inverse relation in Mexico». *Journal of Asthma*, vol. 36, núm. 6 (1999), p. 511-517.
- WALCOK, C.J.; YUAN, H.H. «Calculated influence of temperature-related factors on ozone formation rates in the lower troposphere». *Journal of Applied Meteorology*, núm. 34 (1997), p. 1.056-1.069.
- WATSON, R.T.; ZIRRYOWERA, M.C.; MOSS, R.L.L. (eds). *Climate change 1995: impacts, adaptations and mitigation of climate change. Scientific technical analysis*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
- WHITMAN, S.; GOOD, G.; DONOGHUE, E.R. «Mortality in Chicago attributed to the July 1995 heat wave». *American Journal of Public Health*, núm. 87 (1997), p. 1515-1518.
- WIGLEY, T.M.L. *The science of climate change: global and U.S. perspectives*. Arlington: Pew Center on Global Climate Change, 1999.
- WILGOREN, J. «New York city mosquito control is weak and late, experts say». *The New York Times*, 8 de Setembre de 1999.
- WILSON, M.L. «Distribution and abundance of *Ixodes scapularis* (Acari Ixodidae) in North America: ecological processes and spatial analysis». *Journal of Medical Entomology*, núm. 35 [1998], p. 446-457.
- World Resource Institute, 1999. <<http://www.wri.org/wr-98-99/climate.htm>>.

C. Instruments de gestió

C1. ELS ASPECTES LEGALS DE LA LLUITA CONTRA EL CANVI CLIMÀTIC

Isabel Pont i Castejón
Mar Campins Eritja

Isabel Pont i Castejón (Barcelona, 1961) és doctora en Dret i professora titular de Dret Administratiu de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB). Ha estat vinculada professionalment al Dret Ambiental des de l'any 1985. La seva tesi doctoral va versar sobre el sistema de dret públic ambiental dels Estats Units d'Amèrica. Ha realitzat nombroses publicacions i conferències i ha organitzat cursos sobre els diversos subsectors i instruments ambientals, interessant-se habitualment pel paper de les diverses administracions públiques en la seva elaboració i aplicació.

Ha estat magistrada de reforç del contenciós administratiu durat dos anys judicials. És la representant de l'Associació Espanyola de Dret Ambiental a Catalunya i pertany, entre altres, al Comitè científic de la Revista Aranzadi Medi Ambient, al Comitè d'Ètica en Experimentació Animal Humana, al Comitè de recerca de l'Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals (ICTA) de la UAB i al Comitè Tècnic Marítim del Foro Ambiental Portuario de l'Estat espanyol. Des de 1998 exerceix com a advocat i assessora jurídicament l'Autoritat Portuària de Barcelona. És membre i secretària de la Comissió Mixta de Seguiment i Control Ambiental de les obres d'ampliació del port de Barcelona (1997-2011).

Ha dirigit, com a investigadora principal, diversos projectes europeus de recerca sobre avaluació d'impacte ambiental i sobre aspectes jurídics relacionats amb la teledetecció. Pertany a grups d'investigació sobre gestió integrada de zones costaneres i canvi climàtic. Recentment ha assessorat l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA), la Direcció General de Patrimoni Natural i Medi Físic del Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya, així com altres organismes i institucions, sobre futures iniciatives legislatives i sobre problemàtiques procedimentals, aspectes relatius a la distribució de competències, contaminació acústica, avaluació d'impacte ambiental de projectes i avaluació ambiental de plans i programes.

Mar Campins Eritja (Barcelona, 1963) és doctora en Dret per la Universitat de Barcelona i professora titular de Dret Internacional Públic (Dret Comunitari Europeu) de la Facultat de Dret de la Universitat de Barcelona. Ha centrat la seva activitat investigadora en l'anàlisi de diversos aspectes del dret ambiental internacional i del dret ambiental comunitari. Més concretament, ha treballat sobre el règim internacional i comunitari en matèria de trasllat de residus i de canvi climàtic. Ha publicat 3 monografies i diversos articles i ha coordinat diversos seminaris sobre aquests temes. Entre els projectes de recerca en què ha participat destaquen *Enhancing Policy-Making Capacity under the Framework Convention on Climate Change* i *Sustainability labelling and certification: towards an integrated legal, economic, ecologic and social approach*, finançats per la Comissió Europea, així com *La incorporació de la noció de desenvolupament*

sostenible en el sistema de las Naciones Unidas y en el Derecho Internacional, finançat pel Ministeri d'Educació, Cultura i Esports del Govern espanyol. És membre d'un Grup d'Investigació Consolidat de la Universitat de Barcelona i de la Generalitat de Catalunya.

Síntesi	683
C1.1. Introducció	687
C1.2. El règim jurídic internacional d'intervenció sobre el canvi climàtic	688
C1.2.1. Breu <i>excursus</i> històric	
C1.2.2. El Conveni Marc sobre el Canvi Climàtic (CMCC) i el Protocol de Kyoto (PK). Aspectes generals	
C1.2.3. Les obligacions subscrietes per les Parts en el Conveni Marc sobre el Canvi Climàtic i en el Protocol de Kyoto	
C1.2.3.1. L'atribució d'obligacions i el criteri de la diferenciació	
C1.2.3.2. Els mecanismes de flexibilització del compliment de les obligacions.	
C1.2.3.2.1. El mecanisme d'aplicació conjunta (AC)	
C1.2.3.2.2. El Mecanisme de Desenvolupament Net (MDN)	
C1.2.3.2.3. Els permisos negociables	
C1.2.4. El control del compliment de les obligacions subscrietes en el Conveni Marc sobre el Canvi Climàtic i en el Protocol de Kyoto	
C1.2.4.1. Els mecanismes de supervisió i vigilància	
C1.2.4.2. El Procediment Consultiu Multilateral	
C1.2.4.3. El Procediment de Conformitat	

C1.2.5. Els procediments de resolució pacífica de controvèrsies	
C1.3. La participació de la Comunitat Europea en el règim del canvi climàtic	700
C1.3.1. L'atribució d'obligacions en matèria de limitació i de reducció d'emissions. Referència específica a la «bombolla europea»	
C1.3.2. Delimitació i abast de les competències comunitàries en matèria de canvi climàtic	
C1.3.2.1. La determinació de la competència de la Comunitat Europea	
C1.3.2.2. L'exercici de la competència per part de la Comunitat Europea	
C1.3.2.3. El procediment per l'adopció de les decisions comunitàries	
C1.3.2.4. L'adopció d'instruments comunitaris relatius al canvi climàtic	
C1.3.3. La participació de la CE en els procediments de control del compliment i agençament de diferències previstos al CMCC i al PK	
C1.4. El paper de l'Estat davant el Conveni Marc del canvi Climàtic i el Protocol de Kyoto	713
C1.4.1. Els àmbits i activitats afectades pels compromisos i les competències a l'abast de l'Estat	
C1.4.1.1. Els àmbits i activitats afectades i les competències estatals	
C1.4.1.2. Multiplicitat de funcions públiques implicades i diversitat d'Administracions actuants. El repte d'assolir els compromisos adquirits mitjançant mecanismes efectius de col·laboració i cooperació interadministrativa i mitjançant una adequada organització administrativa	
C1.4.2. Les actuacions realitzades fins el 2003	
C1.4.2.1. Organització administrativa	
C1.4.2.2. Exercici de competències sobre el canvi climàtic (les funcions normatives i les funcions executives)	

C1.4.2.3. Un apunt general relatiu a l'exercici de competències estatals a finals de l'any 2003	
C1.4.3. Els canvis des de 2004	
C1.4.3.1. Novetats en l'àmbit organitzatiu	
C1.4.3.2. Novetats en l'exercici de funcions estatals legislatives i executives, i previsible incidència sobre l'exercici de competències autonòmiques	
C1.5. Catalunya davant el Conveni Marc del Canvi Climàtic i el Protocol de Kyoto	729
C1.5.1. Els compromisos adquirits (remissió)	
C1.5.2. Les competències de la Generalitat de Catalunya	
C1.5.3. Les actuacions realitzades el 2003	
C1.5.3.1. Organització administrativa	
C1.5.3.2. Exercici de competències sobre canvi climàtic: funcions normatives i funcions executives	
C1.5.4. Els canvis des de 2004	
C1.6. Conclusions desenvolupades i propostes d'actuació	735
C1.6.1. Els reptes estatals pendents. Alguns interrogants i propostes de millora.	
C1.6.1.1. Organització administrativa i repartiment competencial	
C1.6.1.2. Compromisos contrets i actuacions pendents	
C1.6.2. El reptes per a Catalunya	
C1.6.2.1. Catalunya i la política estatal sobre canvi climàtic	
C1.6.2.2. Catalunya i el canvi climàtic. Nous reptes i possibilitats	
Referències bibliogràfiques	747

Síntesi

L'articulació d'un règim internacional mitjançant l'adopció del Conveni Marc sobre el Canvi Climàtic (1992) i del Protocol de Kyoto (1997), constitueix el pas més important que ha donat la comunitat internacional per lluitar contra el fenomen del canvi climàtic. Tot i les dificultats per a l'entrada en vigor del Protocol de Kyoto (finalment aquesta s'ha produït el 16 de febrer de 2005), aquests dos instruments, ratificats per un important nombre de països, expliciten els compromisos dels Estats pel que fa a la prevenció i la reducció de les emissions dels gasos amb efecte d'hivernacle i la cooperació científica, tècnica i tecnològica, i al mateix temps estableixen el marc institucional per a l'execució de les seves disposicions i determinen els diferents mecanismes de control de l'aplicació.

Per a la delimitació d'aquests compromisos, tant el Conveni com el Protocol fan una distinció entre països desenvolupats i amb economies en transició, i els països en vies de desenvolupament, sobre la base del principi de les responsabilitats comunes però diferenciades. A més, per facilitar l'assoliment d'aquests objectius, ambdós textos contempnen, com a contrapartida als països desenvolupats que han assumit l'obligació de reduir les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, tres instruments que flexibilitzen la naturalesa de les fites establertes: dos mecanismes considerats «de projecte», com són l'Aplicació conjunta i el Mecanisme de Desenvolupament Net, i l'articulació d'un sistema de permisos negociables (comerç d'emissions).

La Comunitat Europea i els seus Estats membres han ratificat el Conveni i el Protocol. Es comprometen al compliment dels seus compromisos de reducció i limitació de les emissions dels gasos amb efecte d'hivernacle per mitjà de l'establiment d'objectius quantificats conjunts que posteriorment es distribueixen internament entre

els Estats membres, segons la capacitat econòmica i el grau de desenvolupament, el que s'ha vingut a conèixer com la «bombolla europea».

Per dur a terme aquest objectiu, la Comunitat Europea ha de fonamentar les seves actuacions d'acord amb el marc competencial que li atribueix el Tractat CE, el que ha portat a la utilització, gairebé sempre, de l'article 175 del TCE, la base jurídica emprada per a les accions de protecció ambiental i que determina també el procediment d'adopció de les decisions en el si del Consell. L'adopció de mesures en matèria de canvi climàtic és, d'altra banda, una competència que la Comunitat exerceix conjuntament amb els Estats membres, subjecta a l'exigència de dos requisits previs, com són el principi de la proporcionalitat amb relació a la intensitat de l'acció comunitària i el principi de la subsidiarietat. D'acord amb aquests criteris, la Comunitat Europea ha adoptat diverses mesures, tant de caràcter programàtic com normatiu, amb l'objectiu de complir els compromisos adquirits en virtut del Conveni Marc de 1992 i del Protocol de Kyoto de 1997. Dins del primer grup s'ha de destacar, entre d'altres, l'Estratègia de la Unió Europea per al Desenvolupament Sostenible (2001), el Sisè Programa d'Acció Ambiental (2001), i sobre tot, el Programa Europeu sobre el Canvi Climàtic (2000). Entre les mesures de caràcter normatiu han tingut una rellevància especial l'establiment de l'Inventari Europeu d'Emissions Contaminants (2000) en virtut de la directiva 96/61/CE, de 24 de juny 1996, i l'adopció de la directiva per la qual s'estableix un règim per al comerç de drets d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle a la Comunitat (2003), la directiva per la qual s'estableix un sistema d'intercanvi de quotes d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle dins de la CE (2004), i la decisió relativa al mecanisme de seguiment de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a la

Comunitat (2004). Cal esmentar també la proposta de directiva, en curs d'aprovació, relativa a la reducció de gasos fluorinats.

L'Estat espanyol, a més de pertànyer a la Unió Europea, és un Estat Part en el Conveni Marc sobre Canvi Climàtic i en el Protocol de Kyoto. Ha contret nombrosos compromisos en matèria de canvi climàtic, però atès que internament existeix una especial distribució de parcel·les de poder públic entre diversos nivells territorials, caldrà en tot moment determinar de quines competències disposa i quines estan reservades avui a les Comunitats autònomes. Gaudeix constitucionalment de competència exclusiva sobre les relacions internacionals, però cal fer atenció en tot moment a la distribució interna competencial de caràcter sectorial. En aquest sentit, ha de tenir-se en compte que gaudeix de competències importants en planificació general de l'activitat econòmica, medi ambient, aprofitaments hidràulics, transports, aprofitaments forestals i vies ramaderes; règim miner i energètic etc., però en ocasions s'ha reservat únicament la competència exclusiva per emetre la legislació bàsica d'un sector concret, per dictar-ne les bases, o bé per procedir a l'emissió de singulars autoritzacions... D'altres aspectes (funcions o matèries), no reservats expressament a l'Estat, poden (i, de fet, sovint és així) restar sota l'exclusiva competència de les Comunitats autònomes i oferir, per tant, un paraigua prou generós que empari i cobreixi l'adopció de polítiques ambientals pròpies sobre el canvi climàtic. El repete, doncs, no consisteix únicament –en aquesta matèria– en assolir els compromisos adquirits internacionalment, sinó en aconseguir-los respectant les competències de les diverses Administracions autonòmiques i locals, mitjançant l'adopció de mecanismes efectius de col·laboració i cooperació interadministrativa i mitjançant una adequada organització administrativa. La complexitat de la matèria, la seva transversalitat i multiplicitat de competències i administracions implicades, no haurien de derivar en decisions centralitzadores, sinó que necessàriament

hauria de comportar un exercici pràctic i complex del principi de subsidiarietat aplicable a la matèria ambiental i a les relacions interadministratives.

En l'exercici de les competències estatals en la lluita contra el canvi climàtic han estat creats, fins l'any 2004, dos òrgans: el Consell Nacional del Clima, i l'Oficina Espanyola de Canvi Climàtic, el primer d'ells amb representació autonòmica. Han estat aprovades algunes normes i programes sectorials, però sense que es disposi a hores d'ara d'una Estratègia o Pla estatal, o d'una política pròpia per assolir els compromisos pendents, en moments en què, degut al creixement alarmant de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, pot estar seriosament compromès el seu assoliment. En aplicació del Conveni Marc sobre el Canvi Climàtic, el Protocol de Kyoto i la normativa comunitària, restaven i resten encara actuacions concretes per realitzar i decisions transcendents per prendre en un termini urgent. Havíem arribat al 2004 sense que encara s'hagués acordat formalment quin paper exacte pertany a les Comunitats autònomes en aquesta problemàtica, i quines són les relacions de col·laboració interadministrativa que necessàriament calia establir. L'any 2004 comença pròpiament la política estatal sobre canvi climàtic. Comencen a aprovar-se normes (el Pla Nacional d'Assignació de drets d'Emissió, la legislació reguladora del règim aplicable al comerç d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle) i observem que comencen a determinar-se quins seran els respectius rols.

Les competències de què disposa la Generalitat són suficients per emparar una política pròpia en matèria de canvi climàtic, respectant determinats límits (que es deriven del dret internacional, comunitari europeu i també estatal). Es gaudeix de competències legislatives i executives en multiplicitat de sectors: agricultura, medi ambient, investigació, monts i serveis forestals, règim miner i energètic... Una opció a prendre podria ser, des de l'àmbit autonòmic, la d'espe-

rar sempre precisió i més clarificació en els posicionaments estatals. I aquesta opció s'ha pres tot sovint. Però això, que és irremeiable pel que fa a algun aspecte, no ajuda en res que puguin complir-se els compromisos adquirits, i tampoc aporta cap solució. Començar a afrontar decididament aquest repte des de l'òptica autonòmica facilitarà l'assoliment de compromisos, possibilitarà l'articulació d'una política pròpia tot adequant les diverses decisions que calgui prendre a les característiques internes autonòmiques dels diversos sectors implicats. Les incerteses, no només polítiques sinó també científiques, del fenomen del canvi climàtic, no han d'alentir l'adopció d'una estratègia catalana, basada en el principi de precaució. És per aquest motiu que el present capítol, a més de destacar quins esforços han estat fets des del punt de vista organitzatiu, i de recordar com han exercides des de Catalunya les funcions normatives i executives en la

lluita contra el canvi climàtic, finalitza fent referència a vies futures d'actuació. En primer lloc, es desitja incentivar i garantir la participació de la Generalitat en les diverses decisions que pren i ha de prendre l'Estat i que afecten l'exercici de les seves competències sectorials que incideixen sobre el canvi climàtic. En segon, es vol oferir un ventall d'actuacions potencials, pròpies, que de forma exemplificativa i sense ànim d'exhaustivitat, poden ser endegades des de Catalunya. Aquestes i moltes d'altres iniciatives demostren que la intervenció sobre el canvi climàtic des de l'òptica catalana ofereix en l'actualitat nombrosos reptes i oportunitats. En qualsevol cas, l'elevat nivell d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle que registra aquest país entenem que ha d'empènyer els poders públics a reflexionar i a intentar reduir-lo, així com a avançar realment cap a la sostenibilitat del model econòmic i productiu català.

C1.1. Introducció

Havent estat analitzats prèviament els aspectes científics del fenomen del canvi climàtic (apartat A), i també els impactes, vulnerabilitat, mitigació i adaptació a aquest canvi amb relació als diversos subsectors que a la pràctica incideixen o resulten afectats per aquell (apartat B), a continuació és necessari que ens aturem uns instants per tal de plantejar la qüestió de quins són els instruments de gestió emprats i, en primer lloc, de forma singular, la tipologia d'instruments de caire estrictament jurídic que han estat adoptats fins ara. Es tracta, de forma sintètica, de respondre a la pregunta de quins són els compromisos concrets a què estem sotmesos des de Catalunya, i per tant, de determinar quines són les obligacions que ens resulten o ens poden resultar exigibles en un futur –amb independència de com puguí considerar-se individualment que cal atendre i respondre adequadament a aquesta problemàtica. Aquestes obligacions hauran de ser, per tant, un referent constant, ja que constitueixen el marc en el qual caldrà encaixar tota actuació pública sobre el Canvi Climàtic. Junta-ment amb l'exposició del contingut obligacional, i per tant de caire inexcusable, i de l'esment a quins són els seus terminis, seran assenyalades també, a *modus* orientatiu, les portes que entenem que resten avui obertes –i els seus límits– si desitgem dur a terme actuacions singulars en aquesta matèria des de la nostra Comunitat Autònoma.

Amb aquests objectius, l'apartat que es presenta a continuació es desglossa en quatre àmbits: internacional, comunitari europeu, estatal i català. El primer se centra en l'estudi del règim jurídic internacional d'intervenció sobre el canvi climàtic. S'hi analitzen fonamentalment el Conveni Marc sobre el Canvi Climàtic (en endavant, CMCC) i el Protocol de Kyoto (en endavant PK), i s'hi apunten les obligacions concretes que se'n deriven per als que en són signataris, els diversos mecanismes de compliment previstos i també les formes de control que han estat establertes en aquests dos importants instruments internacionals. En aquest apartat avançarem ja quin tipus d'actuacions han estat realitzades per part de l'Estat espanyol, en tant que Estat part del CMCC i també del PK. A continuació s'examina, de forma singular, la qüestió de la participació de la Comunitat Europea en el règim del canvi climàtic, per tal de conèixer, entre d'altres aspectes, com es du a terme l'atribució d'obligacions en matèria de limitació i reducció d'emissions entre els Estats membres, quines són les competències comunitàries sobre aquesta matèria i com han estat exercides fins a l'actualitat. L'objectiu és esbrinar el paper que ha jugat la Comunitat Europea en aquests darrers anys, quines eines utilitza i prioritza, però també establir com caldrà actuar dins dels diversos estats per tal que les seves polítiques sobre el canvi climàtic siguin totalment coherents amb el disseny i les opcions prèviament adoptades per la Comunitat Europea. Posteriorment, en tercer lloc,

s'examina l'àmbit estatal espanyol, en tant que signatari del CMCC i del PK, i en tant que Estat membre de la UE. Caldrà tenir presents les competències de què disposa l'Estat i que li permetten actuar sobre aquest àmbit i els seus límits, i explicitar així mateix què ha estat fet fins a l'actualitat (tant pel que fa a aspectes organitzatius, en les relacions interadministratives; i les iniciatives de caire estrictament normatiu), per tal de poder conèixer què li resta per fer. A partir d'aquí, el darrer apartat es destina exclusivament a Catalunya. Es pretén conèixer quines són les competències de què disposa per actuar sobre aquesta matèria i, per tant, les que justifiquen l'adopció de polítiques i actuacions públiques pròpies i singulars amb incidència sobre el canvi climàtic des d'aquest àmbit territorial. També es recorda i s'explica què ha estat fet al respecte fins a l'actualitat i el camí que s'està seguint.

A partir d'aquí l'estudi pren un caire més valoratiu, en l'apartat destinat a les conclusions desenvolupades i a les propostes d'actuació. Si els punts anteriors han servit per advertir i comprendre els compromisos oficialment adquirits, les competències de què es disposa en cadascun dels nivells (estatal/català) i la forma i intensitat en què han estat exercides fins a l'actualitat, l'apartat final mira cara al futur. S'hi tracten els reptes que encara cal assolir i, dins el marc ja exposat, són senyalades les possibilitats que entenem que encara queden obertes, per explorar, i quin considerem que pot arribar a ser el seu potencial. Aquest darrer punt també es desglossa. Primer es plantegen els reptes estatals pendents, i posteriorment els específicament relacionats amb Catalunya.

Per últim, un petit toc d'atenció al lector. Cal tenir present que aquest apartat de l'estudi fa referència a normativa actualment subjecta a importants novetats i modificacions –i aquesta sembla que serà la tònica que ens ha d'acompanyar els propers anys. Essent, doncs, un sector normatiu especialment dinàmic, en la lectura de les pàgines següents caldrà tenir ben present la data de

tancament d'aquest estudi, per les eventuais variacions posteriors que hagin pogut produir-se, i les seves conseqüències pel que fa al règim jurídic regulador d'aquesta matèria.

C1.2. El règim jurídic internacional d'intervenció sobre el canvi climàtic

C1.2.1. Breu excursus històric

El Conveni Marc sobre el Canvi Climàtic té el seu origen en diverses reunions d'experts i de la Conferència Intergovernamental sobre el Canvi Climàtic celebrades els anys setanta i vuitanta amb l'objectiu d'uniformitzar criteris i intercanviar resultats de les investigacions en matèria de canvi climàtic. És en aquest context que l'Assemblea General de les Nacions Unides va adoptar el 1989 la *Resolució 44/207*, que demanava la preparació d'un conveni general sobre el canvi climàtic. Un any després, amb la *Resolució 45/212*, va donar llum verda a la realització d'aquest objectiu amb la creació del Comitè Intergovernamental de Negociació (CIN), que tenia el mandat de dur a terme els treballs necessaris per a l'elaboració d'aquest instrument internacional.

La redacció definitiva del Conveni Marc sobre el Canvi Climàtic (des d'ara CMCC) és el resultat de les cinc reunions que entre febrer de 1991 i maig de 1992 va celebrar el CIN. La seva signatura va tenir lloc el 9 de maig de 1992 en el marc de la Conferència de les Nacions Unides pel Medi Ambient i el Desenvolupament. El Conveni va entrar en vigor el 21 de març de 1994, i actualment en són part un total de 188 Estats, a més de la Comunitat Europea¹.

L'Estat espanyol va signar el CMCC l'any 1992, a Rio de Janeiro, el dia 13 de juny, i va ratificar-lo el 21 de desembre de 1993². D'acord amb la Constitució Espanyola, aquests tractats formen

1. <http://unfccc.int/resource/conv/ratlist.pdf>. No han ratificat encara el Conveni Andorra, Brunei, el Vaticà, Iraq i Somàlia.

2. L'instrument de ratificació s'ha publicat al BOE núm. 27, d'1 de febrer de 1994.

part de l'ordenament intern una vegada publicats oficialment a Espanya³.

En aquest primer moment, i en la mesura en què es tractava d'un conveni marc, els Estats contractants es van limitar a l'establiment d'obligacions generals i a l'articulació de l'esquelet legal i institucional que hauria de permetre la realització d'accions futures. Ha estat posteriorment que s'ha procedit a l'adopció de compromisos substantius específics relatius a les mesures de control i reducció de la contaminació, i a l'elaboració de mecanismes de compliment i aplicació més detallats.

Aquesta segona fase s'inicia el 1995 amb la celebració de la Primera Conferència de les Parts a Berlín⁴, el principal resultat de la qual va ser l'acord sobre l'inici de l'adopció de mesures de reducció de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a partir de l'any 2000. Amb aquest objectiu es va instituir el Grup Especial per al Mandat de Berlín (AGBM)⁵, encarregat de preparar un instrument jurídic en què es desenvolupessin de forma detallada els compromisos de les Parts en el CMCC. La negociació i la preparació d'aquest instrument va constituir l'objectiu prioritari de la Segona Conferència de les Parts el 1996⁶. Finalment, la Tercera Conferència de les Parts es va reunir a Kyoto el desembre de 1997⁷, moment en què es va procedir a la signatura de l'anomenat Protocol de Kyoto pels Estats part en el CMCC. El Protocol ha entrat en vigor el passat 16 de febrer de 2005, després de la ratificació de la Federació Russa el 18 de novembre de 2004. Compta actualment amb la ratificació de 143 Estats, a més de la Comunitat Europea⁸.

3. CE, art. 96.1: «Els tractats internacionals celebrats vàlidament formaran part de l'ordenament intern una vegada hagin estat publicats oficialment a Espanya».

4. Doc. FCCC/CP/1995/7/Add.1

5. Decisió 1/CP.1, Doc. FCCC/CP/1995/7/Add.1

6. Doc. FCCC/CP/1996/15/Add.1

7. Doc. FCCC/CP/1997/7/Add.1

8. <http://unfccc.int/resource/kpstats.pdf>. No han ratificat encara el Protocol les següents Parts al Conveni Marc: Austràlia, Croàcia, Kazakhstan, Mònaco i els Estats Units d'Amèrica.

L'Estat espanyol és Part al Protocol de Kyoto. L'1 de febrer de 2002, el Consell de Ministres va trametre a les Corts aquest instrument internacional per a la seva tramitació pel procediment d'urgència. Així se'n va possibilitar la ratificació, que es va produir el 31 de maig de 2002

C1.2.2. El Conveni Marc sobre el Canvi Climàtic i el Protocol de Kyoto. Aspectes generals

L'estructura del CMCC no és gaire complexa. La primera part recull les disposicions introductòries, el seu objectiu principal, que es concreta en «l'estabilització de les concentracions de gasos amb efecte d'hivernacle a l'atmosfera a un nivell que impedeixi interferències antropogèniques perilloses en el sistema climàtic» i els principis que guien l'actuació dels Estats en l'assoliment d'aquest objectiu.

La segona part explicita els compromisos dels Estats Part pel que fa a la prevenció i la reducció dels gasos amb efecte d'hivernacle, a la cooperació científica, tècnica i tecnològica, la informació pública, i la transferència de recursos. Per a la delimitació d'aquests compromisos, el CMCC fa una distinció entre els països desenvolupats o amb economies en transició (països llistats a l'annex I) i els països en vies de desenvolupament (països que no apareixen llistats a l'annex I), sobre la base del principi de les responsabilitats comunes però diferenciades que explícitament es reconeix en el text.

La tercera part del CMCC estableix el marc institucional per a l'execució de les seves disposicions, i defineix cinc òrgans diferents:

- La Conferència de les Parts (en endavant, COP), òrgan que s'encarrega de la promoció i la supervisió de l'aplicació del Conveni a través de les seves decisions.
- La Secretaria, amb una funció auxiliar.
- L'Òrgan Subsidiari d'Assessorament Científic i Tecnològic (OSACT), amb la funció d'assessor

rar la COP i els altres òrgans en matèries científiques i tecnològiques.

- L'Òrgan Subsidiari d'Execució (OSE), que dóna suport a la COP en la tasca de supervisar el compliment del Conveni.
- El Mecanisme de Finançament, encarregat de distribuir els recursos financers.

A la part quarta es mencionen els diferents mecanismes de control previstos al CMCC per garantir-ne l'aplicació, que essencialment consisteixen en la transmissió de les comunicacions nacionals dels Estats i la seva revisió pels òrgans del Conveni, la institució d'un nou Mecanisme Consultiu Multilateral, i la solució pacífica de les controvèrsies que puguin aparèixer. En darrer lloc, les clàusules finals del CMCC tracten aspectes com l'elaboració d'annexes i protocols, el procediment d'esmena, la ratificació i l'entrada en vigor.

L'estructura del Protocol de Kyoto de 1997 segueix bàsicament la mateixa línia del CMCC. En primer lloc introdueix les nocions que es fan servir en el text. Tot seguit, entra en el que constitueix el nucli dur del Protocol, la determinació de les obligacions que regeixen per a totes les Parts al Protocol i els compromisos que afecten les Parts de l'annex I i l'annex II del CMCC. El PK reafirma el principi de les responsabilitats comunes però diferenciades, i això es tradueix a nivell internacional en la imposició d'una obligació de reducció de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle per als països desenvolupats o amb economies en transició (l'listats a l'annex I del CMCC) i en l'absència d'aquest tipus de compromisos per als països en desenvolupament. El PK també introdueix determinats mecanismes per facilitar el compliment d'aquesta obligació: l'aplicació conjunta (AC), la comercialització de drets d'emissió, i l'establiment del denominat Mecanisme per al Desenvolupament Net (MDN).

Des del punt de vista institucional, el PK manté essencialment el sistema orgànic establert en el CMCC, amb algun matis. Així, la COP del CMCC serveix també com a Reunió de les Parts (MOP) del PK, el que implica una distinció jurídica, si bé no funcional, entre els dos òrgans. També s'estableix l'àmbit d'actuació de la Secretaria i dels òrgans subsidiaris del CMCC en el context del Protocol.

D'altra banda, pel que fa als mecanismes de control de l'aplicació de les disposicions del PK, s'institueix un sistema de comunicacions nacionals. Juntament amb els procediments de resolució pacífica de les controvèrsies i la possibilitat d'aplicar en el marc del PK el Mecanisme Consultiu Multilateral, s'ha introduït un nou Procediment de Conformitat en el qual es diferencien dues vies: la de la «facilitació» i la de «compliment» (*enforcement*).

Per últim, les disposicions finals fan referència a diversos aspectes, com són, entre d'altres, l'esmena i la revisió del PK, l'elaboració d'annexos o la ratificació. És important senyalar aquí que per a l'entrada en vigor del PK, que s'ha produït el passat 16 de febrer de 2005, s'establia un doble criteri: d'una banda, s'exigia la ratificació de 55 Estats part en el CMCC; de l'altra, es requeria la ratificació de un nombre d'Estats de l'annex I que comptabilitzin conjuntament com a mínim el 55% de les emissions de CO₂ l'any 1990, considerat com a any base. El primer d'aquests criteris s'ha complert amb escreix, amb la ratificació de 143 Estats i de la Comunitat Europea. La segona exigència també s'ha pogut assolir. Amb la ratificació de Japó, el juny de 2002, i de Canadà i Polònia el desembre de 2002, les ratificacions dels països desenvolupats suposaven un 44'3% de les emissions de CO₂ l'any 1990. La ratificació de la Federació Russa el passat 18 de novembre de 2004, amb un 17'4%, era essencial per assolir el llindar del 55%, atesa la negativa dels Estats Units i d'Àustràlia a ratificar el Protocol. Finalment, les ratificacions que han permès l'entrada en vigor del Protocol suposen el 61'6% de les emissions de CO₂ l'any base, el 1990.

C1.2.3. Les obligacions subscrietes per les Parts en el Conveni Marc sobre el Canvi Climàtic i en el Protocol de Kyoto

C1.2.3.1. L'atribució d'obligacions i el criteri de la diferenciació

En molts tractats internacionals en matèria de protecció del medi ambient, és difícil determinar l'existència d'una relació sintagmàtica entre els drets i les obligacions que aquests instruments estableixen per als Estats. Ans al contrari, amb freqüència es pot constatar una relació d'independència i l'absència d'una reciprocitat clara entre ells. Això es deu en part a la naturalesa d'aquestes obligacions, caracteritzades com erga omnes per les parts contractants pel dret internacional, amb les quals es persegueix la protecció d'un interès comú de les Parts (per exemple, per mitjà de l'estabilització de les concentracions de gasos amb efecte d'hivernacle a l'atmosfera). En aquest sentit, en la mesura en què el canvi climàtic constitueix un fenomen que afecta un interès de tots els Estats, Parts o no en el CMCC, les obligacions que estableix el text internacional s'han de considerar obligacions dirigides a la satisfacció dels interessos comuns de la comunitat internacional en el seu conjunt.

Un altre element que caracteritza els drets i les obligacions al CMCC és el seu caràcter asimètric. L'article 3.1 del CMCC reconeix expressament l'existència d'una responsabilitat comuna però diferenciada dels Estats part, traducció del principi de desigualtat compensadora pel qual es reconeix un tractament preferencial als països en vies de desenvolupament. En el context del CMCC això es reflecteix en l'establiment de diverses categories d'Estats a l'hora de fixar les seves obligacions internacionals, i en la introducció d'una diferenciació bàsica entre els països desenvolupats (i els països amb economies en transició), llistats a l'annex I, i els països en desenvolupament. D'aquesta manera, el CMCC enuncia una sèrie d'obligacions generals el compliment de les quals és a càrrec de totes les Parts, i limita als països llistats a l'annex I del compli-

ment dels compromisos relatius a la reducció i la limitació de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle respecte els nivells de 1990, les fonts i els receptors. El PK reproduïx aquest criteri de la diferenciació, no només entre països desenvolupats i en desenvolupament, sinó també entre els mateixos països de l'annex I. Un exemple concret el constitueix la fixació de les quotes de reducció d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle en funció dels percentatges establerts en l'annex B del Protocol, fet que suposa reconèixer diferències en els recursos i les capacitats entre els països desenvolupats.

Com a Part del Conveni Marc i del Protocol, l'Estat espanyol es va comprometre al compliment de determinades obligacions. A partir de la diferenciació entre els grups d'Estats part, les diverses **obligacions que imposa el CMCC son les següents:**

- a) **Tots els Estats part i la Comunitat Europea assumeixen les següents obligacions generals:**
- iii) Elaborar, formular, publicar, aplicar i actualitzar periòdicament inventaris nacionals de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i programes nacionals i regionals per reduir-ne els efectes (art. 4.1.a, b, j i art. 12.1 i 12.5). Pel que fa a l'Estat espanyol, actualment, malgrat no disposar literalment d'un programa omnicomprensiu a nivell estatal per reduir els efectes del canvi climàtic, una figura propera a aquest, atesa l'amplitud amb què va ser dissenyada, es podria considerar que és el Pla Nacional d'Assignació de Drets d'Emissió⁹. En el mateix sentit, resten encara pendents l'elaboració i seguiment dels programes d'àmbit regional (en el nostre cas, autonòmic). Pel que fa als inventaris nacionals de gasos amb efecte d'hivernacle, apuntem que d'acord amb informació de l'Estat espan-

9. Aprovat mitjançant Reial Decret 1866/2004, de 6 de setembre, mitjançant el qual s'aprova el Pla Nacional d'Assignació de Drets d'Emissió 2005-2007 (BOE 7 de setembre de 2004).

yol, aquest es realitza utilitzant l'inventari base CORINE-AIRE, i pren com a període base de referència, pel que fa Espanya, l'any 1990 amb relació al CO₂, CH₄, N₂O, i l'any 1995 per als gasos fluorats. L'interval d'anys considerats comprèn de 1990 a 1999¹⁰.

- ii) Promoure i donar suport al desenvolupament i la difusió de tecnologies per controlar, reduir i prevenir les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, incentivar la gestió sostenible (art. 4.1.d), i fomentar la investigació i el desenvolupament tecnològic, l'intercanvi d'informació i l'educació en matèria de canvi climàtic (art. 4.1.c, g, h, i).

Pel que fa a l'Estat espanyol, i en l'aspecte relatiu al desenvolupament tecnològic (inclouent-hi la seva promoció i difusió), sembla que aquest no rep a la Tercera Comunicació Nacional espanyola un tractament singularitzat, possiblement per què es considera que la transferència de tecnologia forma part indissoluble dels recursos i contribucions financeres realitzades al Fons pel Medi Ambient Mundial o d'altres Institucions, o bé dels crèdits FAD que puguin haver ja estat atorgats¹¹.

Amb relació a la investigació, l'Estat espanyol ressalta la tasca duta a terme des de l'Ins-

titut Nacional de Meteorologia i les realitzades o previstes realitzar dins les prioritza-cions establertes al Pla Nacional d'Investigació Científica, Desenvolupament i innovació Tecnològica (2000-2003), així com els 31 Projectes participats des d'Espanya i que són objecte de finançament per part de la Unió Europea. Pel que fa a l'observació sistemàtica del clima, a més de la participació en programes d'observació mitjançant sensors a satèl·lits, es subratllen les actuacions dutes a terme des de l'Institut Nacional de Meteorologia, Institut Espanyol d'Oceanografia, l'Ens Públic Ports de l'Estat, i la col·laboració oferta des de les Institucions acadèmiques i ambientals¹².

Finalment, amb relació a la informació i l'educació, la Comunicació Nacional fa esment a les mesures adoptades en l'apartat *Educación, formación y sensibilización del público*¹³. S'hi fa referència a les campanyes d'educació i sensibilització iniciades, i, fonamentalment, les previsions de tractament de temes ambientals que es localitzen als diversos nivells educatius la LOGSE¹⁴. S'ofereixen al·lusions diverses a oferta formativa universitària en mestratges i postgraus, i així mateix a programes oficials de capacitació per a la formació de professionals.

- iii) Cooperar en els preparatius per a l'adaptació als impactes del canvi climàtic (art. 4.1.e i f) en el context de les polítiques socials, econòmiques, ambientals, etc. d'àmbit nacional. Cal dir que la resposta de l'Estat espanyol es troba resumida a la mateixa Comunicació Nacional en el punt *Evaluación de la vulnerabilidad, efectos del cambio climático y medidas de adaptación*¹⁵, on es fa referència exclusiva-

10. D'acord amb la Tercera Comunicació Nacional presentada per Espanya, quan sumaritza aquest punt, veiem com les emissions totals de l'Estat se situen en 1999 en un 13,2% pel damunt de l'any base. Es realitza un examen per tipus de gas, essent destacable la gran diferència en pes absolut de les emissions CO₂ (75%) en relació al conjunt dels altres gasos. També és analitzada l'evolució temporal de les emissions, s'examinen els diversos sectors d'activitat (observant-se un pes dominant per sobre del 70% pel que fa al grup de l'energia). En relació a l'evolució temporal per sectors, també es remarcable com el grup de l'energia i processos industrials l'any 1999 ja es troba al voltant del 25% per cent per sobre de l'any base; i que el grup del tractament de residus el mateix any supera el 58% respecte de l'any de contínua referència. *Tercera Comunicación Nacional de España. Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. p. 3-5; i 51-61 (vid. la comunicació a http://unfccc.int/national_reports/anex_i_natcom/submitted_natcom/items/1395.php)

11. Tercera Comunicació Nacional. p. 11-12; i 133-141

12. Tercera Comunicació Nacional. p. 12-13; i 143-156

13. Tercera Comunicació Nacional, p. 9-11 i 157-168.

14. Llei Orgànica d'Ordenació General del Sistema Educatiu (Llei 1/1990, de 4 d'octubre).

15. Tercera Comunicació Nacional, p. 14-15 i 114-133

ment als recursos hídrics, litoral i boscos i agricultura, i s'hi inclou una llista de mesures que es considera que possibilitarien una adaptació als impactes negatius que es pateixen.

b) Els països de l'annex I (països desenvolupats i països amb economies en transició) i la Comunitat Europea es comprometen al compliment de determinats compromisos:

- i) Adoptar polítiques i mesures nacionals per mitigar el canvi climàtic, limitant les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i preservant els receptors i els dipòsits naturals, per tal d'assolir, individualment o conjuntament l'any 2000, el retorn als nivells de 1990 (art. 4.2.a i b). Tot i la seva ambigüïtat expressament volguda, amb aquesta disposició el CMCC dóna el primer pas per l'establiment futur d'objectius quantificats de limitació i reducció de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, que es concreten (per la període 2008-2012) al PK.

Però, en qualsevol cas, l'Estat espanyol, en tant que Part en el CMCC, ha de determinar i presentar oficialment quelcom que no ha de ser pur tràmit. Es tracta de determinar i lliurar, de forma periòdica, quines són les polítiques i mesures estatals que han estat adoptades i les que es preveu adoptar. Aquesta finalitat és la que anima una part del document presentat per l'Estat espanyol, la *Tercera Comunicació Nacional*, en la qual es tracten, sector per sector, les «polítiques i mesures» de forma individualitzada¹⁶ pel que fa a energia transports, els sectors comercial, institucional i residencial, indústria, residus, agricultura i política forestal. En el mateix document s'estableixen unes «Projeccions i Efecte global d'aquestes Polítiques i Mesures», com exigeix el CMCC. S'han dut a terme simulacions per tal d'analitzar quin se suposa serà «l'escenari tendencial» si aques-

tes polítiques i mesures són aplicades, i quin serà «l'escenari d'estalvi base» que es correspondria si fossin aplicades «amb mesures addicionals», es a dir, més intenses o severes. El mateix objectiu anima el Reial Decret 1866/2004, de 6 de setembre, norma mitjançant la qual s'aprova el Pla Nacional d'Assignació de Drets d'Emissió 2005-2007¹⁷. Aquest instrument normatiu no únicament esmenta com es durà a terme l'assignació de drets d'emissió durant aquest període, sinó que incorpora mesures a aplicar a sectors no coberts per la normativa comunitària de comerç d'emissions, instruments de flexibilitat a emprar, aspecte tècnics, potencial de reducció d'emissió a Espanya, etc.

- ii) Informar-ne la COP, mitjançant les Comunicacions Nacionals, i d'acord amb tota una sèrie d'exigències pel que fa al seu contingut i el temps de presentació (art. 4.2.b i c, art. 4.6, i art. 12.5). En aquest aspecte, cal dir que l'Estat espanyol ha tramès fins a la data les 3 Comunicacions Nacionals requerides pel CMCC. La darrera ha estat presentada l'1 d'abril de 2002¹⁸.

c) Els països desenvolupats i la Comunitat Europea (annex II) queden sotmesos a obligacions específiques:

- i) Proporcionar recursos financers addicionals als països en desenvolupament. Aquesta transferència de recursos té bàsicament dos objectius: facilitar als països en desenvolupament el compliment dels compromisos generals assumits en virtut del CMCC (art. 4.3 i 12.3), i ajudar els països en desenvolupament que són particularment vulnerables als efectes del canvi climàtic a fer front a les conseqüències de l'escalfament global del planeta (art. 4.4 i 12.3). En aquest sentit, a la Ter-

16. Tercera Comunicació Nacional, p. 63-114.

17. BOE 7 de setembre de 2004.

18. El text complet de les Comunicacions Nacionals Segona i Tercera es pot consultar a: http://unfccc.int/national_reports/annex_i_natcom/submitted_natcom/items/1395.php. Pot sol·licitar-se còpia escrita de la primera Comunicació Nacional.

cera Comunicació Nacional presentada per l'Estat espanyol, sota l'epígraf *Recursos financieros y transferencia de tecnología*, es fan saber les Contribucions Financeres realitzades per l'Estat espanyol al Fons per al Medi Ambient Mundial (FMAM)¹⁹, les realitzades a Institucions i Programes Multilaterals²⁰, i les de caire bilateral i regional relatives als anys 1998-2000²¹. Inclou, finalment, la llista dels crèdits FAD²². D'altra banda, cal senyalar que el Consell de Ministres ha autoritzat recentment la contribució econòmica d'Espanya al Fons dels Països Menys Desenvolupats, creat en el context del Conveni Marc.

- ii) Promoure, facilitar i finançar la transferència i l'accés a la tecnologia i als coneixements en aquest àmbit (art. 4.5 i 12.3). En aquests aspectes, i pel que fa a l'Estat espanyol, cal que ens remetem al que ja ha estat esmentat en paràgrafs anteriors.

El desplegament i la concreció de les obligacions establertes pel CMCC es produeix en virtut del PK de 1997, que des del nivell dels grans objectius i principis descendeix al nivell d'una reglamentació més detallada per

adequar els compromisos subscrits per les Parts a la consecució de l'objectiu últim del CMCC. Així, **el Protocol de Kyoto estableix les obligacions següents:**

- a) **Tots els Estats part i la Comunitat Europea assumeixen les obligacions generals següents:**
 - i) Formular, publicar, aplicar i actualitzar programes nacionals i *on s'escaigui, regionals*, per facilitar i millorar la preparació i la qualitat dels inventaris nacionals d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (art. 10.a), i programes nacionals i, *on s'escaigui, regionals*, per reduir-ne els efectes (art. 10.b). Estem davant de programes que han respectar un contingut mínim, prefixat al mateix PK²³ i a les successives decisions de la COP del Conveni Marc. Sobre aquests programes l'Estat espanyol haurà de presentar la corresponent informació periòdica així com també pel que fa a les mesures adoptades en virtut del PK.
 - ii) Cooperar en la promoció de modalitats específiques pel desenvolupament, la difusió i el finançament de la transferència de tecnologia, en particular en benefici de països en desenvolupament²⁴; i proporcionar el desenvolupament de la investigació científica i tecnològica, l'educació i la formació en matèria de canvi climàtic (art. 10.c, d, e). Per tant, caldrà que l'Estat espanyol cooperi propiciant el desenvolupament de la investigació científica i tecnològica, procediments d'observació sistemàtica i creació d'arxius de dades; així com en l'elaboració i execució de programes d'educació i en la formació en matèria de canvi climàtic, facilitant a nivell intern el coneixement públic sobre la infor-

19. L'any 2000, de 2.463.660.000.– PTA, dins el Fons per al Medi Ambient reestructurat (GEF-1); i pel que fa al GEF-2, d'un total de 14.806.894,81 euros (malgrat el fet que el pagament efectiu es realitzarà en un calendari de 10 anys, comptats des de l'any 2000). *Tercera Comunicació Nacional*, p. 133.

20. Que superen els 18 milions d'euros els anys 1997 i 1998, i baixen al voltant dels 8 milions d'euros els anys 1999 i 2000. *Tercera Comunicació Nacional*, p. 134.

21. La Comunicació Nacional explica que la informació que es presenta en aquest punt no és exhaustiva, perquè no es disposa d'un inventari sistematitzat que serveixi per registrar els projectes de cooperació al desenvolupament i que inclogui una relació de la quantitat de recursos i nombre de projectes que persegueixin expressament contribuir al compliment de la CMCC. Es llisten, pel que fa l'any 1998, una sèrie de projectes inclosos als Programes Araucaria i Azahar i en relació a l'àrea Mediterrània i a Iberoamèrica). *Tercera Comunicació Nacional*, p. 135-138.

22. A la mateixa Comunicació Nacional hi ha la llista dels crèdits del Fons d'Ajut al Desenvolupament que han estat atorgats durant els anys 1993 a 2000 i que es considera que poden tenir una incidència directa o indirecta en la mitigació del canvi climàtic i/o en l'adaptació als seus efectes). *Tercera Comunicació Nacional*, p. 141

23. De tal manera que en aquests documents caldrà atendre tant els sectors de l'energia, transport i indústria, com els de l'agricultura, silvicultura i gestió dels residus (art. 10.b)-i PK).

24. Caldrà fer especial atenció a les necessitats de determinats països en desenvolupament llistats a l'article 4.8 del CMCC: insulars petits, amb zones d'alta contaminació atmosfèrica urbana, amb ecosistemes fràgils etc.

mació disponible i l'accés del públic a aquesta.

b) Els països de l'annex I (països desenvolupats i països amb economies en transició) i la Comunitat Europea es comprometen al compliment de determinats compromisos:

i) Assolir, individualment o conjuntament, els objectius quantificats de limitació i reducció de les emissions (OCLRE) de determinats gasos amb efecte d'hivernacle, en el primer període de compromís (2008/2012) d'acord amb el que estableix el PK (art.3.1 a 3 i 7 a 13). Amb aquesta terminologia el PK es refereix a un objectiu de caràcter polític: especifica la fita que ha d'assolir-se en matèria de reducció i limitació d'emissions, i deixa a la discreció de les Parts la determinació dels mitjans per fer-ho. Aquests objectius quantificats s'han establert per a un conjunt de sis dels gasos amb efecte d'hivernacle no contemplats en el Protocol de Montreal de 1987 (d'acord amb l'annex A del PK: CO₂, N₂O, CH₄, HFC, PFC i SF₆) i per a un primer període de compromís (2008-2012). Es fixa aleshores una reducció global del 5% com a mínim respecte els nivells de 1990 (per a les emissions de CO₂, N₂O, i CH₄) i de 1995 (per a les emissions de HFC, PFC i SF₆). Aquesta reducció s'aplica de forma diferenciada en els països desenvolupats de l'annex I, en funció dels percentatges establerts a l'annex B del PK. (Per exemple, la Unió Europea es compromet a una reducció d'un 8%, Estats Units a un 7% i Japó a un 6%, mentre que Austràlia i Islàndia poden augmentar les reduccions en un 8% i un 10%, respectivament). Pel que fa a l'Estat espanyol, igual que les altres Parts de l'annex I del CMCC, caldrà que demostrï l'any 2005 un avenç concret en el compliment dels compromisos contrets (art.3.2).

ii) Per tal d'assolir el compromís quantificat de reducció i limitació d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, s'imposa a les Parts

de l'annex I del CMCC l'adopció i l'aplicació de polítiques i mesures nacionals per implementar els objectius quantificats de reducció i limitació d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, d'acord amb les circumstàncies nacionals (art. 2.1.a), minimitzant els possibles efectes adversos que aquestes polítiques i mesures poguessin tenir en altres Estats (art.2.3), i cooperant amb les altres Parts per garantir la seva efectivitat (art. 2.1.b). S'ha de mencionar aquí que de forma complementària a l'adopció d'aquestes polítiques i mesures internes, l'Estat pot decidir utilitzar els mecanismes flexibles que més endavant es comenten: Mecanisme de Desenvolupament Net (art. 12), Aplicació Conjunta (art. 6) i Comerç Internacional d'Emissions (art.17).

iii) Per tal d'establir els nivells dels dipòsits de CO₂ emmagatzemat corresponent a l'any 1990 caldrà que les Parts transmetin totes les dades necessàries a l'OSACT (l'Òrgan Subsidiari d'Assessorament Científic i Tecnològic del Conveni) per establir els nivells dels dipòsits de CO₂ el 1990. Caldrà també que facin una estimació de les variacions d'aquell nivell de carboni emmagatzemat per als anys següents²⁵.

iv) Com a màxim un any abans que comenci el primer període de compromís (2008-2011), l'Estat ha d'establir un sistema nacional que permeti l'estimació de les emissions antropogèniques per les fonts i l'absorció pels embornals de tots els gasos amb efecte d'hivernacle no inclosos al Protocol de Montreal (art. 5.1 PK).

25. Una Part podrà optar per aplicar en el primer període de compromís (si no és aquest el cas, es comptabilitzaran en el segon i tercer) les sumes o restes a les seves quantitats assignades derivades de determinades actuacions realitzades a partir de l'any 1990. Es tracta d'activitats humanes addicionals relacionades amb les variacions d'emissions per fonts i l'absorció pels embornals dels gasos amb efecte d'hivernacle en els terrenys agrícoles i els canvis en l'explotació de la terra i les categories forestals (art. 3.4PK).

c) Els països desenvolupats i la Comunitat Europea (annex II) queden sotmesos a l'obligació específica de proporcionar recursos financers addicionals (bé per mitjà del Mecanisme Financer, bé mitjançant mecanismes bilaterals, regionals o multilaterals) als països en desenvolupament perquè puguin fer front al cost econòmic derivat de les accions que han de dur a terme d'acord amb l'article 4.1 del CMCC (art. 11, i sobretot en la preparació d'inventaris nacionals (art. 11.a) i a la transferència de tecnologia (art. 11.b).

C1.2.3.2. Els mecanismes de flexibilització del compliment de les obligacions.

Per facilitar l'assoliment d'aquests objectius, el PK contempla, com a contrapartida als països desenvolupats, tres instruments que flexibilitzen la naturalesa de les fites establertes: dos mecanismes considerats «de projecte», com són l'aplicació conjunta (AC, art. 6) i el Mecanisme de Desenvolupament Net (MDN, art. 12), i l'articulació d'un sistema de permisos negociables (art. 17). D'acord amb el que es disposa en el PK, s'encomana a la Reunió de les Parts la definició de les modalitats, condicions, agents i formes de verificació d'aquests mecanismes. Fins que el PK no ha entrat en vigor, aquesta tasca l'ha dut a terme la COP del CMCC, que en el quart període de sessions va adoptar l'anomenat Pla d'Acció de Buenos Aires (1998) amb els temes i el calendari de la negociació que havia de facilitar l'acord a la Sisena COP (La Haia, 2000)²⁶. Tot i això, en aquell moment no es va poder assolir l'acord²⁷, i el consens de les Parts no es va formalitzar materialment fins a la Setena COP a Marràqueix (2001)²⁸.

Tot i que cada un d'aquests mecanismes té les seves característiques específiques, comparteixen certs trets comuns: Els seu doble fonament,

econòmic i ambiental, que explica també la seva naturalesa geogràfica; la seva complementaritat (addicionalitat) respecte el compliment dels objectius nacionals de limitació i reducció d'emissions; la fungibilitat i el caràcter intercanviable dels títols que es deriven d'aquests mecanismes; l'establiment de certs requisits d'eligibilitat pels països de l'annex I pel que fa a la seva participació en aquests mecanismes, i la participació del sector privat²⁹.

a) El mecanisme d' aplicació conjunta (AC)

L'aplicació conjunta implica la possibilitat de que un Estat de l'annex I inverteixi en un determinat projecte que s'executa en el territori d'un altre Estat, també de l'annex I, que té com a resultat la reducció de gasos amb efecte d'hivernacle. Aquesta activitat pot comportar l'acreditació, per una entitat independent, d'Unitats de Reducció d'Emissions (URE, en anglès *ERUs*, *Emission Reduction Units*) que es comptabilitzen en el còmput de l'Estat inversor (tot i que s'hagin obtingut fora del seu territori). La reducció d'emissions es calcula i es verifica, abans de la implementació del projecte, a partir d'un nivell base (*baseline*) de les emissions futures que es produïrien en el supòsit que aquest no es dues a terme.

D'acord amb l'art. 6 del PK, doncs, s'autoritza a les Parts de l'annex I a adquirir o a transferir entre elles aquestes URE de gasos amb efecte d'hivernacle. D'aquesta manera, les Parts de l'annex I i el sector privat que participa en el sistema poden invertir en projectes de reducció d'emissions en el territori d'altres Parts incloses a l'annex i aplicar les URE que obtenen amb aquesta actuació a la consecució dels objectius nacionals que s'han compromès a assolir.

El mateix art. 6 estableix determinats criteris per dur a terme els projectes d'aplicació conjunta: el

26. Decisió 1/CP.4, Doc. FCCC/CP/1998/16/Add.1

27. Decisió 1/CP.6, Doc. FCCC/CP/2000/5/Add.2

28. Programa de treball sobre els Mecanismes, Doc. FCCC/CP/2001/5/Add.2. Vid. Decisions 15/CP.7, 16/CP.7, 17/CP.7, 18/CP.7 i 19/CP.7, Doc. FCCC/CP/2001/13/Add.2

29. Vid. Saura Estapà, J., *El cumplimiento del Protocolo de Kyoto sobre el cambio climático*. Barcelona: Col. Tribuna Internacional, núm. 5, 2003, p. 36 i ss.

consentiment de les Parts implicades, la materialització d'una reducció d'emissions o d'una millora de receptors addicional a la que s'hagués produït si no existís el projecte, l'exigència que l'Estat que executa el projecte disposi a nivell nacional d'un sistema per a l'avaluació i mesura de les emissions antropogèniques per fonts i receptors, que l'Estat estigui al dia respecte l'obligació de presentació d'informes, i el caràcter complementari que respecte l'adopció de mesures nacionals tenen els projectes d'execució conjunta.

Cal senyalar, finalment, que si bé des de la Primera COP de 1995 ja es va promoure la conclusió d'acords entre les Parts per iniciar amb caràcter experimental aquest tipus d'activitats (fase pilot que inicialment no contemplava l'obtenció d'unitats de reducció) sobre la base dels criteris esmentats, quedaven encara obertes qüestions tan importants com la procedència dels fons addicionals necessaris per dur a terme aquests projectes, la metodologia per determinar el benefici ambiental addicional que suposa la seva realització, o els mecanismes de seguiment, control i verificació dels resultats de l'aplicació conjunta. Ha calgut que la Setena COP de 2001 definís diversos aspectes com l'establiment d'una estructura orgànica de supervisió dels projectes, la utilització d'entitats operacionals que, un cop acreditades, poguessin verificar la reducció, l'admissió de projectes per a la certificació de les unitats de reducció, i la cobertura de les despeses administratives que origina el funcionament del mecanisme³⁰.

b) El Mecanisme de Desenvolupament Net (MDN)

En segon lloc, l'art. 12 del PK introdueix el Mecanisme de Desenvolupament Net. La seva funció és doble: d'una banda, s'encarrega d'assistir els països en desenvolupament en la consecució d'un desenvolupament sostenible; de l'altra, dóna suport a les Parts de l'annex I en el compli-

ment dels seus compromisos quantificats de limitació i reducció d'emissions. A diferència del sistema anterior, que s'articula inicialment entre els països desenvolupats que han assumit compromisos de reducció, en aquest cas el sistema funciona precisament per mitjà de la cooperació entre els països de l'annex I i els que no en formen part.

Tot i que en un començament l'establiment d'aquest Mecanisme s'havia plantejat com un fons de finançament vinculat als règims de control del compliment, la versió final que es va aprovar en el PK ens ofereix un instrument més relacionat amb els mecanismes d'aplicació conjunta. D'una banda, els països en desenvolupament poden beneficiar-se de les activitats de projectes que persegueixin aquests objectius de reducció d'emissions per facilitar la seva adaptació a les mesures que s'adoptin per reduir els efectes del canvi climàtic (art. 12.3.a). De l'altra, el Mecanisme garanteix que els països de l'annex I que vulguin invertir en projectes en els països en desenvolupament poden utilitzar les Reduccions Certificades d'Emissions (RCE, en anglès *CERs*, *Certified Emission Reductions*) que resultin d'aquestes activitats per contribuir al compliment d'una part dels seus propis compromisos quantificats de limitació i reducció d'emissions (art.12.3.b).

Per dur a terme aquest objectiu, el PK permet que les entitats públiques o privades puguin participar en el Mecanisme, sota la direcció d'una junta executiva subjecta a l'autoritat de la Reunió de les Parts, que és a la vegada l'encarregada de canalitzar els fons públics i privats per al finançament de projectes en els països en desenvolupament. A més, s'estableixen les condicions per a la realització d'aquests projectes: que la participació de les Parts s'hagi acordat voluntàriament; que hi hagi beneficis reals, mesurables i a llarg termini en relació amb la mitigació dels efectes del canvi climàtic; i que la reducció de les emissions sigui addicional a les que es produïrien en absència de l'activitat projectada.

30. Decisió 16/CP.7

La Setena COP va decidir facilitar la posta en marxa del MDN. El primer informe de la junta executiva es va presentar a la Vuitena COP de 2002, i s'hi esmentava l'inici del procés d'acreditació de les entitats que pretenen participar en el mecanisme, així com la preparació de les recomanacions sobre les modalitats i els procediments per a les activitats de projectes³¹. La Novena COP (Milà, 2003) també ha aconseguit avenços força importants en la definició i la inclusió de les modalitats dels projectes relatius a les activitats d'ús del sòl, canvis en la utilització del sòl i silvicultura (LULUCF)³² en el marc del MDN, un dels temes que ha generat més discussions des de la COP de 1998.

c) Els permisos negociables

Tenen aquest caràcter els denominats drets d'emissió o permisos negociables que es contemplen de forma expressa a l'art. 17 del PK. La seva introducció entre els països llistats a l'annex I s'explica pel fet que, en funció del seu grau de desenvolupament econòmic durant els períodes fixats al PK, alguns Estats Part poden acumular i no utilitzar les quantitats (*hot air*) que tenen atribuïdes d'acord amb els compromisos quantificats de limitació i reducció d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. Amb l'establiment d'aquests permisos negociables s'accepta de fet la possibilitat de compra-venda d'aquestes emissions per part dels Estats que assumeixin compromisos relatius als objectius quantificats, de tal manera que un Estat que excedeixi la seva quota d'emissions pugui «comprar» a un altre Estat la part no utilitzada de les seves. En el fons, la transferència d'aquestes emissions cap a un país que vulgui fer-les servir no representarà probablement una clara reducció d'emissions per al país exportador, ja que en tot cas suposa un increment respecte de les emissions reals que s'haurien produït en absència de la possibilitat de comerciar-hi.

La Setena COP estableix els criteris d'el·ligibilitat per permetre als països de l'annex I la participació en aquest mecanisme: la ratificació prèvia del PK i el compliment dels compromisos relatius a la informació i l'aplicació de les metodologies per a l'elaboració dels inventaris nacionals i els registres d'emissions. A més, la Decisió 18/CP.7³³ adoptada a Marràqueix dona als països de l'annex I la possibilitat d'autoritzar les persones jurídiques a transferir o adquirir URE, si bé hi fixa determinades condicions: l'elaboració i actualització periòdica per l'Estat d'un registre d'aquestes entitats, i la prohibició de que aquestes persones jurídiques puguin adquirir o transferir drets d'emissió durant el període de temps en que l'Estat no compleixi els criteris d'el·ligibilitat.

Davant de la posició dels països desenvolupats, liderats pels Estats Units i favorables a una concepció àmplia del sistema dels permisos negociables³⁴, els països en desenvolupament han manifestat el seu temor que aquest mecanisme solament serveixi perquè els països de l'annex I (per ara els únics amb capacitat per participar en el sistema i, per tant, amb capacitat de determinar el preu) «comprin» drets d'emissió a baix preu (fet que també podria devaluar les transferències d'emissions que es puguin produir en el marc del Mecanisme de Desenvolupament Net) i acabin per consolidar la base d'un autèntic dret de propietat irrevocable sobre aquestes emissions. Els països en desenvolupament han advertit també del perill que els països de l'annex I puguin ignorar l'obligació de l'adopció de polítiques nacionals dirigides a la reducció i a la limitació d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle en les seves jurisdiccions, amb el risc que al final es produeixi un efecte totalment contrari al desitjat. És a dir, que el comerç d'emissions es converteixi en un vehicle per debilitar els compromisos assumits en matèria de limitació i reducció d'emissions, cosa que implicaria una vio-

31. Decisió 21/CP.8, Doc. FCCC/CP/2002/7

32. Decisió -/CP.9, *Modalities and procedures for afforestation and reforestation project activities under the Clean Development Mechanisms in the first commitment period of the Kyoto Protocol.*

33. Doc. FCCC/CP/2001/12/Add.2

34. Decisió 5/CP.1, Doc. FCCC/CP/1995/7/Add.1

lació clara de l'esperit del PK i dels principis recollits al CMCC.

C1.2.4. El control del compliment de les obligacions subscrites en el Conveni Marc sobre el Canvi Climàtic i en el Protocol de Kyoto

C1.2.4.1. Els mecanismes de supervisió i vigilància

Tant el CMCC com el PK estableixen l'obligació dels Estats part d'elaborar i presentar, davant la COP, comunicacions nacionals (art. 12 del CMCC i art. 7 del PK). A més, l'art. 7 del CMCC preveu l'avaluació d'aquestes comunicacions nacionals pels òrgans competents del Conveni, i l'art. 8 del PK ha introduït un procediment d'examen i avaluació addicional per part de grups d'experts. En aquest àmbit, tres són les principals obligacions d'informació que tenen els Estats: D'una banda, totes les Parts han de facilitar inventaris nacionals de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, així com una explicació general dels passos que s'estan donant per implementar el CMCC. Per tal d'ajudar les Parts, en particular les de l'annex I, en el compliment d'aquesta obligació i facilitar el procés d'examen dels inventaris nacionals anuals, la Vuitena COP de 2002 ha adoptat, finalment, les directrius revisades relatives als inventaris de gasos amb efecte d'hivernacle³⁵. De l'altra, els països de l'annex I tenen l'obligació addicional de sotmetre comunicacions nacionals en les quals s'inclouï una descripció detallada de les polítiques i mesures adoptades per mitigar el canvi climàtic, així com les estimacions específiques dels efectes d'aquestes polítiques i mesures en les emissions antropogèniques. Addicionalment, els països de l'annex II han d'incloure en les seves comunicacions nacionals la informació relativa a les mesures que hagin adoptat per complir amb les obligacions del CMCC relatives a la transferència de recursos financers i tecnològics als països en desenvolupament.

C1.2.4.2. El Procediment Consultiu Multilateral

L'art. 13 del CMCC preveu la institucionalització d'un mecanisme consultiu multilateral, l'establiment del qual s'està discutint des de 1995 i que ha cristal·litzat fins ara en l'elaboració d'una proposta aprovada provisionalment per la Quarta COP a Buenos Aires el 1998³⁶, amb importants excepcions³⁷. La seva adopció definitiva continua encara pendent.

En termes generals, l'establiment d'un mecanisme d'aquesta mena ha de proveir d'un sistema per detectar, prevenir i resoldre les qüestions relatives a la implementació del CMCC. Des d'aquesta perspectiva, el seu establiment es fonamenta en el reconeixement del fet que en ocasions l'incompliment no és el resultat de la voluntat de l'Estat, sinó de circumstàncies econòmiques, socials o tecnològiques que escapen al seu control. Té, doncs, un caràcter multifuncional, que va des de l'assessorament i l'assistència a les Parts fins a la prevenció de possibles conflictes, per mitjà de la realització d'accions positives per promoure el bon funcionament «fisiològic» del conveni i evitar que sorgeixin situacions «patològiques», sense que això, naturalment, suposi un impediment a les Parts per recórrer quan ho considerin necessari a altres mecanismes previstos al Conveni o al Protocol.

C1.2.4.3. El Procediment de Conformitat

L'art. 18 del PK es refereix explícitament a la necessitat d'establir «els procediments i els mecanismes adequats i efectius per determinar i presentar els casos que no compleixen les disposicions del Protocol, així com elaborar una llista indicativa de les conseqüències que això comporta, tenint en compte la causa, el tipus, el grau i la freqüència de l'incompliment». La decisió relativa a aquest procediment va adoptar-se a la Setena COP a Marràquix³⁸.

35. Decisions 18/CP.8 i 19/CP.8, Doc. FCCC/CP/2002/7/Add.2

36. Doc FCCC/AG13/1998/2, Annex 2

37. Decisió 10/CP.4, Doc. FCCC/CP/1998/16/Add.1

38. Decisió 24/CP.7, Doc. FCCC/CP/2001/13/Add.3.

El Procediment de Conformitat comprèn aspectes vinculats amb la diplomàcia preventiva, la facilitació i l'assessorament. Això explica la seva articulació en dues sales: la de la facilitació i la del compliment (*enforcement*), dos procediments diferents que comporten conseqüències diferents, i que, a més a més, es poden posar en marxa sense perjudici dels mecanismes de solució de controvèrsies previstos al CMCC i al PK.

L'òrgan principal el constitueix el comitè de compliment, compost per 20 membres (10 per cada sala), d'acord amb el criteri de representació regional equitativa propi de les NU, i tenint en compte l'equilibri entre els països llistats a l'annex I del CMCC i els que no hi són. Si no és que es decideix altra cosa, el comitè es reuneix dos cops l'any, i adopta les seves decisions, en principi, per consens. Quan no és possible assolir el consens, el comitè es pronuncia per una majoria de 3/4 parts dels membres presents i votants. Això no obstant, l'adopció de decisions en el marc de la sala de compliment exigeix que aquesta compregui la majoria dels membres procedents de països de l'annex I presents i votants, així com la majoria dels membres dels països no inclosos a l'annex I presents i votants.

Un dels aspectes principals de l'establiment d'aquest mecanisme ha estat la determinació de les conseqüències de l'incompliment del PK. En el supòsit de la vulneració greu de les obligacions del PK (per exemple, l'excés en les quotes d'emissió assignades), s'ha acordat la deducció de la quota assignada en el segon període de compromís d'un nombre de tones igual a 1,3 vegades la quantitat de tones en què s'han excedit les emissions, i la suspensió de la qualitat d'Estat elegible per participar en el règim de comerç de drets d'emissions previstos a l'art. 17 del PK³⁹.

39. Secció XV, par. 5 de la Decisió 24/CP.

C1.2.5. Els procediments de solució pacífica de controvèrsies

La clàusula de solució pacífica de les controvèrsies que conté l'art. 14 del CMCC, aplicable *mutatis mutandi* al PK, estipula un sistema de solució en què es combinen procediments el recurs als quals té un caràcter obligatori (la negociació amb caràcter previ i la conciliació) amb d'altres l'acceptació dels quals és facultativa (la solució judicial i arbitral), a més de la possibilitat de recórrer, en qualsevol moment, a altres mitjans esollits per les Parts en controvèrsia.

No obstant, la pràctica indica que els procediments jurisdiccionals per a la solució pacífica de controvèrsies s'invoquen molt rarament en matèria de protecció del medi ambient, i són molt pocs els casos d'aquest tipus que fins ara s'han sotmès a un procediment judicial o arbitral. De fet, el caràcter contradictori, formalista, i essencialment bilateral dels mecanismes tradicionals de solució de controvèrsies internacionals presenta clares dificultats d'encaix amb un marc que sovint exigeix determinades capacitats, a més de la voluntat política dels Estats, per complir els seus compromisos (acció preventiva més que no repressiva); i que requereix amb molta freqüència una resposta global de la comunitat internacional. Aquesta situació ha generat una certa tendència a la utilització de procediments més flexibles, com els que s'acaben de mencionar, en el marc dels quals, si es plantegen qüestions que poden convertir-se en una controvèrsia, s'evita el procediment judicial.

C1.3. La participació de la Comunitat Europea en el règim del Canvi Climàtic

C1.3.1. L'atribució d'obligacions en matèria de limitació i de reducció d'emissions. Referència específica a la «bombolla europea»

Un supòsit especial, pel que fa a l'atribució dels compromisos de reducció i limitació de les emissions dels gasos amb efecte d'hivernacle, és el que es produeix entre els estats membres de

la Unió Europea⁴⁰, tots ells inclosos en l'annex I del CMCC i a l'annex B del PK. Així, l'art.4 del PK permet que el compliment d'aquests compromisos pugui dur-se a terme entre un grup de Parts de l'annex I mitjançant l'establiment d'objectius quantificats conjunts que posteriorment es distribueixen internament en diferents porcions, segons la capacitat econòmica i el grau de desenvolupament dels Estats que hi participen. Tot i que aquesta disposició es refereix en general a actuacions conjuntes que es duguin a terme en el marc d'organitzacions internacionals d'integració econòmica, aquesta és, en definitiva, la situació prevista per a la Comunitat Europea (des d'ara CE) i el que es coneix, en la terminologia del CMCC, com la «bombolla europea».

Això ha exigut que la CE fixés en el Consell de Medi Ambient de 16 i 17 de juny de 1998⁴¹, i confirmés en la Decisió del Consell de 25 d'abril de 2002⁴², per la qual es ratifica el Protocol de Kyoto, les contribucions dels Estats membres (*burden sharing agreement*) en matèria de reducció de les emissions dels sis gasos contemplats al PK, dins de l'objectiu de reducció del 8% a què havia compromès per al primer període (2008/2012)⁴³. Aquesta distribució, que ha d'anar acompanyada de l'adopció de les polítiques i mesures nacionals i comunitàries necessàries,

s'estableix finalment de la manera següent: Luxemburg: -28%; Dinamarca: -21%; Alemanya: -21%; Àustria: -13%; Regne Unit: -12,5%; Bèlgica: -7,5%; Itàlia: -6,5%; Països Baixos: -6%; França: 0%; Finlàndia: 0%; Suècia: +4%; Irlanda: +13%; Espanya: +15%; Grècia: +25%; i Portugal: +27%.

Cal tenir en compte que la Comissió de la Comunitat Europea, després d'establir les emissions anuals de referència definitives (de conformitat amb els compromisos quantificats de limitació i reducció de l'Annex II de la decisió) determinarà, com a màxim el 31 de desembre de 2006, els nivells d'emissions atribuïts a la Comunitat Europea i a cadascun dels Estats Membres en termes de tones equivalents de CO₂, i per tant, a Espanya (art. 3).

En el fons, la «bombolla europea» ha estat una exigència i una necessitat política, tant en termes de solidaritat entre els Estats membres com per la necessitat d'evitar el risc que els Estats membres que fins ara han tingut un nivell relativament baix d'emissions i que encara poden créixer haguessin dificultat la ratificació del PK per par de la Comunitat Europea. D'altra banda, també és cert que sense la «bombolla», cap dels Estats membres, individualment, hagués pogut fer prevaler els seus interessos en el marc de les negociacions del PK davant d'Estats com els USA, el Japó o la Xina.

En la pràctica, la «bombolla europea» implica el compliment conjunt dels compromisos de reducció i limitació d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a la CE, és a dir, l'assoliment del nivell combinat de reducció del 8% establert a l'annex B del PK en el primer període de compromís. La Comunitat Europea i els Estats Membres, i per tant, l'Estat espanyol, en haver decidit complir els compromisos de forma conjunta, són coresponsables que la Comunitat compleixi el seu compromís quantificat de reducció d'emissions. Cal tenir present que, d'acord amb l'article 10 del Tractat de la Comunitat Europea

40. La Comunitat Europea i els seus Estats membres són Part al CMCC i han ratificat el PK. Vid. Decisió del Consell 94/69/CE, de 15.12.1993 relativa a la conclusió del Conveni Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic, DOCE L 33, 7.2.1994; i Decisió del Consell 2002/358/CE, de 25.4.2002 relativa a l'aprovació, en nom de la CE, del Protocol de Kyoto al Conveni Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic, DOCE L 130, 15.5.2002.

41. Consell de la Unió Europea, Consell de Medi Ambient, Luxemburg, 16-17 de juny de 1998, Comunicat de Premsa, sessió núm. 2106 i *Europe*, núm. 7244, 18 de juny de 1998

42. Decisió del Consell 2002/358/CE, de 25.4.2002 relativa a l'aprovació, en nom de la CE, del Protocol de Kyoto al Conveni Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic, DOCE L 130, 15.5.2002. Vid. també el Doc. FCCC/CP/2002/2, que conté l'Acord entre la Comunitat Europea i els seus Estats membres en virtut de l'art. 4 del Protocol de Kyoto.

43. Vid. Decisió del Consell de 25 d'abril de 2002 (punt 10 de l'Exposició de Motius)

(des d'ara TCE), els Estats Membres, individual i col·lectivament, tenen l'obligació d'establir mesures adequades, generals o particulars, per tal d'assegurar el compliment, també, de les obligacions internacionals subscrietes per la Comunitat Europea, facilitar-ne la realització i abstenir-se de qualsevol mesura que posi en perill el seu assoliment. La «bombolla europea» no cobreix, però, el compliment d'altres obligacions subscrietes pels Estats membres i la Comunitat Europea en virtut del CMCC i del PK, l'execució de les quals en tot cas seguirà, a nivell comunitari, els criteris generals aplicables al compliment dels acords mixtos. Això afecta, d'una banda, l'adopció de polítiques i mesures nacionals per mitigar el canvi climàtic, l'elaboració, aplicació i publicació periòdica dels inventaris nacionals de gasos amb efecte d'hivernacle i dels programes nacionals d'actuació, la preparació de les polítiques sectorials nacionals per a la seva adaptació als impactes del canvi climàtic; de l'altra, la presentació de comunicacions nacionals periòdiques i la informació als òrgans del CMCC i del PK i, finalment, la promoció i difusió de les accions d' R+D, l'intercanvi d'informació i la formació en matèria de canvi climàtic, així com la transferència de recursos financers i tecnològics als països en desenvolupament. En aquest punt cal recordar la referència que el Tribunal de Justícia de les Comunitats Europees (des d'ara TJCE) ha fet en el dictamen 1/94 de 15 de novembre de 1994 al deure de cooperació entre les institucions comunitàries i els Estats membres en el compliment de les obligacions internacionals, sens perjudici dels criteris generals de distribució de competències entre la CE i els seus Estats membres⁴⁴.

No obstant, un cop admesa la possibilitat de la «bombolla», l'art.4 del PK és poc precís en les condicions que han de concórrer en l'establiment d'objectius quantificats conjunts: la notificació de l'acord a la Secretaria, la temporalitat de l'acord, i la responsabilitat individual i con-

junta de cadascuna de les Parts en l'acord i de l'organització si no s'assoleix el nivell combinat de reducció de les emissions (fet que exigeix l'establiment d'un procediment de vigilància i control a nivell intracomunitari). D'altra banda, l'art. 4 del PK introdueix una nota de rigidesa important a la clàusula que permet la bombolla europea: la impossibilitat d'alterar els compromisos de reducció d'emissions vigents en el supòsit que es produeixi una modificació en la composició de l'organització. L'única referència en aquest punt la trobem en la Decisió del Consell de 2002, en la que, d'una banda, es remet a l'art.10 del Tractat de la Comunitat Europea (des d'ara TCE), d'acord amb el qual els Estats membres, individualment o conjuntament, tenen l'obligació d'adoptar totes les mesures apropiades per garantir el compliment de les obligacions internacionals de la CE; i de l'altra, deixa la fixació definitiva de les emissions anuals de referència de la CE i els seus Estats membres en el moment de l'entrada en vigor del PK.

C1.3.2. Delimitació i abast de les competències comunitàries en matèria de canvi climàtic

C1.3.2.1. La determinació de la competència de la CE

La CE, com d'altres organitzacions internacionals, ha estat creada per a la consecució de determinats objectius, el que implica la realització de certes funcions que, per tal que puguin dur-se a terme requereixen una atribució de competències a les institucions encarregades d'executar-les. En aquest sentit, la CE només té aquelles competències que li han estat atribuïdes en virtut dels Tractats constitutius, expressament o implícitament, i la seva activitat es desplega únicament en els àmbits en els quals els Estats membres han acceptat transferir l'exercici d'aquestes competències a les institucions comunitàries. L'art. 10 del TCE reafirma aquest principi d'atribució de competències.

Pel que fa al canvi climàtic, el TCE no conté una única base jurídica que permeti fonamentar l'a-

44. Dictamen 1/94, de 15.11.1994, Rec. TJCE, 1994, p. I-5267

dopció, de forma general, d'aquest tipus de mesures per part de la CE. Al contrari, en funció de la naturalesa i el contingut de la mesura que el Consell (conjuntament amb el Parlament, segons els casos) desitgi adoptar, aquesta institució podrà recórrer a diverses bases jurídiques, com l'art. 37 (política agrícola), l'art. 93 (política fiscal), l'art. 71 (política de transport), l'art.95 (aproximació de legislacions per a la consecució del mercat interior), l'art. 133 (política comercial), o l'art. 175 (política ambiental). En aquest sentit, la jurisprudència del TJCE ha entès que la base jurídica es determinarà en funció de l'objectiu i la finalitat principal de la disposició que es vol adoptar⁴⁵ i de fet, tot i el seu caràcter transversal, les mesures que la CE ha adoptat fins ara en relació amb el fenomen del canvi climàtic s'han fonamentat, en la seva majoria, en l'art. 175 del TCE.

C1.3.2.2. L'exercici de la competència per part de la CE

Un cop establerta de competència de la CE, es planteja la qüestió de la forma en que aquesta competència s'exercirà, que pot variar en funció de la mesura en que un determinat àmbit d'actuació estigui obert a la intervenció comunitària. Així, en algunes matèries la CE exerceix les seves competències de manera exclusiva. En aquests casos la CE concentra tots els poders decisius, ja que li corresponen la totalitat de funcions normatives i, sovint, també executives, sobre una determinada matèria, si bé en ocasions els Estats membres poden assumir funcions merament executives o de gestió. En altres àmbits, la majoria, la CE no disposa més que d'una competència concurrent i comparteix les funcions normatives amb els Estats membres, de forma que en el procés decisor i en funció de l'abast de la intervenció comunitària, cada un dels dos nivells conserva la seva capacitat pel que fa a les funcions normatives o d'innovació de l'ordena-

ment jurídic, i poden adoptar actes legislatius, administratius o reglamentaris en virtut d'una competència que els hi pertany com a pròpia.

En l'àmbit del canvi climàtic, la implementació de les disposicions del CMCC i del PK afecta matèries que cauen sota l'àmbit competencial de de la Comunitat Europea i dels Estats membres. De fet, en matèria de medi ambient l'art.174.1 del TCE, que determina l'abast de la competència comunitària, ja estableix que la CE «contribuirà» a la conservació i a la millora de la qualitat del medi ambient. A més, l'art.176 del TCE fa una reserva expressa del dret dels Estats membres a mantenir o adoptar mesures de major protecció. Per tant, es tracta d'una competència clarament compartida entre la CE i els Estats membres. Una competència compartida l'exercici de la qual, d'altra banda, està subjecta, en virtut de l'art. 5 del TCE, a la exigència de dos requisits previs: el principi de la proporcionalitat amb relació a la intensitat de l'acció comunitària, i el principi de la subsidiarietat amb relació a l'apreciació de la necessitat de la intervenció comunitària.

Per tant, la intervenció comunitària tindrà lloc quan l'acció comuna reforci efectivament les actuacions dels Estats membres per reduir i limitar les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, i variarà segons l'àmbit afectat per la mesura. De la seva intensitat també dependrà l'instrument comunitari que s'utilitzi: actes normatius com els reglaments, les directives o les decisions; instruments de caràcter programàtic com els programes d'acció i les estratègies; o acords voluntaris amb els sectors particularment implicats per tal d'afavorir la seva participació voluntària en el sistema.

Per exemple, la CE juga un paper normatiu i executiu molt important en l'àmbit de la política agrícola comuna, en la qual té una competència exclusiva, o en la supervisió de les normes en matèria de dret de la competència o en el que es refereix al control dels ajuts de l'Estat. Això no

45. STJCE 26.3.1987, Comissió c/Consell, as.45/86, Rec. TJCE 1987, p.1493 i STJCE 2.2.1989, Comissió c/Consell, as.275/87, Rec. TJCE 1989, p. 259.

ha impedit el recurs a actes programàtics, com el Programa Europeu sobre el Canvi Climàtic (EPCC)⁴⁶, amb l'objectiu de reforçar i coordinar les polítiques i mesures comunes al nivell comunitari. En altres àmbits, la intervenció comunitària prefereix recórrer a la conclusió d'acords voluntaris, com és el cas dels que han estat subscriptes amb alguns dels principals productors d'automòbils.

C1.3.2.3. El procediment per l'adopció de les decisions comunitàries

La preferència per la utilització de l'art.175 del TCE com a base jurídica per fonamentar les actuacions relatives al canvi climàtic determina també el procediment d'adopció de les decisions en el si del Consell i la participació del Parlament Europeu en aquest procés.

Així, en aquest àmbit el Consell decideix per majoria qualificada i mitjançant el procediment de codecisió amb el Parlament Europeu (art.251 del TCE), fet que suposa un pas important pel que fa a la participació d'aquesta institució. Això no obstant, el TCE manté concessions importants al poder dels Estats membres per delimitar prèviament els principis i el desenvolupament de la política ambiental comunitària. El segon paràgraf de l'art. 175 del TCE recull una excepció significativa a l'exigir la unanimitat del Consell i la consulta al Parlament Europeu en l'adopció de decisions relatives a les disposicions de caràcter fiscal, les mesures d'ordenació territorial i d'ús del sòl, les mesures relatives a la gestió dels recursos hídrics, i les mesures relatives a l'elecció de fonts d'energia i a l'estructura general del seu abastament. En aquests casos, l'adopció de les mesures comunitàries depèn encara exclusivament de la voluntat dels executius dels Estats membres i queda sotmesa a la possibilitat del veto per part de qualsevol d'ells. Això és el que ha succeït, per exemple, amb la proposta de Directiva relativa a la introducció d'una taxa per a les emissions de diòxid de carboni i l'energia,

que es va presentar el 1992 i que ha retirat finalment la Comissió per la forta oposició d'alguns dels Estats membres (d'una banda, els països de la «cohesió» –Espanya, Grècia, Portugal i Irlanda– reclamaven finançament estructural addicional per acceptar la proposta; de l'altra, França rebutjava l'aplicació de la taxa al sector de l'energia nuclear; i finalment el Regne Unit considerava més apropiat la implantació de la taxa a nivell nacional).

La determinació del mecanisme per a l'adopció de les decisions comunitàries en el context del canvi climàtic no és, doncs, una qüestió irrellevant. Una altra mostra de la seva importància es troba, per exemple, en els debats que van precedir la ratificació per la CE del CMCC i del PK. En principi, i d'acord amb l'art. 300 del TCE, el Consell, igual que ho fa respecte a l'adopció de les normes internes en matèria de política ambiental, ha de decidir la ratificació dels acords internacionals per majoria qualificada, a menys que l'acord afecti un àmbit que exigeixi, per a l'adopció de normes internes, la unanimitat. Atès que, com ja s'ha mencionat, el paràgraf segon de l'art. 175 del TCE requereix un pronunciament per unanimitat, i que el règim del canvi climàtic afecta el sector energètic i pot tenir una incidència en l'aplicació de mesures fiscals, alguns Estats membres, principalment el Regne Unit i França, van reclamar l'aplicació d'aquest mecanisme de votació per decidir la conclusió dels dos acords internacionals per part de la CE. Finalment la qüestió es va resoldre per la via de l'acord polític en el si del Consell⁴⁷, i la decisió sobre la ratificació dels acords es va produir, tant en un cas com en l'altre, per majoria qualificada⁴⁸.

47. 2413th European Council of Environmental Ministers, Brussels, 4.3.2002, <http://ue.eu.int/en/summ.htm>

48. Decisió del Consell 94/69/CE, de 15.12.1993 relativa a la conclusió del Conveni Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic, DOCE L 33, 7.2.1994; i decisió del Consell 2002/358/CE, de 25.4.2002 relativa a l'aprovació, en nom de la CE, del Protocol de Kyoto al Conveni Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic, DOCE L 130, 15.5.2002

46. COM(2000)88, de 8.3.2000

C1.3.2.4. L'adopció d'instruments comunitaris relatius al canvi climàtic

En exercici de les seves competències, la Comunitat Europea ha adoptat, per tal d'assolir els nivells de reducció d'emissions acordats, instruments i mesures de caire programàtic i també normes concretes amb un contingut obligacional precís dirigit als Estats Membres. A la vegada, i amb la voluntat d'assolir un lideratge a nivell internacional, també ha desplegat la seva activitat per facilitar i promoure la posada en marxa del PK.

a) Les mesures de caràcter programàtic

i) Estratègia de la UE per al Desenvolupament Sostenible⁴⁹

Presentada per la Comissió al Consell Europeu de Goteborg el juny del 2001, l'Estratègia s'articula en tres grans pilars: propostes i recomanacions per tal de millorar l'efectivitat i l'eficàcia de l'acció comunitària en el marc del desenvolupament sostenible; establiment d'objectius i fites específiques a nivell de la CE; i la implementació i revisió de l'estratègia. En matèria de canvi climàtic es recullen diverses mesures: la reducció anual d'un 1% del nivell de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle l'any 1990 fins el 2020, l'establiment d'objectius ambientals específics amb relació a la imposició tributària sobre l'energia, la supressió progressiva fins el 2010 dels subsidis a la producció i al consum de combustibles fòssils, i la utilització, el 2010, d'un 7% de combustibles alternatius en el consum d'automòbils.

ii) Sisè Programa d'Acció Ambiental⁵⁰

El Sisè Programa de 2001, adoptat per mitjà de la decisió del Parlament Europeu i del Consell 1600/2000/CE, emfatitza la necessitat de l'actuació comunitària en matèria de

canvi climàtic. A curt termini, l'objectiu és garantir la reducció d'un 8% de les emissions respecte dels valors de 1990 en el primer període de compromís. A llarg termini, la Comunitat es comprometia a una reducció global d'entre un 20% i un 40% de les emissions respecte els valors de 1990. Per dur a terme aquests objectius, el Programa contempla la preparació de tota una sèrie d'accions: l'establiment d'un sistema de comerç d'emissions de CO₂ d'àmbit comunitari; l'elaboració d'un inventari dels subsidis nacionals a l'energia i l'examen de la seva compatibilitat amb els objectius del canvi climàtic; la promoció i el suport al desenvolupament de fonts d'energia renovable, per mitjà de directives comunitàries; la utilització d'instruments de mercat; la promoció de l'estalvi d'energia i de l'eficiència energètica; la promoció dels acords voluntaris per a la reducció d'emissions, la identificació d'accions per a la reducció d'emissions procedents de l'aviació civil, i el desenvolupament i la promoció d'accions de R+D a nivell comunitari.

iii) Programa Europeu sobre el Canvi Climàtic⁵¹ (EPCC)

L'EPCC identifica els elements de l'estratègia europea, amb l'objectiu de reforçar i coordinar les polítiques i mesures en matèria de canvi climàtic a nivell comunitari, suplementàries a les que adoptin els Estats membres per complir els compromisos adquirits en virtut del PK. L'estratègia que recull el programa és doble: d'una banda, l'establiment d'un sistema de comerç d'emissions dins de la CE; de l'altra, l'adopció de mesures prioritàries en l'àmbit de l'energia, la indústria i els transports. En principi, l'abast de l'EPCC es limita a les accions necessàries per l'assoliment de la quota de reducció comunitària del -8%, però també preveu actuacions amb una perspectiva a mitjà i llarg

49. <http://europa.eu.int/comm/environment/eussd/index.htm>

50. D.O.C.E L24, de 10.9.2002

51. COM(2000)88, 8.3.2000

termini, que comprenen des de la cooperació internacional per a la transferència de tecnologia, fins a les accions de formació i educació en matèria de canvi climàtic.

En la seva primera fase (2000-2001)⁵², el Programa identifica i preveu un conjunt d'accions prioritàries a dur a terme en els anys 2002-2003. Entre d'altres mesures de caràcter sectorial, es contemplava la implementació de diverses actuacions de caràcter transversal: l'adopció d'una directiva sobre comerç d'emissions, la promoció de l'aplicació efectiva de la directiva IPPC, la revisió de la directiva sobre un mecanisme de supervisió de les emissions de CO₂ i altres gasos amb efecte d'hivernacle⁵³, i l'adopció d'una directiva sobre mecanismes basats en la realització de projectes, inclosos el compliment conjunt i el MDN⁵⁴. Des d'una perspectiva sectorial, per exemple, i en l'àmbit energètic, es preveia l'adopció d'un marc normatiu específic amb relació als requisits mínims d'eficiència energètica dels equipaments d'ús final, la gestió de la demanda energètica, la promoció dels sistemes combinats d'escalfor i potència; i en l'àmbit de la indústria, l'adopció d'una directiva sobre gasos fluorinats⁵⁵. En la segona fase de l'EPC (2002-2003), el programa d'implementació, amb l'objectiu de recolzar la realització de les prioritats identificades en la primera fase, es centra en els mecanismes de flexibilitat, l'agricultura, els receptors i dipòsits, i els boscos.

b) El desenvolupament de mesures de caràcter normatiu

i) Inventari Europeu d'Emissions Contaminants (IEEC, en anglès *EPER, European Pollution Emissions Register*)⁵⁶

La directiva 96/61/CE, de 24 de juny 1996⁵⁷, relativa a l'establiment d'un sistema integrat de control de la contaminació, estableix la publicació per part de la Comissió, cada tres anys i sobre la base de la informació transmesa pels Estats membres, d'un inventari de les principals emissions a l'aire, a l'aigua i al sòl, així com de les fonts de procedència. L'inventari recull les emissions i els abocaments de les instal·lacions situades en territori comunitari que realitzin alguna de les activitats que figuren a l'annex I de la directiva IPPC, si bé d'entrada únicament cobreix, a partir de determinats llindars, un nombre limitat de substàncies, i es nodreix de la informació prèviament tramesa pels Estats membres. D'acord amb la decisió que regula l'Inventari, els Estats hauran d'informar la Comissió de les emissions. Cada tres anys, a partir de juny de 2003, hauran de presentar un informe general a la Comissió amb les dades sobre les emissions del 2001 o, a manca d'aquestes dades, referides al 2000 o 2002. El proper any serà, doncs, el 2006, i cobrirà les emissions del 2004. Aquestes dades són accessibles i disponibles, des de febrer de 2004, per la via del registre públic EPER, que actualment ja proporciona tota la informació sobre les majors activitats industrials⁵⁸. D'altra banda, l'inventari compleix una doble funció: l'inventari pot prioritzar les fonts contaminants més importants en interès de la transparència, al mateix temps que les dades d'emissió enregistrades poden fer-ne un instrument per a la política ambiental.

52. COM(2001)580, 23.10.2001

53. COM(2003)51, 5.2.2003

54. COM(2003) 403, 23.7.2003

55. COM(2003)492, 11.8.2003

56. Decisió de la Comissió 2000/479/CE, de 17 de juliol de 2000, rela-

tiva a la realització d'un inventari europeu d'emissions contaminants (EPER) d'acord amb l'article 15 de la directiva 96/61/CE del Consell relativa a la prevenció i al control integrats de la contaminació, DOCE L 192, de 28.7.2000

57. DOCE L 257, 10.10.1996

58. L'accés a l'EPER és disponible a la pàgina web <http://eper.eea.eu.int/eper>. També a la pàgina web espanyola <http://www.eper.es.com>

- ii) La directiva 2003/87/CE del Parlament Europeu i el Consell, de 13 d'octubre 2003, per la d'hivernacle⁵⁹.

La directiva ETS (*European Emission Trading System*) té com objectiu l'establiment del marc legal per al comerç d'emissions a la CE. Pretén la integració dels sistemes nacionals de seguiment de les emissions dels gasos amb efecte d'hivernacle i l'assignació de les quotes dels drets d'emissió a nivell comunitari, com a preparació del sistema internacional de comerç d'emissions previst al PK a partir del 2008. Les disposicions de la directiva s'apliquen des del 31 de desembre 2003.

Tot i que afecta, en principi, els sis gasos amb efecte d'hivernacle que es contemplen al PK, el mecanisme de comerç d'emissions que s'estableix a la directiva es limita a l'assignació de quotes de CO₂. Pel que fa a les instal·lacions, queden cobertes per la directiva les instal·lacions que duen a terme activitats energètiques, de producció i transformació de metalls ferrosos, hidrocarburs, indústries minerals, i de fabricació de pasta de paper i cartó, d'acord amb el que es disposa a l'annex I i sens perjudici de la seva futura extensió a altres sectors. D'altra banda, la directiva no impedeix que els Estats membres puguin mantenir o establir els seus propis esquemes de comerç d'emissions procedents d'activitats o instal·lacions incloses o no a la llista de l'annex I, ni tampoc que puguin participar en altres sistemes d'àmbit internacional com a Parts que són del PK.

La directiva fa una distinció entre dos conceptes clau, els permisos que autoritzen a l'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle que expedeix l'autoritat competent (arts. 4 a 6), i els drets d'emissió (arta. 11 a 13), que la di-

rectiva defineix com «*el derecho a emitir una tonelada equivalente de CO₂ durante un período determinado, válido únicamente a efectos del cumplimiento de los requisitos de la presente directiva*» (art. 3) i que és en definitiva, el dret que pot transferir-se o adquirir-se a nivell nacional o comunitari.

Tots els Estats membres tenen, així, l'obligació de garantir la posada en marxa, des de l'1 de gener de 2005, d'un nou sistema de permisos d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle, que caldrà expedir per part de l'autoritat competent (art. 9) amb adequació a les exigències de la directiva IPPC (Directiva 96/61/CE⁶⁰). Cal, doncs, que els Estats membres determinin quines són les autoritats competents, i si són diverses, garanteixin la seva coordinació. Per tant, des de 2005, tota instal·lació o grup d'instal·lacions⁶¹ que consti a l'Annex I, dins de l'Estat que dugui a terme emissions de CO₂, necessita disposar d'un permís específic d'aquesta índole. Les que disposin d'aquest permís hauran de trametre a l'autoritat competent, finalitzat l'any, drets d'emissió equivalents a les emissions totals que li varen ser assignades, drets que hauran estat verificats⁶².

La principal obligació dels Estats membres, a més de l'establiment del sistema de permisos d'emissió, és la de l'elaboració d'un pla nacio-

59. COM(2001)581, 26.3.2002, i COM(2003)364, 25.3.2003. El text provisional pot trobar-se a <http://www.europa.eu.int/comm/environment>

60. El permís integrat IPPC no ha d'incloure cap valor límit d'emissió pe a les emissions directes de GEH, llevat que sigui necessari. Les autoritats caldrà que modifiquin el permís, si s'escau (art. 26)

61. Es permet a l'Estat que possibiliti els titulars d'instal·lacions dedicades a una de les activitats esmentades a la directiva que agrupin les seves instal·lacions dedicades a la mateixa activitat a partir de la corresponent sol·licitud i aprovació i sempre que això no sigui rebutjat per la Comissió (art. 28).

62. La figura del verificador i els criteris de verificació són recollits a l'Annex V de la directiva. Val a dir que la proposta de directiva *linkage* (per la qual s'estableix un sistema d'intercanvi de quotes d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle dins la CE, en el marc dels mecanismes de projecte MDL i AC del Protocol de Kyoto) preveu que els verificadors EMAS amb coneixements i experiència sobre activitats de mitigació de canvi climàtic puguin ser verificadors d'activitats de projectes que puguin acollir-se a l'AC dins de la Comunitat.

nal que *determinarà la cantidad total de derechos de emisión que prevé asignar durante dicho periodo y el procedimiento de asignación* (art. 9). Aquest Pla Nacional d'Assignació d'emissions havia d'estar llest el 31 de març del 2004 (per a un període de tres anys que comença l'1 de gener de 2005 i que finalitza el 2008. Per als períodes següents, 12 mesos abans de l'inici del període). Per donar compliment a aquest compromís, cal que les autoritats competents dels Estats membres determinin quin és el volum total de tones equivalents de CO₂ que correspon realment a les emissions de CO₂ (desestimant, per ara, les que corresponguin a emissions d'altres gasos amb efecte d'hivernacle); d'aquest total, quantes tones equivalents de CO₂ corresponen a les emissions dels sectors coberts per l'annex I de la directiva, i d'aquestes, quantes tones equivalents de CO₂ i drets d'emissió s'assignen a cada un dels sectors i, en particular, quantes tones equivalents de CO₂ i drets d'emissió s'assignen a cada un dels titulars de les instal·lacions. També han de determinar la forma d'expedició d'aquests drets i els mecanismes de seguiment i verificació. Els criteris objectius d'acord amb els quals s'ha de produir aquesta assignació a nivell nacional es recullen a l'annex III de la directiva, subjectes també a un futur desenvolupament per part de la Comissió, abans del 31 de desembre de 2003. La Comissió havia d'adoptar també, abans del 30 de setembre 2003, les directrius amb els criteris detallats per al seguiment i la notificació de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, sobre la base dels principis establerts a l'annex V de la directiva. Aquestes directrius han estat finalment adoptades per la Comissió en la decisió de 29 de gener de 2004⁶³.

Pel que fa als mètodes per assignar aquestes quotes, la directiva deixa als Estats membres

cert marge de discreció per escollir l'enfoc a utilitzar en l'assignació dels drets d'emissió entre les instal·lacions que són titulars de permisos d'emissió (en funció de les emissions històriques, en funció de les emissions previstes o segons el criteri de l'assignació al menor cost), d'acord amb les seves circumstàncies nacionals, la quota de reducció d'emissions establerta en la decisió del Consell de 2002 i els nivells d'emissió de 1990. En canvi, els Estats membres estan del tot vinculats pel que fa al mètode d'assignació (art. 10) i pel que fa a l'exigència de conformitat amb el TCE, i particularment amb els seus arts. 87 i 88 en matèria de dret de la competència (art. 11). L'art. 10 estableix, per al període de 3 anys que comença l'1 de gener de 2005, l'assignació gratuïta en un 95% de les unitats de CO₂, amb la possibilitat d'assignació per subhasta del 5% que resta. Per al període de 5 anys que comença l'1 de gener de 2008, aquesta disposició preveu l'assignació gratuïta com a mínim d'un 90% de les unitats de CO₂, i permet la subhasta del 10% que resta.

La directiva preveu també la possibilitat, tant de l'exclusió temporal de certes instal·lacions del règim comunitari, prèvia autorització expressa de la Comissió (art. 27), com de l'assignació de drets d'emissió addicionals a certes instal·lacions en cas de força major (art. 29). En aquest darrer supòsit, la Comissió havia de fer públiques les orientacions per descriure les circumstàncies en les quals queda demostrada la situació de força major abans del 31 de desembre de 2003. Igualment, permet la possibilitat d'agrupació d'instal·lacions (*pooling*) fins el 2012 quan les autoritats competents dels Estats membres autoritzin a diversos operadors que duen a terme la mateixa activitat l'agrupament de les seves assignacions d'emissions.

Cal, a més, que aquest pla es publiqui i es notifiqui a la Comissió (art. 9), que és qui finalment podrà proposar esmenes o rebutjar-

63. C(2004)130 final, dee 29.1.2004, encara no publicada al Diari Oficial.

lo (en un termini de tres mesos). Pel que fa a la publicació, aquesta s'ha de produir abans de la notificació del pla nacional a la Comissió, ja que si s'han de tenir en compte les observacions del públic, tal i com diu l'art. 9, s'entén que això ha de ser abans d'adoptar la decisió final de les autoritats nacionals competents respecte a l'assignació dels drets d'emissió. A més, tot Estat membre ha de crear i mantenir un Registre de Drets d'Emissió⁶⁴, controlable per un Administrador central de la Comissió, que portarà un registre independent de transaccions.

La directiva preveu també les diferents formes d'utilització d'aquests drets d'emissió. (art. 12) Així, aquests drets es poden: a) transferir entre persones físiques o jurídiques dins la CE, o que es trobin en tercers Estats (s'entén que hagin ratificat el PK, que figurin en el seu annex B, i que compleixin els requisits d'elegibilitat) amb qui la CE hagi conclòs acords amb aquest fi, o amb qui, en absència d'acord, la CE hagi establert un mecanisme de reconeixement dels drets d'emissió (art. 25); b) cancel·lar en qualsevol moment, a petició dels seus titulars. En principi no s'exclou la possibilitat que altres persones interessades, com per exemple una ONG, puguin comprar drets d'emissió i després cancel·lar-los, reduint així el número total de drets disponibles, ja que si bé no es poden assignar drets d'emissió a les instal·lacions no cobertes per aquest mecanisme, res no impedeix que qualsevol persona física o jurídica pugui comprar-los. En qualsevol cas, els Estats membres vetllaran per tal que els drets d'emissió puguin transferir-se entre persones en la UE i de tercers països en què es reconeixin, i que es reconeixin en qualsevol cas els drets d'emissió expedits per una autoritat competent d'un Estat membre (art. 12). Els Estats membres vetllaran també pel se-

guiment de les emissions i per tal que els titulars de les instal·lacions regulades les notifiquin cada any; caldrà haver-les verificat d'acord amb els criteris que estableix l'annex V⁶⁵ (arts. 14 i 15). Tot i que no es menciona de forma expressa, sembla que la directiva no impideix, d'acord amb l'art. 13 del PK, la transferència (*banking*) en el període de compromís següent (2013-2017) d'aquelles assignacions que no hagin estat utilitzades en el primer període de compromís del PK (2008-2012), si bé aquesta possibilitat està subjecta als criteris establerts per la Setena COP de Marràqueix (per a les unitats de reducció que s'obtenen via projectes d'AC o del MDN, limitació del *banking* a un 25% de la quantitat que té assignada l'Estat part al PK en el període 2013-2017).

També es preveu un règim de sanció aplicable a les infraccions de les disposicions nacionals de transposició (art. 16), que cada Estat membre havia de notificar a la Comissió abans del 31 de desembre de 2003. En particular, per a aquells titulars d'instal·lacions que al finalitzar l'any no entreguin suficients drets d'emissió per cobrir les seves emissions de l'any anterior (per al període que comença l'1 de gener 2008, multa per excés d'emissions de 100 € per cada tona equivalent de CO₂ emès per la instal·lació el titular de la qual no hagi entregat drets d'emissió. En el període que comença l'1 de gener 2005, la sanció es redueix a 40 €).

Pel que fa al control del compliment de la directiva, s'estableix l'obligació dels Estats membres d'elaborar un informe anual⁶⁶, el

64. Han de constar-hi l'expedició, transferència, titularitat, cancel·lació (art. 19)

65. Si no és satisfactori l'informe verificat, no es podrà procedir a noves transferències de drets d'emissió (art. 15.2).

66. Amb relació a l'assignació de drets d'emissió, funcionament de registres, seguiment, verificació, tractament fiscal dels drets d'emissió, tot això sobre la base d'un qüestionari elaborat per la Comissió (art. 21). El mateix precepte determina que la Comissió organitzarà un intercanvi d'informació entre les autoritats competents dels Estats membres sobre aquests assumptes.

primer dels quals s'ha de presentar a la Comissió el 30 de juny de 2005 (art. 21). Entre d'altres aspectes, aquests informes s'han de referir als agençaments i al funcionament del sistema d'assignació, als registres, a l'aplicació dels mecanismes de monitoratge, informació i verificació, així com a les mesures relatives al tractament fiscal de les unitats de reducció.

Cal, doncs, tenir present el marge d'actuació que, d'acord amb la directiva, resta als Estats membres, tenint en compte que la Comissió havia de presentar abans del 31 de desembre de 2004 una proposta de modificació per incloure-hi altres activitats i gasos⁶⁷. En qualsevol cas, els Estats membres poden, a partir del 2008, aplicar el mateix règim de comerç d'emissions de la directiva a activitats i instal·lacions addicionals i també a gasos altres que CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC i SF₆, prèvia aprovació de la Comissió. A partir del 2005, els Estats membres podran aplicar el mateix règim de comerç d'emissions, a les instal·lacions enumerades ara a la directiva, però que estan per sota dels límits de capacitat esmentats a l'Annex (art. 24). Els Estats també poden sol·licitar a la Comissió l'exclusió de determinades instal·lacions del règim comunitari fins el 31 de desembre del 2007 (art. 27).

- iii) La Decisió 280/2004/CE del Parlament Europeu i el Consell, d'11 de febrer de 2004, relativa a un mecanisme de seguiment de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a la Comunitat i de l'aplicació del Protocol de Kyoto⁶⁸.

Aquesta decisió substitueix la decisió del Consell 93/389/CE relativa a l'establiment de mecanismes de supervisió de les emis-

sions de CO₂ i d'altres gasos amb efecte d'hivernacle, modificada per la decisió 1999/296/CE⁶⁹. La nova decisió estableix el mecanisme de seguiment de les emissions antropogèniques amb efecte d'hivernacle i l'avaluació dels compromisos adquirits per la CE i els Estats membre, permet l'harmonització futura de la informació relativa a les previsions d'emissions de la una i dels altres, i adapta aquest mecanisme a les exigències d'informació i a les orientacions polítiques establertes en aquesta matèria per la Setena COP de Marràqueix i Bonn. En particular, amb la seva aprovació es pretén reforçar la cooperació i coordinació entre els Estats membres per compilar l'inventari de gasos amb efecte d'hivernacle, i determinar l'avaluació dels avenços i els procediments d'examen i compliment que permeten que la Comunitat compleixi les seves obligacions internacionals relatives a la presentació d'informes.

Com a mesures concretes, apuntem que amb la seva aprovació, esdevé exigència comunitària la realització dels Programes Nacionals de reducció d'emissions, que hauran de posar-se a disposició del públic i dels quals caldrà informar a la Comissió en un termini de tres mesos des de la seva adopció.

La decisió exigeix també que els Estats membres informin a la Comissió, abans del 15 de gener de cada any (amb la possibilitat de sotmetre dades actualitzades o addicionals abans del 15 de març de cada any), dels avenços demostrables que s'hagin produït fins aleshores respecte les emissions de gasos⁷⁰, la comptabilització d'aquests emissions, la informació relativa als inventaris i els registres nacionals, etc., per tal de permetre a la insti-

67. S'hi esmentaria, expressament, la seva ampliació cap el sector químic, de l'alumini i dels transports.

68. DOCE L 49, de 19.2.2004

69. DOCE L 167, 9.7.1993 i DOCE L 117, 5.5.1999

70. Incloent, entre d'altres punts, referència expressa a quins organismes legals han estat autoritzats a participar en els mecanismes previstos als articles 6 i 12 del PK (article 3.1.h de la proposta).

tució comunitària l'elaboració de l'informe anual obligatori que la CE ha de presentar davant dels òrgans del CMCC, conjuntament amb els informes nacionals, abans de 1 de gener de 2006.

A partir de les dades que subministren els Estats membres, es preveu també l'elaboració anual per part de la Comissió de l'inventari comunitari dels gasos amb efecte d'hivernacle que la CE també ha de presentar davant dels òrgans del CMCC, pel qual es requereix als Estats membres que, abans del 31 de desembre de 2005, estableixin els sistemes d'inventaris nacionals d'acord amb les disposicions del PK.

Igualment els Estats membres han de remetre a la Comissió, per primer cop abans del 15 de març de 2005, i cada dos anys des d'aleshores, la informació relativa als avenços demostrables pel que fa a les polítiques i mesures nacionals, amb les previsions nacionals d'emissió corresponents als anys 2005, 2010, 2015 i 2021. Per últim, hi haurà un Registre europeu (coordinat amb els registres estatals) per garantir la comptabilització exacta de l'emissió, manteniment, transferència, anul·lació i retirada de les unitats de quantitats atribuïdes, unitats d'absorció, URE i RCE. Aquests registres incorporaran els registres que cal establir d'acord amb la directiva ETS. Es permet que els Estats membres i la CE puguin portar els registres de forma consolidada amb un o més Estats Membres.

- iv) La directiva 2004/101/CE, del Parlament Europeu i del Consell, de 27 d'octubre de 2004, per la qual s'estableix un sistema d'intercanvi de quotes d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle dins de la CE, en el marc dels mecanismes de projecte del Protocol de Kyoto⁷¹.

La directiva *linkage* 2004/101/CE vincula l'obtenció dels ERU i els CER que es deriven de la posta en marxa dels mecanismes de l'aplicació conjunta i del Mecanisme de Desenvolupament Net del PK, amb els drets que es generen en el marc de l'esquema comunitari de comerç d'emissions. Els ERU i els CER poden, sota certes condicions, convertir-se en drets d'emissió per al seu ús en el règim comunitari de comerç d'emissions. Es tracta, en definitiva, d'equipar aquestes unitats a les quotes d'emissió comunitàries, de manera que els titulars de les empreses que participen en un d'aquests mecanismes puguin fer servir el sistema de comerç d'emissions comunitari per al compliment de les seves obligacions. En termes generals, l'objectiu és, doncs, el de facilitar l'articulació de mitjans complementaris per promoure el recurs a aquests mecanismes per part dels operadors econòmics, alhora que s'assoleix una disminució del cost de la reducció de les emissions dels gasos amb efecte d'hivernacle.

La directiva preveu que els Estats membres adoptin diverses mesures per tal de garantir que el mecanisme sigui emprat per a projectes adequats, així com la correcta conversió al règim de comerç europeu. D'aquesta manera, per exemple, per tal d'assegurar que també es redueixen les emissions en els Estats membres i que el recurs als mecanismes de flexibilitat que permeten el projectes AC i MDN és realment complementari a les mesures nacionals (és a dir, que la reducció no s'assoleix únicament a través de la participació en projectes AC o MDN), la proposta preveu la seva revisió automàtica un cop que els ERU i els CER convertits pel seu ús en el règim comunitari de comerç d'emissions assoleixin el 6% de la quantitat total dels drets assignats pels Estats membres. També es preveu l'adopció de mesures per evitar la doble comptabilitat de les emissions cobertes per la directiva ETS i les reduccions d'emis-

71. COM(2003)403, 23.7.2003

sions resultants de projectes, així com l'exclusió d'aquest sistema dels crèdits generats per determinats projectes (projectes que no generen una reducció permanent de les fonts d'emissió, projectes que poden tenir repercussions importants en la biodiversitat, projectes relatius a l'ús del sòl i la silvicultura, projectes vinculats a les activitats de les centrals nuclears, a més d'importants limitacions a projectes vinculats a les activitats de les centrals hidroelèctriques). Els Estats membres hauran de facilitar la informació pública de les activitats de projectes en què un Estat participi o autoritzi a participar a entitats privades o públiques.

- v) La proposta de directiva per a la reducció de gasos fluorinats⁷²

La proposta estableix el marc legal per a la reducció de les emissions d'hidrofluorocarburs (HFC), perfluorocarburs (PFC) i hexafluorur de sofre (SF₆). Comprèn tota una sèrie de disposicions relatives a l'harmonització de les restriccions relatives a la comercialització i l'ús d'aquests gasos i a la presentació d'informes per part dels Estats membres. La proposta afecta, així, a productors, importadors, exportadors industrials i aquells que utilitzen equips que contenen aquests gasos.

Es tracta d'implementar totes les mesures viables des del punt de vista tècnic i econòmic per eliminar i reduir les emissions d'aquests gasos, al mateix temps que es garanteix el funcionament del mercat interior al prevenir possibles distorsions resultants de l'aplicació de mesures nacionals diferents. La futura adopció de la directiva obligarà els Estats Membres a establir programes de formació i certificació per a les persones relacionades amb activitats d'inspecció i valorització relacionada amb aquests gasos. S'estableix també un sistema d'informes periòdics, i els

Estats han de garantir que es compleixen les prohibicions assegurant la inspecció d'activitats i la sanció de conductes que contravenen el Reglament.

- vi) Altres mesures comunitàries vinculades amb el règim del canvi climàtic

El Programa plurianual de foment de l'eficiència energètica (SAVE)⁷³; la Decisió relativa al foment de les energies renovables (ALTENER)⁷⁴; la Directiva 2001/77/CE de setembre de 2001 sobre la promoció de l'electricitat generada a partir de fonts d'energia renovables en el mercat interior de l'electricitat⁷⁵, o la Directiva 2003/30/CE de 8 de maig de 2003 relativa al foment de l'ús de biocarburants o altres combustibles renovables en el transport⁷⁶. En l'àmbit de les mesures fiscals, destaca la directiva 2003/96/CE del Parlament Europeu i del Consell, de 27 d'octubre de 2003, sobre l'establiment d'un règim d'imposició comunitari als productes energètics i de l'electricitat⁷⁷, que introdueix l'harmonització, en diferents fases, dels impostos nacionals i que és operativa des de gener de 2004.

C1.3.3. La participació de la CE en els procediments de control del compliment i d'agençament de diferències previstos al CMCC i al PK

La participació de la CE i dels seus Estats membres en els diferents mecanismes de control d'aplicació i d'agençament de diferències del CMCC i del PK planteja problemes similars als que ja s'han mencionat i que es deriven del repartiment intern de les competències que afecten les matèries pròpies d'aquests dos instruments internacionals.

72. COM(2003)492, 11.8.2003

73. DOCE L 79, 30.3.2000

74. DOCE L 79, 30.3.2000

75. DOCE L 283, 27.10.2001

76. DOCE L123, 17.5.2003

77. DOCE L283, 31.10.2003

Pel que fa a la legitimació activa per iniciar qualsevol d'aquests procediments, caldrà entendre que en principi tant la CE com els seus Estats membres poden plantejar als òrgans competents, independentment, qualsevol assumpte amb relació al compliment d'una altra Part. No obstant, des del punt de vista comunitari, pot haver-hi determinats elements que requereixin, més enllà del deure genèric de cooperació, l'acció conjunta de la CE i els seus Estats membres. Així, certes actuacions unilaterals poden no adequar-se suficientment a l'acord d'execució conjunta d'algunes de les obligacions subscrietes en el PK, o a la inversa, poden resultar inconsistentes amb el principi de la subsidiarietat quan es duen a terme en el marc de les competències compartides. En qualsevol cas, s'ha de refusar la possibilitat que un Estat membre pugui iniciar un dels procediments previstos al CMCC i al PK per reclamar el compliment de les disposicions convencionals a un altre Estat membre. Les controvèrsies que puguin sorgir dins de la Unió Europea s'han de resoldre d'acord amb els procediments establerts pel dret comunitari, per mitjà de mecanismes de control i supervisió específics, o mitjançant les vies generals per actuar contra l'incompliment per part de l'Estat membre⁷⁸ o a través del recurs d'omissió contra l'absència d'acció de les institucions comunitàries⁷⁹.

Pel que fa a la seva legitimació passiva, és a dir a la possibilitat que un tercer Estat o grup d'Estats puguin actuar, en el marc del CMCC o del PK, contra la CE o els seus Estats membres, val a dir que caldrà estar al contingut de la reclamació. En aquells casos en què un Estat membre no compleixi les seves obligacions relatives a la limitació o la reducció d'emissions, i en la mesura en què aquesta és una actuació que queda coberta per l'execució conjunta entre la CE i els seus Estats membres, caldrà considerar que un tercer Estat no podrà dirigir-se individualment contra l'Estat membre, sinó que haurà de fer-ho

contra la CE i els seus Estats membres. L'existència d'un acord per a l'execució conjunta d'una de les principals obligacions del PK, com és la de la reducció de les emissions, implica també una responsabilitat conjunta que no poden desconèixer les altres Parts al PK. En canvi, si l'obligació pot separar-se del context determinat per la «bombolla europea», pot considerar-se que els altres Estats part en el PK no s'han de veure perjudicats per la indefinició que caracteritza la distribució de competències entre la CE i els seus Estats membres. Per tant, poden presentar una reclamació tant contra la Comunitat i els seus Estats membres conjuntament, com contra l'una o els altres independentment. S'ha de recordar aquí que, en la mesura en què tant el CMCC com el PK son acords mixtos, la prioritat, pel que fa a la seva implementació, rau en garantir l'interès dels altres Estats no comunitaris pel que fa al principi de la seguretat jurídica.

C1.4. El paper de l'Estat davant el Conveni Marc del Canvi Climàtic i el Protocol de Kyoto

Si en les pàgines anteriors hem exposat quin és el règim jurídic internacional d'intervenció sobre el canvi climàtic i, així mateix, com es concreta la participació de la Comunitat Europea en aquest, cal a continuació centrar l'anàlisi en l'àmbit estrictament estatal. No creiem necessari reproduir de nou els compromisos concrets que han estat assumits formalment per l'Estat espanyol, perquè ja han estat assenyalats prèviament i els tornarem a retrobar en l'apartat final valoratiu dels esforços realitzats i dels que resten encara per dur a terme des d'aquest nivell territorial. L'objectiu ara és determinar quins àmbits i competències específics de l'Estat es troben involucrats en matèria de lluita contra el canvi climàtic. Això ens permetrà conèixer quines actuacions estan o poden estar legitimades des d'aquest àmbit, quins són els seus límits, així com, en darrer terme, si han estat previstes, i de quina manera, fórmules de col·laboració interadministrativa quan estem davant de competències compartides/concurrents. A continuació, seran explicitades també les tasques han estat

78. Art. 226-228 TCE.

79. Art. 232-233 TCE.

dures a terme fins a l'actualitat en matèria de canvi climàtic per l'Estat, tant pel que fa a l'àmbit organitzatiu, normatiu, com a l'executiu.

C1.4.1. Els àmbits i activitats afectades pels compromisos i les competències a l'abast de l'Estat.

C1.4.1.1. Els àmbits i activitats afectades i les competències estatals.

Coneixent ja quins són els compromisos adquirits per part de l'Estat espanyol en el marc internacional i de la UE, cal necessàriament recordar a continuació quins àmbits i activitats poden resultar i resulten afectats per aquells i, fonamentalment, de quines competències concretes disposa l'Estat (i quin és el seu abast) quan desitja incidir i intervenir sobre les causes i conseqüències del canvi climàtic i complir els compromisos adquirits. En general, observem que destaca, entre d'altres, la vessant ambiental del tema que ens ocupa. La Constitució espanyola (CE), com no podria ser d'una altra forma, crida tots els poders públics, sense excepció, a realitzar tasques sobre aquest sector⁸⁰. Però, quines són les competències concretes de titularitat estatal?

De forma preliminar, cal esmentar que és l'Estat, com a tal, qui presta el consentiment per obligar-se internacionalment, i subscriu tractats com el CMCC i el PK (art 94, CE). L'Estat gaudix de competència exclusiva sobre les «relacions internacionals», tal com estableix l'article 149.1.3 de la Constitució. Però això no converteix automàticament qualsevol matèria o funció sobre la qual pugui recaure un conveni internacional en una matèria o funció reservada a l'Estat. Pel que fa al compliment de les obligacions internacionals, el Tribunal Constitucional ha insistit en la necessitat d'evitar que la «connexió comunitària» pugui enterbolir l'aplicació de les

normes internes de repartiment de competències que integren el bloc de constitucionalitat. En aquest sentit, l'alta jurisdicció ha reconegut que les competències que l'article 149 de la Constitució atribueix a l'Estat en matèria de relacions internacionals no impliquen una extensió del seu àmbit competencial a totes les activitats relacionades amb el seu desenvolupament, l'execució o amb l'aplicació dels tractats internacionals ni en particular, de les normes comunitàries de dret derivat⁸¹.

A partir d'aquesta premissa, podem establir ja quines són les competències estatals de caràcter sectorial implicades. Així, de la lectura de l'article 149 de la Constitució, observem que han estat reservades a aquest nivell competències exclusives sobre un ventall de matèries i activitats directament (o de forma connexa) relacionades totes elles amb el canvi climàtic. Subratllem únicament a continuació les que considerem més rellevants:

«art. 149.1:

6. *Legislació mercantil*

10. *Comerç exterior*

13. *Bases i coordinació de la planificació general de l'activitat econòmica*⁸²

15. *Foment i coordinació general de la investigació científica i tècnica*

19. *Pesca marítima, sens perjudici de les competències que s'atribueixin a les Comunitats autònomes en l'ordenació d'aquest sector*

C1. *Transport aeri; servei meteorològic*

81. STC 252/1988, de C1.12.1988, FJ.2

82. En aquest sentit, vid. 131.1 CE: 1. L'Estat, mitjançant una llei, podrà planificar l'activitat econòmica general per atendre les necessitats col·lectives, equilibrar i harmonitzar el desenvolupament regional i sectorial i estimular el creixement de la renda i de la riquesa i la distribució més justa d'aquesta darrera.

80. Així, l'article 45.2 CE declara: *Els poders públics vetllaran per la utilització racional de tots els recursos naturals, a fi de protegir i millorar la qualitat de la vida i defensar i restaurar el medi ambient, amb el suport de la indispensable solidaritat col·lectiva.*

21. Ferrocarrils i transports terrestres que circulin dins els territoris de més d'una Comunitat Autònoma; tràfic i circulació de vehicles de motor
22. La legislació, ordenació i concessió de recursos i aprofitaments hidràulics si les aigües passen per més d'una Comunitat Autònoma, i l'autorització de les instal·lacions elèctriques si l'aprofitament afecta una altra Comunitat o si l'energia és transportada fora del seu àmbit territorial.
23. Legislació bàsica sobre protecció del medi ambient, sens perjudici de les facultats de les Comunitats autònomes per a l'establiment de normes addicionals de protecció. La legislació bàsica sobre espais i aprofitaments forestals i vies ramaderes.
24. Obres públiques d'interès general o la realització de les quals afecti més d'una Comunitat Autònoma.
25. Bases del règim miner i energètic».

D'aquesta enumeració simple, necessitada sovint de la interpretació concreta que ha anat atorgant la jurisprudència del Tribunal Constitucional als diversos paràgrafs, observem com –*prima facie*– s'ofereix un gran ventall de possibilitats d'actuació a l'Estat, però també deduïm que hi resta un important espai per a la l'assumpció i exercici de competències per part de les Comunitats autònomes. L'Estat, en ocasions, com acabem de comprovar, s'ha reservat únicament la competència exclusiva per emetre la legislació bàsica d'un sector concret, per dictar-ne les bases, o bé per procedir a l'emissió de singulars autoritzacions... D'altres aspectes (funcions o matèries), no reservats expressament a l'Estat, poden (i de fet serà sovint així) restar sota l'exclusiva competència de les Comunitats autònomes i donar, per tant, un paraigua prou generós que empari i cobreixi l'adopció de polítiques ambientals pròpies sobre el canvi climàtic. Així, sense perjudici de la concreció que posteriorment es realitzarà, cal tenir en compte, per avan-

çar únicament algun exemple, el desenvolupament de la legislació estatal bàsica ambiental o l'exercici de competències executives ambientals com poden ser l'atorgament de permisos, la seva inspecció; l'agricultura, etc... No ens oblidem en aquest punt dels Ens Locals. També ells exerceixen funcions normatives (ordenances) i executives⁸³ entre d'altres, en la matèria ambiental⁸⁴, i poden incidir de forma creativa i singularment efectiva sobre determinats aspectes del canvi climàtic⁸⁵.

C1.4.1.2. Multiplicitat de funcions públiques implicades i diversitat d'Administracions actuants. El repte d'assolir els compromisos adquirits mitjançant mecanismes efectius de col·laboració i cooperació interadministrativa i mitjançant una adequada organització administrativa.

Fent un simil amb el que ja ha estat exposat pel que fa l'àmbit comunitari europeu, i tal com acaba de ser esmentat, l'Estat ha de justificar invariable i necessàriament, en un títol competen-

83. Autoritzant, per exemple, determinades activitats (vid., en aquest sentit, el Reglament Estatal d'Activitats Molestes, Insalubres, Nocives i Perilloses; i pel que fa a Catalunya, la Llei 3/1998, d'Intervenció Integral de l'Administració Ambiental o LIIA).

84. A favor del ens locals, la Constitució espanyola reconeix una garantia d'autonomia per a la gestió dels seus interessos. La seves competències concretes són establertes pel legislador ordinari sigui via la Llei de Bases de Règim Local (o la seva homònima autonòmica) o la legislació sectorial. Tots els municipis exerceixen competències per exemple sobre promoció i gestió d'habitatges; protecció del medi ambient; protecció de la salubritat pública; recollida i tractament de residus i transport públic de viatgers. Cal que prestin determinats serveis, individualment o de forma associada (art. 26 LBRL)

85. Vid. en aquest sentit la Declaració de Heidelberg dels Alcaldes (signada, entre altres, pel de la ciutat de Barcelona). La Declaració va ser realitzada després de la celebració de unes Conferències a Heidelberg (7-9 de setembre de 1994) amb el títol *How to Combat Global Warming at the Local Level*, coorganitzades per la OCDE, entre d'altres. Els participants signataris volien deixar constància de la seva intenció de lluitar contra l'escalfament global i millorar el medi ambient; exigien dels governs nacionals que donessin suport als municipis en el seu camí per definir objectius apropiats per un sistema energètic sostenible, i donaven suport a l'objectiu de reduir les emissions de CO₂ en els sectors del transport i de l'energia. També s'obligaven a reduir les emissions CO₂ dins l'abast de les seves competències, com a mínim un 20% l'any 2005 respecte dels nivells de 1987, i establien una sèrie de passos com la creació d'inventaris locals de gasos, la promoció de les energies renovables etc.

cial constitucional concret dels ja reproduïts, l'exercici de les funcions normatives o executives que du a terme sobre qualsevol sector. Això és predicable així mateix de tota actuació dirigida a assolir els compromisos o, en general, que s'adreci a lluitar contra les causes o a minimitzar els efectes del canvi climàtic. També cal tenir present que, com acabem d'observar, pel que fa a una concreta matèria, podem estar sovint davant competències compartides entre Estat/ Comunitats autònomes, sense que càpiga rebutjar l'espai que pot ser omplert per part dels Ens Locals.

Simplement sobre la funció, per exemple, de legislar sobre la matèria ambiental, l'Estat disposa de la possibilitat d'establir normativa sobre els seus aspectes bàsics, però la comunitat autònoma pot desenvolupar, concretar, el que ja ha estat reglat per l'Estat en exercici legítim de les seves competències. No cal oblidar, tampoc, que la comunitat autònoma també disposa d'un altre marge d'actuació: pot innovar la reglamentació d'un sector, creant normes noves i incrementant el rigor contingut en la normativa estatal.

Hem pogut comprovar, doncs, com sobre algunes matèries específiques l'Estat no disposa de competències normatives, i també hem vist com, sobre d'altres, tampoc disposa de competències executives (li està vedat, per tant, que endegui una tasca autoritzatòria, inspectora, sancionadora o bé la creació i gestió de registres). Per a l'assoliment dels compromisos sobre canvi climàtic explicats (o per anar fins i tot més enllà d'aquests) són normalment diverses les funcions públiques implicades, i existeixen també una diversitat d'Administracions potencialment actuants.

El repte, doncs, no consisteix únicament –en matèria de canvi climàtic– en assolir els compromisos adquirits, sinó en aconseguir-los respectant les competències de les diverses Administracions, mitjançant l'adopció de mecanismes

efectius de col·laboració i cooperació interadministrativa i mitjançant una adequada organització administrativa. La complexitat de la matèria, la seva transversalitat i la multiplicitat de competències i administracions implicades no hauria de derivar en decisions centralitzadores, que segurament són temptadores i expeditives, sinó que necessàriament hauria de consistir en un exercici pràctic i complex del principi de subsidiarietat aplicable a la matèria ambiental i a les relacions interadministratives⁸⁶. I aquest és un esforç exigible a totes les Administracions Públiques, en tant que totes cal que actuïn i es relacionin d'acord amb el principi de lleialtat institucional, respectant l'exercici legítim de les seves competències per part de les altres administracions, i facilitant la necessària assistència, informació i cooperació quan la requereixin⁸⁷.

En aquest sentit, la pròpia Llei 30/1992, de Règim Jurídic de les Administracions Públiques i del Procediment Administratiu Comú (LRJAP, art. 4.5) fa una crida expressa a solucions participades i consensuades establint que: 5. *En las relaciones entre la Administración General del Estado y la Administración de las Comunidades Autónomas, el contenido del deber de colaboración se desarrollará a través de los instrumentos y procedi-*

86. La Tercera Comunicació Nacional comença l'apartat relatiu a les circumstàncies nacionals que es troben relacionades amb les emissions i absorció de gasos ambefecte d'hivernacle precisament esmentant la distribució competencial interna entre Estat i comunitats autònomes. No arriba a concretar com es distribueixen o cal distribuir les diverses funcions públiques a exercir sobre canvi climàtic entre l'un i les altres. *Tercera Comunicación Nacional*, p. 17-19.

87. En aquest sentit, vid. article 4.1 de la Llei 30/1992 (LRJAP): *Artículo 4. Principios de las relaciones entre las Administraciones Públicas.: 1. Las Administraciones públicas actúan y se relacionan de acuerdo con el principio de lealtad institucional y, en consecuencia, deberán: –respetar el ejercicio legítimo por las otras Administraciones de sus competencias; ponderar, en el ejercicio de las competencias propias, la totalidad de los intereses públicos implicados y, en concreto, aquellos cuya gestión esté encomendada a las otras Administraciones; –facilitar a las otras Administraciones la información que precisen sobre la actividad que desarrollen en el ejercicio de sus propias competencias; –prestar, en el ámbito propio, la cooperación y asistencia activas que las otras Administraciones pudieran recabar para el eficaz ejercicio de sus competencias.*

mientos que de manera común y voluntaria establezcan tales Administraciones. Cuando estas relaciones, en virtud del principio de cooperación, tengan como finalidad la toma de decisiones conjuntas que permitan, en aquellos asuntos que afecten a competencias compartidas o exijan articular una actividad común entre ambas Administraciones, una actividad más eficaz de los mismos, se ajustarán a los instrumentos y procedimientos de cooperación a que se refieren los artículos siguientes. Esos instrumentos a que se hace referencia a continuación en la misma norma son, precisamente, las Conferencias Sectoriales i d'altres òrgans de cooperació⁸⁸, els Convenis de col·laboració⁸⁹ i, per úl-

88. Cal dir que existeix actualment en funcionament una **Conferència Sectorial en matèria ambiental** (malgrat que no sabem que desenvolupi funcions fins a la data relacionades amb el Canvi Climàtic). D'acord amb l'article 5 de la LRJAP: «Los órganos de cooperación de composición multilateral y de ámbito sectorial que reúnen a miembros del Gobierno, en representación de la Administración General del Estado, y a miembros de los Consejos de Gobierno, en representación de las Administraciones de las Comunidades Autónomas, se denominan Conferencias Sectoriales. El régimen de cada Conferencia Sectorial es el establecido en el correspondiente acuerdo de institucionalización y en su reglamento interno (...) 5. Los acuerdos que se adopten en una Conferencia Sectorial se firmarán por el Ministro o Ministros competentes y por los titulares de los órganos de gobierno correspondientes de las Comunidades Autónomas. En su caso, estos acuerdos podrán formalizarse bajo la denominación de Convenio de Conferencia Sectorial. 6. Las Conferencias Sectoriales podrán acordar la creación de comisiones y grupos de trabajo para la preparación, estudio y desarrollo de cuestiones concretas propias del ámbito material de cada una de ellas».

89. Amb relació als **Convenis de Col·laboració**, cal estar a l'article 6 LRJAP: 1. La Administración General y los Organismos públicos vinculados o dependientes de la misma podrán celebrar convenios de colaboración con los órganos correspondientes de las Administraciones de las Comunidades Autónomas en el ámbito de sus respectivas competencias. 2. Los instrumentos de formalización de los convenios deberán especificar, cuando así proceda (los órganos que celebran el convenio y la capacidad jurídica con la que actúa cada una de las partes; la competencia que ejerce cada Administración; su financiación; las actuaciones que se acuerden desarrollar para su cumplimiento; la necesidad o no de establecer una organización para su gestión; el plazo de vigencia, lo que no impedirá su prórroga si así lo acuerdan las partes firmantes del convenio. El mateix article determina que a partir d'aquests convenis poden ser creats òrgans mixtes de vigilància i control; poden establir-se protocols generals d'orientació política sobre les actuacions de les Administracions i també crear-se societats mercantils o consorcis. L'establiment de convenis Estat/Comunitats autònomes ha estat decididament emprat en el sector ambiental pel que fa a residus, aigües etc..

tim, els Plans i Programes Conjunts⁹⁰. La totalitat d'aquestes eines, que són addicionals als instruments que puguin ser convinguts pel supòsit concret de què parlem per part de les diverses Administracions, contenen un potencial especialment idoni per prendre i implementar decisions sobre la lluita contra el canvi climàtic, en un context, com l'estatal en què ens movem, inevitablement interadministratiu. Possibiliten, totes elles, la creació d'òrgans de composició mixta de variada índole amb caràcter indefinit, òrgans que podrien servir directament a l'exercici de les competències que els puguin ser assignades sobre aquesta problemàtica. També, per últim, permeten adequadament la signatura de convenis específics (siguin convenis de Conferència sectorial o convenis de col·laboració), que no suposen mai la renúncia a les competències pròpies i que, requerint inexcusablement la publicació als diaris oficials, obliguen directament les administracions que en són part des del moment de la seva signatura.

90. La possibilitat de realitzar **plans i programes conjunts d'actuació** és prevista a l'article 7 LRJAP: 1. La Administración General del Estado y la Administración de las Comunidades Autónomas pueden acordar la realización de planes y programas conjuntos de actuación para el logro de objetivos comunes en materia en las que ostenten competencias concurrentes. 2. Dentro del respectivo ámbito sectorial, corresponde a las Conferencias Sectoriales la iniciativa para acordar la realización de planes o programas conjuntos, la aprobación de su contenido, así como el seguimiento y evaluación multilateral de su puesta en práctica. 3. El acuerdo aprobatorio de planes o programas conjuntos debe especificar, según su naturaleza, los siguientes elementos de su contenido: los objetivos de interés común a cumplir; las actuaciones a desarrollar por cada Administración; las aportaciones de medios personales y materiales de cada Administración; los compromisos de aportación de recursos financieros; la duración, así como los mecanismos de seguimiento, evaluación y modificación. 4. El acuerdo aprobatorio de un plan o programa conjunto, que tendrá eficacia vinculante para la Administración General del Estado y las Comunidades Autónomas participantes que lo suscriban, puede ser completado mediante convenios de colaboración con cada una de ellas que concreten aquellos extremos que deban ser especificados de forma bilateral. 5. Los acuerdos aprobatorios de planes o programas conjuntos son objeto de publicación oficial.

C1.4.2. Les actuacions realitzades fins el 2003

C1.4.2.1. Organització administrativa

La intrínseca transversalitat predicable de la problemàtica del canvi climàtic encaixa de forma difícil amb les estructures administratives més clàssiques de què disposen els Estats, que són bàsicament sectorials. Es podrà incidir i afectar sobre les causes i sobre els impactes del canvi climàtic des de multiplicitat d'òrgans públics, des dels quals exerceixen funcions sobre medi ambient, sobre agricultura, energia, transport etc. És habitual, doncs, que els diversos Estats, pel que fa al canvi climàtic, hagin assajat diferents fórmules d'organització administrativa des de les quals es pugui adequadament donar resposta a aquesta qüestió⁹¹, cercant superar així la fragmentació i manca de coordinació entre actuacions diverses i a diferents nivells que en res afavoreix, com intentàvem reflexionar en les pàgines anteriors, ni l'assoliment dels complexos objectius compromesos, ni tampoc l'adopció d'una estratègia ni la valoració correcta de l'esforç que s'està realitzant globalment.

En aquesta línia, hem de comentar que són fins a la data dos els òrgans els que han estat creats, per l'Estat espanyol, en relació exclusivament amb el canvi climàtic⁹²:

91. Són moltes les fórmules adoptades fins a la data. Així, per exemple Dinamarca, que disposa de la seva pròpia estratègia front el canvi climàtic –aprovada el 26 de febrer de 2003– la inclou dins d'una política estatal (que avui prioritza de forma important l'ús dels mecanismes flexibles) i que és coordinada des de la Divisió de Canvi Climàtic del Ministeri ambiental estatal. Aquesta Divisió cal que informi a la Secretaria danesa sobre reducció d'emissions per a l'assoliment dels compromisos derivats de Kyoto. Una altra via és la Comissió interministerial italiana per a la programació de caràcter econòmic (CIPE), que el 19 de desembre de 2002 va aprovar el seu Pla nacional (*Piano Nazionale per la riduzione delle emissioni di gas responsabili dell'effetto serra*). També val a dir que va ser creat així mateix, dins la Subcomissió interna pel desenvolupament sostenible del CIPE, un Comitè tècnic per a les emissions de GEH. I que sempre és escoltada la Conferència Estat/Regions quan es desitja afegir noves mesures a les contingudes a l'esmentat Pla. Vegeu http://www.minambiente.it/Sito/settori_azione/pia/progetti_cooperazione/kyoto/kyoto.asp

92. Sobre les seves funcions i tasques realitzades, vid. *Estrategia frente al Cambio Climático. Medio Ambiente y Políticas Intersectoriales. Actuaciones públicas en materia de medio ambiente*. Ministerio de Medio Ambiente (A: http://www.mma.es/info_amb/act_pub/index.htm).

En primer lloc cal esmentar el **Consell Nacional del Clima (CNC)**, creat mitjançant Real Decret 177/1998, de 16 de febrer, norma actualment substituïda pel Reial Decret 1188/2001, de 2 de novembre, que regula la seva nova composició i funcions⁹³.

El Consell Nacional és un òrgan de caràcter col·legiat, adscrit al Ministeri de Medi Ambient i presidit pel seu Ministre⁹⁴. Entre les seves funcions principals hi localitzem la d'elaboració i seguiment de la que serà l'Estratègia Espanyola front el Canvi Climàtic, estratègia a aprovar pel Govern estatal i eina sobre la qual retornarem posteriorment. També elabora propostes i recomanacions per definir polítiques i mesures de lluita front del canvi climàtic, impactes, estratègies de limitació de l'emissió de gasos etc.⁹⁵. Va elaborar i aprovar el 1999 un document marc anomenat *Políticas y medidas de lucha frente el cambio climático: un primer avance*⁹⁶. Entre les seves tasques futures hi trobem la d'establir un banc de dades sobre mesures de lluita contra el canvi climàtic, iniciativa d'ús públic que servirà també per fer un seguiment de l'Estratègia Espanyola front el Canvi Climàtic i perquè els representants al CNC puguin conèixer i compartir iniciatives i beneficiar-se mútuament de les experiències dels altres.

Pel que fa a la seva composició, cal dir que el Ple del CNC l'integren 55 membres⁹⁷ nomenats per

93. Reial Decret 177/1998, de 16 de febrer (BOE de 18 de febrer de 1998); Reial Decret 1188/2001, de 2 de novembre (BOE de 3 de novembre de 2001). Entre les dues normes també cal esmentar el Reial Decret 376/2001, de 6 d'abril, que especifica que la secretaria del CNC serà exercida, des de l'Oficina Espanyola de Canvi Climàtic, pel seu Secretari.

94. Aquesta Presidència ha estat confirmada per l'article primari del del Reial Decret 1477/2004, de 18 de juny, per l qual es desenvolupa l'estructura orgànica bàsica del Ministeri de Medi Ambient (BOE 19 de juny de 2004)

95. Vid. art. 2 Reial Decret 1188/2001, de 2 de novembre.

96. Boletín «Información de Medio Ambiente» núm. 68, diciembre 1998.

97. Article 5, Reial Decret 1188/2001, de 2 de novembre. Amb la seva nova composició, va començar a treballar el 29 d'abril del 2002

3 anys renovables: hi ha representants de 12 ministeris i actualment hi són representades amb un vocal totes les Comunitats autònomes. També hi ha 3 vocals de les entitats locals d'àmbit estatal amb més implantació, així com representació d'organitzacions empresarials, sindicats, comunitat científica, grups ecologistes, entre d'altres. Les sessions plenàries es desenvolupen un cop l'any com a mínim. A més del Ple, hi ha la Comissió Permanent, òrgan més executiu al qual correspon el seguiment ordinari de les funcions del CNC, que està previst que es reunirà un cop al semestre com a mínim⁹⁸. El mateix Reial Decret (art. 8) va preveure la possibilitat de crear grups de treball d'experts, amb composició multisectorial, possibilitat permanentment oberta sempre que els consideressin necessaris.

En segon lloc, ha estat creada l'any 2001, l'**Oficina espanyola de Canvi Climàtic**. La seva composició i estructura⁹⁹ va ser aprovada mitjançant l'Ordre de 17 de juliol de 2001. L'Oficina constitueix també un òrgan col·legiat que ha estat adscrit, fins fa poc, dins el Ministeri de Medi Ambient, a la Direcció General de Qualitat i Avaluació Ambiental, precisament la Direcció General competent per a l'elaboració de mesures que desenvolupen la política del ministeri sobre canvi climàtic. Des de juliol de 2003, s'integra en l'estructura Ministerial i gaudeix de nivell orgànic de Sotsdirecció General. Actualment depèn ja directament de la *Secretaria General para*

la Prevención de la Contaminación y del Cambio Climático del Ministeri¹⁰⁰, que supervisa les seves actuacions.

De les seves funcions, d'acord amb el Reial Decret 1477/2004, de 18 de juny, cal destacar¹⁰¹ que l'OECC realitza el seguiment de l'aplicació del CMCC i impulsa polítiques i mesures per a la seva correcta aplicació a Espanya. Assumeix la representació institucional del Departament sobre canvi climàtic en les trobades internacionals, i és el punt de contacte nacional amb el Grup Intergovernamental sobre Canvi Climàtic (IPCC). També assessora les diverses administracions públiques, col·labora amb les Comunitats autònomes en l'anàlisi de les repercussions ambientals del canvi climàtic en les matèries de la seva competència, i es relaciona i col·labora així mateix amb els diversos agents públics i privats.

També impulsa la informació, formació i sensibilització social¹⁰². Una altra important funció és que proposa la normativa i el desenvolupament dels instruments de planificació i administratius que possibilitin l'assoliment dels objectius establerts en matèria de canvi climàtic. La seva Secretaria, entre d'altres, té encomanada la tasca d'impulsar la implantació d'una xarxa de contactes en les Administracions, especialment d'àmbit estatal, amb competències en matèria d'energia, així com en institucions públiques i privades, per tal de col·laborar en iniciatives tendents a la lluita front el canvi climàtic. Aquest òrgan, és un important referent, malgrat que no tingui atorgades –com ha pogut comprovar-se– funcions decisòries ni d'emissió d'informes preceptius i/o vinculants.

98. D'acord amb l'article 6 del Reial Decret 1188/2001, de 2 de novembre, la Comissió Permanent està integrada per 1/3 part aproximadament dels membres del Ple. Pel que fa a l'àmbit autonòmic hi ha 4 representants que ja hi són al Ple, i un únic representant de les associacions d'entitats locals.

99. L'OECC va ser creada mitjançant la Disposició Addicional Cinquena del Reial Decret 1415/2000, de 21 de juliol, (BOE de 22 de juliol de 2000) quan aquell va ser modificat pel Reial Decret 376/2001, de 6 d'abril (BOE de 7 d'abril de 2001). Posteriorment, en desenvolupament, va ser aprovada l'Ordre de 17 de juliol de 2001 (BOE de 18 de juliol de 2001), que regula la seva composició i estructura, amb l'objectiu que tots els centres directius del Ministeri hi siguin representats; és a dir, els qui realitzen funcions relacionades amb Costes, Aigües, Monts, Qualitat i Avaluació Ambiental, Meteorologia i Relacions Internacionals (art. 1).

100. Vid. el Reial Decret 1000/2003, de 25 de juliol, pel qual es modifica el RD 1415/2000 i es desenvolupa l'estructura orgànica bàsica del Ministeri de Medi Ambient (BOE 178, de 26 de juliol).

101. Vid. el llistat de funcions establert a l'article 11 del Reial Decret 1477/2004, de 18 de juny, (BOE de 19 de juny de 2004)

102. En aquest sentit, realitza un programa conjunt col·laborant directament en iniciatives d'educació i sensibilització amb el CENEAM (Centre Nacional d'Educació Ambiental).

Ens interessa destacar, també, la tasca que a la pràctica du a terme l'Oficina amb relació a l'elaboració de les Comunicacions Nacionals que cal presentar en virtut dels articles 4 i 12 del CMCC, d'acord amb l'informació que ha de rebre prèviament dels diversos ministeris, Comunitats autònomes i Federació Espanyola de Municipis i províncies.

Per últim, cal dir que des de l'OECC han estat auspicats diversos grups de treball per tal que els ministeris i sectors afectats poguessin analitzar i discutir algunes de les iniciatives per enfortir la capacitat negociadora davant la UE, o bé identificar problemes i alternatives per afavorir la presa de decisió pública. En aquest sentit, segons ens comunica la pròpia OECC, en aquests darrers anys ha estat constituït un grup de treball interdisciplinari sobre aspectes científics del canvi climàtic¹⁰³, i tres més amb la Confederació Espanyola d'Organitzacions Empresariales (CEOE) i ministeris implicats:

- Grup de treball sobre la Directiva relativa la creació d'un mercat comunitari de drets d'emissió (per debatre internament per tal de conèixer quina és la posició dels agents i aconseguir el necessari consens.
- Grup de treball sobre els Mecanismes de Desenvolupament Net i Implementació Conjunta del Protocol de Kyoto (per proposar iniciatives i aprendre conjuntament¹⁰⁴).
- Grup de treball de l'Administració General de l'Estat y la CEOE sobre Anàlisi i Polítiques Sectorials. Aquest darrer pretén analitzar les possibilitats tecnològiques de reducció de les emissions i de polítiques així com mesures

103. Que ha elaborat el document *La investigación sobre el cambio climático en España: análisis de la situación y propuestas de mejora*.

104. Així, per exemple, a la reunió del 6 de març de 2002 d'aquest grup va ser acordat que s'endegaria una fase pilot espanyola de projectes de MDN (Mecanisme de Desenvolupament Net) i AC (Aplicació Conjunta), i s'elaboraria una guia per a la seva utilització.

concretes per actuar en els sectors específics. És per aquesta causa que han estat creats 16 subgrups de treball fins a juliol de 2003.

C1.4.2.2. Exercici de competències sobre el canvi climàtic (les funcions normatives i les funcions executives)

L'Estat espanyol participa, dins l'àmbit de Nacions Unides, en les reunions dels òrgans subsidiaris del conveni; també ho ha fet en les diverses reunions de la Conferència de les Parts (COP) del Conveni Marc, bé a títol individual, bé com a part de la delegació de la Comunitat Europea; així com en les diverses sessions del plenari del Grup Intergovernamental d'experts sobre Canvi Climàtic (IPCC) o treballant en l'elaboració dels informes que s'emeten sobre qüestions específiques dins dels grups de treball. Es pot dir el mateix pel que fa a l'àmbit europeu. Però el que ens preguntem en aquest punt és què ha estat fet dins l'àmbit intern.

En aquest sentit, pot començar-se dient que coneixem en bona mesura quin ha estat l'exercici de funcions realitzat per part de l'Estat en matèria de canvi climàtic quan analitzem el contingut de la Tercera Comunicació Nacional que ha estat presentada per Espanya en tant que Part del CMCC¹⁰⁵. S'hi especifiquen les circumstàncies nacionals que tenen a veure amb les emissions i amb l'absorció dels gasos amb efecte d'hivernacle¹⁰⁶. Es dona informació sobre els inventaris de gasos, i d'acord amb el Conveni Marc, s'esmenten les Polítiques i mesures ja en funcionament i les que es desitja endegar o consolidar en

105. Vid. el text complet de la *Tercera Comunicación Nacional* a http://unfccc.int/national_reports/anex_i_natcom/submitted_natcom/items/1395.php

També resulta d'interès una lectura del document posat a disposició del públic en el Ministeri de Medi Ambient *Actuaciones Públicas en materia de medio ambiente. Medio ambiente y políticas intersectoriales. Estrategia frente al cambio climático*, a: <http://www.mma.es/info_amb/act_pub/pdf/9_estrategia.pdf>.

106. Referint-se concretament a l'estructura del govern, perfil demogràfic, geogràfic, climàtic, econòmic i als sectors transport, indústria i construcció, residus, turisme, agricultura i boscos.

un futur¹⁰⁷. De forma resumida, en aquest document es fa referència a determinades eines, a més de les purament organitzatives, ja prèviament mencionades, que poden afavorir l'assoliment d'objectius sobre canvi climàtic. Cadascuna d'elles s'explica de forma separada pel que fa als sectors de l'energia¹⁰⁸, el transport¹⁰⁹, el comerç, l'àmbit institucional i el residencial¹¹⁰, la indústria¹¹¹, els residus¹¹² i els sectors agrícola¹¹³ i forestal¹¹⁴. A continuació, des de la Comunicació Nacional es realitza una projecció

(efecte global esperat en escenaris d'aplicació d'aquestes polítiques i mesures o de mesures més severes: «con medidas adicionales»). També és avaluada dins el corresponent apartat la vulnerabilitat i els efectes del canvi climàtic i mesures d'adaptació –però únicament pel que fa a recursos hídrics, zones costaneres i monts/bosc/agricultura. Finalment l'informe acaba, tal com ja hem esmentat, descrivint els esforços realitzats pel que fa a recursos financers i transferències de tecnologia, investigació i observació, i educació, formació i sensibilització del públic.

107. Una visió crítica del contingut d'aquesta Comunicació pot trobar-se a TABARA, D. 2003. *Spain: words that succeed and climate policy that fail*. *Climate Policy*. vol 3, núm. 1, p. 19-30. Tàbara considera que aquesta Comunicació encara no presenta un pla detallat quantificant l'impacte de les diverses mesures per reduir el creixement de les emissions (cap pel que fa a 2010, i únicament un 9 el 2005).

108. En el qual es destaquen les previsions contingudes a la *Ley del Sector Eléctrico*, al *Real Decret de Règim especial i al Plan de Fomento de las Energías Renovables 2000-2010*, aprovat pel Consell de Ministres el desembre de 1999 (que preveu un objectiu del 12% el 2010), així com d'altres mesures relatives a la generació elèctrica, a un Pla I+D+I energètic, i d'àmbit regional o local. Cal tenir també en compte que el març de 2001, el Ministeri de Medi Ambient va subscriure un *Conveni de Col·laboració amb la Comissió Nacional de l'Energia* per tal de donar impuls al desenvolupament sostenible en la planificació energètica cercant fomentar les energies renovables, potenciar la utilització racional dels recursos no renovables, que es limitessin les emissions etc.

109. S'hi fa referència als aspectes fiscals, a mesures reglamentàries i acords sobre vehicles i emissions; millora de l'eficiència energètica per millora de les infraestructures o per millora de les operacions. També són esmentades les millores relatives al foment de l'intermodalitat en el transport interurbà i les relatives al foment del transport col·lectiu i urbà.

110. En aquest punt, es fa referència al *Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques* dels edificis i a mesures amb relació a edificis nous i existents.

111. L'al·lusió es fa en aquest punt a la Iniciativa Profit per a investigació i desenvolupament tecnològic dirigit a disminuir la generació d'efluents i residus i la utilització d'energia; també al règim fiscal de foment de les inversions en actius per a la protecció del medi ambient.

112. Es declara com dins el *Pla Nacional de Residus Urbans 2000-2006* es pretén potenciar mitjans de transport alternatius i l'aplicació de la directiva de grans instal·lacions de combustió. També, la incidència que podrà tenir l'aplicació adequada de la legislació general de residus i la de residus d'envasos així com del RD 1481/2001, de 27 de desembre, que regula l'eliminació de residus mitjançant dipòsit en abocadors.

113. S'esmenta aquí quina és la situació pel que fa als gasos i determinades mesures correctores així com la voluntat de millorar la gestió de residus i la crema de restes de cultius al camp.

114. En aquest punt, es fa especial al·lusió al Pla Forestal Espanyol i a diverses mesures en funcionament (plans i programes).

A part de la informació esmentada, cal tenir en compte, a nivell estatal, l'anomenada *Estratègia Espanyola sobre el Canvi Climàtic*. Com ha estat esmentat, una de les funcions principals del Consell Nacional del Clima és l'elaboració, avaluació i seguiment d'una estratègia espanyola sobre el canvi climàtic a aprovar pel Govern estatal, seguint el mandat en aquest sentit exigit pel Reial Decret 1188/2001, de 2 de novembre, art. 2. Aquesta Estratègia ha de ser concretament *l'instrument de planificació necessari perquè les Administracions públiques i resta d'ens públics i privats interessats disposin d'un marc de referència on puguin quedar definits els àmbits i àrees sectorials en els quals cal adoptar mesures i polítiques per mitigar el canvi climàtic, paliar els seus efectes adversos i fer possible el compliment de compromisos internacionals adquirits per Espanya* (art. 3).

Malgrat que la seva gestació va ser difícil i la molt escassa participació de les Comunitats autònomes i Ens locals en el redactat final, sí que pot considerar-se que demostra, en qualsevol cas, la voluntat de disposar a nivell estatal d'un instrument compacte, menys sectorialitzat, que atorgui un enfocament global a una problemàtica en què urgeixen solucions contundents en uns moments en què en aquest estat se sobrepassa amb escreix el nivell d'emissions que garantirien l'assoliment dels compromisos internacionals i comunitaris europeus. A més, hem observat que molts dels aspectes localitzables en el seu contingut apareixen recollits en un docu-

ment amb rang normatiu, justament en el Reial Decret 1866/2004, de 6 de setembre, norma mitjançant la qual s'aprova el Pla Nacional d'Assignació de Drets d'Emissió 2005-2007

C1.4.2.3. Un apunt general relatiu a l'exercici de competències estatals a finals de l'any 2003

Afrontar, des qualsevol poder públic, la problemàtica del canvi climàtic constitueix un repte complex, això es indubtable, ja que, a diferència del que succeeix amb relació a molts altres fenòmens, té implicacions directes de caràcter econòmic, ambiental i social i, de la mateixa manera, incideix normalment en multiplicitat de sectors, com ara energia, residus, agricultura, transports, habitatge... Afecta, a més a més, com hem vist, tots els àmbits públics territorials i reclama l'establiment, en qualsevol cas, d'una programació a curt, mitjà i llarg termini. Aquesta és la conseqüència de l'assumpció d'uns compromisos que tenen un període determinat de venciment, unes concretes dates límit.

Aquestes circumstàncies, que conjuntament són poc comunes en la presa de decisió pública, tradicionalment més sectorialitzada, en res afavoreixen el procés decisonal o l'aplicació efectiva de les mesures que s'estableixin, el que exigeix, doncs, un esforç i una creativitat suplementaris. Conèixer totes aquestes qüestions obliga a actuar amb previsió. També hauria d'empènyer tot Estat a actuar, a actuar amb temps per ser-hi a temps.

En la mesura en que no es disposava encara, a nivell estatal espanyol, en finalitzar l'any 2003, d'una política pròpia, coherent i integradora per afrontar aquest fenomen, i essent el nivell d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle especialment alarmant, la situació era especialment greu perquè eren múltiples les exigències que reclamaven i encara reclamen una resposta pública enèrgica.

Es per això que es considera necessari disposar d'una política d'àmbit estatal pròpia, centrada i

orientada específicament a la realització d'actuacions sobre el canvi climàtic, omnicomprendiva dels diferents aspectes que integra, participada, consensuada, adaptada a les circumstàncies d'aquest Estat i per tant, a la seva organització territorial¹¹⁵, i capaç de possibilitar l'acompliment dels objectius en el moment en que siguin exigibles. Aquesta hauria de ser, per tant, una prioritat estatal¹¹⁶. Lluny quedarien les polítiques parcials sectorials que únicament constitueixen, a la fi, una simple suma d'iniciatives separades de les quals, com a màxim, es pot arribar a extreure alguna nota en comú i respecte aquelles de les quals simplement intuïm el seu potencial pel que fa al canvi climàtic.

Estem, doncs, davant un repte d'àmbit estatal del tot inexcusable i que és urgent. Urgeix la reflexió global, prendre opcions i actuar ràpidament i decididament. Molts dels objectius estan ja fixats, en virtut de normes internacionals i comunitàries, però cal dissenyar un camí precís, unes mesures i instruments concretes per assolir-los, que incloguin mecanismes de seguiment, control, verificació i actualització del procés. Cal

115. Entenem que és d'especial interès la resolució parlamentària del legislador d'Alberta (Canadà) de 26 de novembre de 2002, en la qual se sol·licita, per tal de donar suport al Pla Nacional de lluita front al canvi climàtic, que aquest es basi en 12 principis que són auspiciats des de les Províncies. De forma resumida, en destaquem: tots els canadencs han de tenir l'oportunitat de ser informats d'aquest Pla; el pla ha d'assegurar que a cap regió, indústria o sector se li demanin exigències injustes desproporcionades o poc raonables; cal que el pla respecti les competències de les províncies i territoris; cal que reconegui les reduccions de les emissions realitzades des de 1990; cal que possibiliti acords entre províncies i territoris i amb el govern federal; cal que doni suport a la innovació i nova tecnologia; el pla ha de mantenir la competitivitat de la indústria canadencs; Canadà ha de continuar sol·licitant que li sigui reconeguda l'exportació d'energies netes; i el pla cal que reconegui que els beneficis dels embornals agrícoles i forestals han de comptabilitzar-se en les províncies i territoris on aquests s'ubiquen (<http://www.gov.ab.ca/acn/200211/13555.html#principles>)

116. Són especialment significatives les paraules següents: *A escala nacional, la actividad institucional ha estado marcada por cuestiones coyunturales que han impedido abordar la cuestión del cambio climático con la prioridad que seguramente hubiera sido deseable*, extretes justament de la Memoria Medio Ambiente en España. 2000. Ministerio de Medio Ambiente, p. 252-253 (És consultable a http://www.mma.es/info_amb/estado_ma/memor/memoria00/cap4a6.pdf).

determinar i consensuar quins són els concrets actors institucionals i privats que hi són cridats, i què es demana exactament a cadascun d'ells (assignant-los, per tant, les respectives responsabilitats). Cal, per últim, que dins el procés d'elaboració i aprovació es persegueixi el consens, la transparència i que estigui obert a la participació.

Preconitzar una política d'àmbit estatal sobre canvi climàtic obliga, de forma prèvia, a justificar competencialment la intervenció en les matèries que directament o indirectament hi incideixen i respecte les quals han d'adoptar-se decisions, i també, pel que fa a l'àmbit competencial autonòmic, exigeix consensuar amb aquests ens els que li són propis.

C1.4.3. Els canvis des de 2004

L'any 2004 suposa sens dubte el tret de sortida per a l'adopció d'una política estatal decidida en matèria de lluita enfront del canvi climàtic. Eren molts els dubtes acumulats en els anys anteriors que comencen finalment esfumar-se. Per aquesta raó esdevé inexcusable atendre ara, sumàriament, quines són les novetats que ens està deparant aquest últim temps en l'exercici de competències estatals i autonòmiques en la tasca d'intervenció pública enfront del canvi climàtic. Separarem, com hem fet en epígrafs anteriors, entre les novetats en l'àmbit organitzatiu, i aquelles que fan referència a aspectes normatius i executius.

C1.4.3.1. Novetats en l'àmbit organitzatiu

Les novetats que en l'àmbit organitzatiu presenta aquest nou període són importants i en alguns aspectes podem observar que responen al que preconitzàvem en pàgines anteriors. A més del Consell Nacional del Clima i de l'Oficina Espanyola del Canvi Climàtic, ja esmentats, apareixen a partir d'ara nous òrgans dissenyats per donar cabuda a certa participació autonòmica.

Així, a la Llei 1/2005, de 9 de març, mitjançant la qual es regula el règim del comerç de drets

d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle (BOE de 10 de març de 2005), observem com es crea la **Comissió de Coordinació de Polítiques de Canvi Climàtic** (art. 3), òrgan de coordinació i col·laboració entre l'Administració General de l'Estat i les Comunitats autònomes. La seva creació ja havia estat avançada pel Reial Decret Llei 5/2004, de 27 d'agost, que de forma urgent regulava matèries tant necessitades d'una actuació pública decidida. La Comissió de Coordinació, en qualsevol cas, sembla que ha de constituir una peça clau en l'aplicació d'allò previst en el règim de comerç de drets d'emissió i en el compliment de les obligacions internacionals i comunitàries d'informació inherents a aquest. Un òrgan així, d'acord amb l'Exposició de Motius, *resulta imprescindible atesa la complexitat tècnica del règim d'autoritzacions i del seguiment d'emissors i la necessitat de col·laborar per tal de garantir la coherència en l'aplicació en tot el territori, tant en els sectors d'activitat inclosos en la Directiva com en els que no ho estan. A això s'afegeix la necessària col·laboració en relació amb el conjunt d'obligacions internacionals i comunitàries i pel que fa a la informació sobre polítiques i mesures adoptades per complir els compromisos en matèria de canvi climàtic.*

Les funcions que han estat assignades a aquesta Comissió de Coordinació són bàsicament de prevenció i reducció d'emissions, de seguiment del canvi climàtic i de foment o impuls de programes i actuacions. També establirà les línies generals d'actuació que hauran de seguir l'Autoritat Nacional designada per l'Estat espanyol pel que fa als mecanismes de projecte del Protocol de Kyoto, tot tenint en compte els criteris que estableixi el Consell Nacional del Clima.

Entre els vocals en correspon un a cada Comunitat Autònoma més les ciutats de Ceuta-Melilla, i un representant de les entitats locals. Es preveu una representació de l'Administració estatal, bastant equitativa si la comparem amb la representació autonòmica (d'un total de 19 membres, a més del President).

A més, cal esmentar que des de la propia llei, quan es regula aquesta Comissió, es fa una crida expressa a la col·laboració i cooperació futura entre l'Administració General de l'Estat i la de les comunitats autònomes en matèria de canvi climàtic, fonamentalment pensant en el subministrament d'informació sobre metodologies aplicables als diferents sectors, millores tecnològiques i en qualsevol altra aspecte que pugui ser rellevant a efectes de les autoritzacions d'emissió.

En aquest nou període també es crea una Comissió, amb l'objectiu clar que exerceixi com a **Autoritat Nacional** per tal d'aprovar els mecanismes previstos en el Protocol de Kyoto: projectes de desenvolupament net i d'aplicació conjunta. D'acord amb el Reial Decret Llei 5/2004, prèviament esmentat, la Comissió de què parlem era inicialment una Comissió interministerial. D'acord amb el redactat que apareix a la Llei 1/2005, aquesta Comissió perd aquell caràcter i amplia la seva representativitat. Estarà integrada per representants de l'Oficina Econòmica del President del Govern i els Ministeris d'Afers Estrangers i de Cooperació, d'Economia i Hisenda, Medi Ambient i Indústria, Comerç i Turisme, i també per un representant de les Comunitats autònomes competents escollit en la forma que elles mateixes acordin, aspecte que encara avui esta per determinar però que obre nous camins a la participació autonòmica en aspectes rellevants. Apuntem també que l'Autoritat Nacional estarà presidida pel Secretari General per a la Prevenció de la Contaminació i el Canvi climàtic, i que promourà la subscripció de convenis de col·laboració amb les comunitats autònomes per tal de fomentar i facilitar el desenvolupament dels mecanismes basats en projectes del Protocol de Kyoto. També es determina a la Llei 1/2005, que per tal de facilitar el desenvolupament dels mecanismes basats en els projectes, les comunitats autònomes podran crear centres que col·laborin amb l'Autoritat Nacional, als quals farem referència més endavant.

C1.4.3.2. Novetats en l'exercici de funcions estatals legislatives i executives, i previsible incidència sobre l'exercici de competències autonòmiques

Com hem pogut comprovar, quan es tancava l'any 2003 eren encara molts els reptes pendents a l'Estat Espanyol per poder complir vàlidament els diversos compromisos que havien estat assumits. És per això que a continuació seran resumits quins han estat els avenços més interessants que hem observat en els darrers mesos, fonamentalment centrats, com comprovarem, en l'aprovació de legislació d'incorporació de la Directiva comunitària 2003/87, de 13 d'octubre de 2003, per la qual s'estableix un règim per al comerç d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a la Comunitat. Esmentarem especialment el contingut essencial de la normativa amb rang de llei que ha estat aprovada per tal de regular el règim de comerç de drets d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle (inicialment, el Reial Decret Llei 5/2004, de 27 d'agost, convertit actualment en Llei 1/2005, de 9 de març) i també el Reial decret mitjançant el qual es du a terme l'aprovació del Pla Nacional d'Assignació de Drets d'Emissió. Ambdues normes van ser informades en el Consell de Ministres del passat 30 de juliol de 2004 i van ser elaborades per un grup interministerial, en el qual varen participar els Ministeris de Medi Ambient, Economia i Hisenda i Indústria, Turisme i Comerç. Durant la seva elaboració s'esmenta l'acord del Govern que s'han celebrat nombroses reunions amb tots els agents implicats. Els dos textos també han estat informats pel Consell d'Estat, Consell Econòmic i Social i han estat presentats davant el Consell Assessor del Medi Ambient, el Consell Nacional del Clima i la Conferència Sectorial del Clima. Són dues normes essencials, transcendents, en què es prenen les opcions polítiques més importants fins a la data. Pot considerar-se que ha estat suficient la participació de les comunitats autònomes en la seva elaboració? És aquest un aspecte interessant que ha de ser valorat després de conèixer els trets més significatius de les normes esmentades.

Tramitació normativa. Com hem vist, el 2002 es va iniciar el camí que portaria a la identificació dels sectors i agents implicats en matèria de canvi climàtic a Espanya per anar avançant en el consens del que haurien de ser les polítiques i mesures que podrien servir per mitigar aquesta problemàtica. Els anys 2003 i 2004, en el marc de la Directiva 2003/87, també s'ha continuat recollint informacions des de grups preparatoris ad hoc interministerials. Tot això ha cristal·litzat finalment en la incorporació de la Directiva europea 87/2003 mitjançant el Reial Decret Llei 5/2004, de 27 d'agost, norma que motivada amb raons d'urgència i amb ostensible retard va ser aprovada en el Consell de Ministres celebrat el 27 d'agost de 2004.

Després de la seva tramitació ordinària en les Corts Generals, el Reial decret llei ha passat a ser la Llei 1/2005, de 9 de març, per la qual es regula el règim de comerç de drets d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle. Apuntem també que mitjançant el Reial decret llei 5/2005, d'11 de març, de reformes urgents per a l'impuls a la productivitat i per a la millora de la contractació pública, se n'han modificat puntualment alguns preceptes.

En qualsevol cas, cal tenir present que amb Reial decret llei que la precedeix i també amb la vigent Llei 1/2005, de 5 de març, ja es prenen les grans opcions polítiques a adoptar en l'àmbit estatal per assolir els objectius compromesos. De forma sumària, és el Govern estatal qui estableix com s'aniran pantant els increments de les emissions, i es decideix que l'esforç addicional per complir es farà precisament el 2008-2012. Al final d'aquell període les emissions no hauran de sobrepassar les emissions de l'any 1990 més d'un 24%. El percentatge s'obtindrà sumant l'objectiu de limitació de Kyoto (14%) a l'estimació d'absorció per embornals (màxim d'un 2%) i els crèdits que es puguin obtenir al mercat internacional (7%).

Les **competències de l'Estat** per a l'aprovació de les normes esmentades. Aquestes opcions

tan transcendents, sota quin paraigua competencial han estat adoptades? D'acord amb la Disposició final segona de la Llei 1/2005 la normativa es dicta a l'empara de les competències exclusives estatals previstes en l'article 149.1.13 de la CE (bases i coordinació de la planificació general de l'activitat econòmica) i de l'article 149.1.23 de la CE (legislació bàsica sobre protecció de medi ambient), afegint-se que es realitza, aspecte especialment curiós, *sense perjudici de les competències d'execució que ostenten les comunitats autònomes en matèria de legislació de medi ambient*. Els mateixos títols competencials són utilitzats per l'Estat quan aprova el Pla Nacional d'Assignació de Drets d'Emissió mitjançant el Reial decret 1866/2004. En qualsevol cas, ressaltem que crida l'atenció que quan es regula aquest títol competencial s'esmenti únicament les competències executives de què disposen les Comunitats autònomes, en una dicció que podria interpretar-se que pretén evitar la creativitat legislativa autonòmica en els aspectes no normats per l'Estat. Sobta encara més el desafortunat esment quan el Reial decret llei que precedeix la Llei 1/2005 esmenta en aquest punt precisament les competències legislatives de les Comunitats autònomes per dictar normes addicionals de protecció (i quan encara consta la qüestió d'aquesta forma en les Exposicions de Motius de les dues normes). En aquest sentit, d'acord amb l'Exposició de Motius de la Llei 1/2005, la llei que s'aprova és una norma substancialment ambiental. Tant el seu objectiu, contribuir a la reducció de les emissions antropocèntriques amb efecte d'hivernacle, com el seu origen, els compromisos assumits d'acord amb el Protocol de Kyoto i la pròpia directiva, li atorguen ineludiblement aquest caràcter. En conseqüència, d'acord amb l'Estat, correspon invocar l'article 149.1.23 de la CE en tant que li reserva la competència exclusiva per dictar legislació bàsica sobre protecció de medi ambient, sense perjudici de les facultats de les Comunitats autònomes d'establir normes addicionals de protecció.

En virtut de tot l'anteriorment esmentat, a la norma observem com s'han regulat amb caràcter de legislació bàsica en matèria de protecció de medi ambient les autoritzacions d'emissió, les obligacions de seguiment de les emissions, de remissió d'informació i la verificació, salvaguardant, entenem des d'aquí, les competències autonòmiques de dictar normes de desenvolupament i aquelles que estableixin un nivell de protecció superior i, evidentment, les seves competències d'execució o gestió en matèria de medi ambient.

Però cal tenir present que d'acord amb l'Exposició de Motius de la Llei 1/2005, es determina també que Una vegada fixades les bases de caràcter substancialment ambiental d'aquests aspectes, no pot obviar-se que el mecanisme escollit per tal d'assolir l'objectiu de la reducció d'emissions, com és la creació d'un innovador mercat de drets d'emissió, té decisives conseqüències sobre sectors econòmics com ara l'industrial i l'elèctric, i afecta la presa de decisions empresarials com ara l'estratègia d'inversions, els seus nivells de producció, etc. En conseqüència, en aquesta dimensió entra també en joc la competència estatal per determinar les bases de la planificació general de l'activitat econòmica prevista a l'article 149.1.13 de la CE. Des d'aquesta perspectiva, i sota aquest títol competencial, el legislador considera que l'Estat es troba habilitat per establir les bases del règim jurídic dels drets d'emissió i el seu comerç; autoritzar les agrupacions d'instal·lacions; elaborar i aprovar el Pla Nacional d'Assignacions de Drets d'Emissió, instrument que planifica l'assignació de drets d'emissió en tot el territori nacional i adopta la metodologia per procedir a la seva assignació individualitzada; tramitar i resoldre els procediments d'assignació de drets d'emissió, per garantir que s'ajusti la suma global de drets assignats a cada instal·lació amb la quantitat total de drets que corresponen a l'Estat espanyol, així com l'aplicació homogènia de la fórmula de repartiment de drets continguts en el pla, i regular i gestionar el Registre Nacional de Drets d'Emissió.

Contigut material de la nova normativa. Es determina que les instal·lacions esmentades en la norma, i per al primer període a què es refereix el Reial Decret Llei 5/2004 (2005-2007) han de sol·licitar autorització d'emissió de gasos ambefecte d'hivernacle i també una assignació individualitzada de drets d'emissió. La sol·licitud cal que sigui formalitzada abans de 30 de setembre de 2004, malgrat que per a algunes instal·lacions podrà encara fer-se fins el 14 de maig de 2005. L'autorització serà exigible a partir de l'1 de gener de 2005. De la lectura del nou règim observem com les autoritzacions d'emissió relatives a les instal·lacions existents se sol·liciten i s'atorguen per l'òrgan competent que designi la comunitat autònoma en la qual s'ubiqui l'activitat, o si no n'hi ha, per l'òrgan competent autonòmic en matèria de medi ambient. Entre altres dades, en l'autorització caldrà establir l'obligació de lliurar al Registre Nacional de Drets d'Emissió, cada any, un nombre determinat de drets d'emissió. Quan s'haurà obtingut una autorització també caldrà que el titular de l'autorització lliuri a l'òrgan autonòmic competent un informe anual verificat abans del 28 de febrer, relatiu a les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle de l'any precedent, i l'òrgan autonòmic haurà de donar-hi la seva conformitat (validació). En aquest cas, haurà de procedir a inscriure-les en la corresponent taula del registre. La Comissió de Coordinació de Polítiques de Canvi Climàtic, ja esmentada, informa també necessàriament sobre com ha de portar-se a terme, en general, el procés de verificació esmentat. I no es pot oblidar que les Comunitats autònomes comuniquen al Registre Nacional de Drets d'Emissió les resolucions que adoptin sobre l'atorgament, modificació i extinció de les autoritzacions. D'altres aspectes també mereixen un apunt.

Així, esmentem que es possibilita l'obtenció d'una **autorització d'agrupació per a les instal·lacions que desitgin actuar de manera conjunta**. Aquesta autorització se sol·licita al Ministeri de Medi Ambient. És atorgada pel Consell de Ministres a proposta de Ministeris sectorials així

com de la Comissió de Coordinació de Polítiques de Canvi Climàtic. La resolució que s'adopti es comunica també, al Registre i a les Comunitats autònomes.

Es crea el **Registre Nacional de Drets d'Emissió**, que assegura la permanent actualització de la comptabilitat d'aquests drets. Serà accessible al públic, quedarà adscrit a l'Estat, al Ministeri de Medi Ambient, i es relacionarà amb l'administrador central designat per la Comissió Europea. Tots els drets que el Pla Nacional d'Assignacions preveu assignar seran expedits i inscrits en el compte d'havers de l'Administració General de l'Estat. Des d'aquest registre es transferiran al compte del titular de cada instal·lació els que li corresponguin d'acord amb el Pla. I pel que fa als drets assignats als nous entrants, tinguem en compte que seran transferits quan la Comunitat Autònoma comuniqui que la nova instal·lació ha entrat en funcionament.

Per últim, les **sancions per incompliment** d'aquesta normativa són imposades per les Comunitats autònomes a menys que s'hagi ocultat informació exigida per a l'assignació o s'hagi incomplert l'obligació de lliurar drets d'emissió, supòsits aquests en què s'imposen pel Consell de Ministres.

Instal·lacions regulades. El llistat concret de quines eren les instal·lacions incloses en l'àmbit d'aplicació de la normativa esmentada es va adoptar provisionalment mitjançant Resolució de 7 de setembre de 2004. Aquest va ser també un moment important. Per adoptar la decisió s'apunta que es van tenir en compte els resultats dels qüestionaris realitzats a les principals organitzacions corresponents al sector de generació elèctrica i sectors de l'Annex I de la Directiva, el Registre Estatal d'Emissions i fonts contaminants, establert conforme a la Decisió de la Comissió Europea 2000/479/CE; el Registre d'instal·lacions de producció d'energia en règim ordinari i en règim especial; i la base de dades de grans focus puntuals de l'Inventari Nacional

d'Emissions de Gasos a l'Atmosfera. Prèviament a la decisió es va sotmetre a informació pública i es va atendre a les corresponents al·legacions. El llistat d'instal·lacions es va convertir en definitiu una vegada va finalitzar el procediment d'assignació de drets establert en la normativa.

El Pla Nacional d'Assignació de Drets d'Emissió. La Directiva europea 87/2003/CE també exigeix l'aprovació per part dels Estats d'un Pla Nacional d'Emissions amb data límit de 31 de març de 2004. A Espanya ha estat aprovat el Pla Nacional d'Assignació de Drets d'Emissió (d'ara endavant, PNA) mitjançant el Reial Decret 1866/2004, de 6 de setembre, que s'aplicarà en el període previst en la Directiva: 2005-2007. Esmentem que el Reial decret 1866/2004 s'ha modificat parcialment a partir del Reial decret 60/2005, de 21 de gener, i també s'acosta una nova modificació abans del 31 de desembre de 2005, tal com es deriva del que estableix l'article 33 del Reial decret Llei 5/2005, d'11 de març.

Quins són els aspectes més interessants, als nostres efectes? El PNA s'aprova per Reial Decret, a proposta conjunta de diversos ministeris, i el seu contingut s'ha publicat en el BOE de 7 de setembre de 2004. Crida l'atenció com ha estat elaborat amb tota rapidesa pel Grup Interministerial de Canvi Climàtic (d'ara endavant, GICC) constituït el maig de 2004. Prèviament, des de 2002, s'esmenta en el text que s'ha vingut treballant amb els sectors industrials en la identificació de polítiques i mesures per mitigar el canvi climàtic, i s'han obtingut les dades disponibles i les característiques dels sectors inclosos i no inclosos en la Directiva. Durant el segon semestre de 2003 i primer semestre de 2004 s'han constituït diversos grups preparatoris ad hoc interministerials. Posteriorment, el GICC va preparar una proposta de criteris per elaborar el PNA, que després de ser aprovada per la comissió delegada del Govern per a assumptes econòmics i d'enviar-se a diverses entitats, organitzacions i sectors, ha estat sotmesa a informació pública. A aquest efecte, es va incloure en la web ministe-

rial el 8 de juliol de 2004 i se'n va publicar el corresponent anunci en el BOE. S'hi van poder enviar observacions fins el 19 de juliol. L'esborrany també es va lliurar llavors a associacions empresarials i a comunitats autònomes. Hem, de retenir, per tant, les dates de 8 de juliol a 19 de juliol, perquè molt o poc, tenen a veure amb les al·lusions a la participació autonòmica en l'elaboració d'aquests plans que apareixen en el Reial decret Llei 5/2004, de 27 d'agost, com a norma general.

D'acord amb la Llei 1/2005, de 9 de març, el PNA s'ha d'aprovar previ informe del Consell Nacional del Clima, i de la Comissió de Coordinació de polítiques de canvi climàtic, però aquestes vies per a la participació autonòmica han d'afectar les posteriors modificacions o els pròxims Plans. D'acord amb el Reial decret llei, de 27 d'agost, en una norma no aplicable com hem comprovat per al supòsit que esmentem, El Pla Nacional es devia haver aprovat a proposta de determinats Ministeris i prèvia consulta a les Comunitats autònomes almenys 18 mesos abans de l'inici del període corresponent. El text vigent ha estat aprovat a proposta dels Ministres de Medi Ambient, Economia i Hisenda i Indústria, Turisme i Comerç, però sense esmentar-hi en absolut les Comunitats autònomes.

Pel que fa al contigut del Pla, recordem que aquest fixa les bases per a l'assignació individual de drets per a totes les instal·lacions abans, es diu, que es posi en marxa el mercat internacional l'1 de gener de 2005. Es determina el nombre total de drets d'emissió que s'assignaran en el període que engloba. El PNA ha de basar-se en criteris objectius i transparents, i tenir en compte les al·legacions efectuades durant el procediment que ha dut a la seva aprovació. Pel que fa a la versió espanyola, opta per un repartiment de l'esforç en la reducció en els sectors de la Directiva, però també contempla d'altres mesures, a títol de proposta, que han de ser estudiades pels Ministeris corresponents en la matèria i que han de servir per reduir emissions de CO₂ en

sectors no afectats per la Directiva europea com són el transport, el residencial, el comercial, l'institucional, l'agrari i la gestió de residus.

Mitjançant el Reial Decret 60/2005, de 21 de gener, es modifica el PNA pel que fa fonamentalment a les instal·lacions de combustió amb potència tèrmica superior a 20MW. Es modifica per tal d'atendre allò apuntat des del Col·legi de Comissaris de la Comunitat Europea. A la llum també de les al·legacions rebudes sobre el llistat d'assignació individual de drets d'emissió, s'ha decidit incrementar l'assignació a instal·lacions existents, en detriment de les aplicables a nous entrants.

L'assignació individualitzada de drets d'emissió. S'efectuarà a sol·licitud de l'interessat, mitjançant resolució del Consell de Ministres, a proposta dels Ministres d'Economia i Hisenda, d'Indústria, Turisme i Comerç i de Medi Ambient, prèvia consulta a la Comissió de coordinació de les polítiques de canvi climàtic i tràmit d'informació pública. D'acord amb la Disposició Transitòria Segona de la Llei 1/2005, de 10 de març, la sol·licitud d'assignació de drets d'emissió l'ha de presentar el titular de la instal·lació al Ministeri de Medi Ambient (Director de l'Oficina Espanyola de Canvi Climàtic del Ministeri de Medi Ambient) abans del 30 de setembre de 2004, però es presentarà físicament davant la finestra autonòmica (l'òrgan autonòmic competent per tramitar l'autorització d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle). El sol·licitant haurà d'acreditar la fiabilitat de la documentació aportada, i pot acreditar-se, entre d'altres mitjans, mitjançant un certificat de la Comunitat Autònoma en el territori de la qual s'ubiqui la instal·lació. El silenci es considerarà negatiu si als tres mesos no s'ha produït decisió expressa.

Mitjançant publicació en el BOE núm. 285 de 26/11/2004 s'ha procedit a l'obertura del període d'informació pública per a l'assignació individualitzada de drets d'emissió mitjançant la Resolució del Secretari General per a la Prevenció de la

Contaminació i del Canvi Climàtic per la qual s'anuncia l'obertura del període d'informació pública per a l'assignació individualitzada de drets d'emissió. Al fer-se públic el llistat amb la proposta d'assignació individual de drets a les instal·lacions sol·licitants s'ha donat també un termini per presentar al·legacions. Es possibilitava l'enviament d'observacions a la OECC o a la Secretària General del Ministeri fins el dia 22 de desembre. El dia 3 de desembre es va presentar la proposta d'assignació a la Comissió. El Consell de Ministres ha aprovat el 21 de gener de 2005 l'assignació individualitzada definitiva de drets d'emissió per a les instal·lacions incloses en l'àmbit d'aplicació del Reial decret llei de 27 d'agost de 2004, així com els ajustaments tècnics requerits en el Reial decret del Pla Nacional d'Assignació de drets d'emissió de 2004. S'afirma que s'ha contrastat la consistència del llistat final d'instal·lacions incloses amb el que han aportat les Comunitats autònomes. Per la seva banda, en Consell de Ministres d'11 de març de 2005, s'afirma que el Govern ha desestimat la sol·licitud de 121 instal·lacions a les quals es deneguen drets d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle en el període 2005-2007, per tractar-se d'activitats no incloses en l'àmbit del Reial decret llei que regula el règim del comerç d'aquests drets, o per no superar els llindars definitius en l'esmentat text legislatiu, o per tractar-se d'una instal·lació que, fins i tot estant inclosa, es considera nou entrant o una instal·lació que ja no és operativa.

C1.5. Catalunya davant el Conveni Marc del Canvi Climàtic i el Protocol de Kyoto

C1.5.1. Els compromisos adquirits (remissió)

Els compromisos i obligacions que ha d'assumir l'Estat espanyol i que li són jurídicament exigibles en tant que Part al CMCC i al PK i, així mateix, en tant que Estat Membre de la UE, són també en bona part compromisos de Catalunya. Caldria, doncs, reproduir aquí tot allò que prèviament ha estat esmentat. Així, doncs, el fet que l'Estat sigui l'obligat formalment, que sigui el destinatari oficial de les diverses exigències ana-

litzades, no ha de fer desconèixer quines són les competències que per al seu assoliment adequat caldrà exercir per part de les comunitats autònomes. Esdevé necessari, doncs, i amb caràcter previ, determinar exactament de quines competències es gaudeix per part de la Generalitat. A partir d'aquí, l'objectiu d'aquest apartat consistirà en recordar quines són les actuacions realitzades a data d'avui des d'aquest àmbit territorial (siguin de caire organitzatiu, normatiu o executiu). Això ens permetrà en l'apartat final valoratiu determinar quins són els reptes que podrien ser vàlidament assumits dins el marc jurídic competencial que li és d'aplicació. En aquest sentit, pot entendre's com veurem que els tipus d'actuacions potencialment dissenyables sobre canvi climàtic i a realitzar des de Catalunya, són alineables bàsicament en dos fronts: El primer, fa referència directa a la possibilitat d'incentivar i garantir la participació de la Generalitat en les diverses decisions que pren l'Estat i que afectaran l'exercici de les seves competències sectorials que incideixen sobre el canvi climàtic. El segon es dirigirà ja a l'àmbit intern català, pel qual s'oferirà un ventall d'actuació pròpies que, de forma exemplificativa i sense ànim d'exhaustivitat, podrien ser endegades.

C1.5.2. Les competències de la Generalitat de Catalunya

L'òptica subestatal (autonòmica i local) és habitualment del tot necessària per a l'assoliment efectiu de compromisos sobre canvi climàtic¹¹⁷, i sovint ha demostrat ser, en el dret comparat, especialment activa i innovadora. Com és conegut, indústria, energia, transport, agricultura,

117. Segons notícia del 10 de setembre de 2003 que ens ofereix el Departament de Medi Ambient de la Generalitat, Catalunya acaba de participar en el Seminari sobre Desenvolupament Sostenible organitzat per la Conferència de les Regions Perifèriques i Marítimes d'Europa (que agrupa més de 200 regions europees) a la Bretanya francesa. La proposta catalana presentada ha estat aprovada, i un dels punts centrals del document ha estat la necessitat de coordinació de les polítiques regionals en els temes més importants com són el canvi climàtic, ús eficient de l'aigua o biodiversitat. <http://mediambient.gencat.net/cat/inici.jsp>.

infraestructures i fonamentalment, medi ambient, entre d'altres, són aspectes habitualment presents a les agendes públiques de les comunitats autònomes, tot derivant-se directament del marc constitucional i estatutari. La Generalitat de Catalunya gaudeix, com es comprovarà a continuació, d'un ventall important de competències d'aquesta índole que li permeten actuar sobre les causes i efectes del canvi climàtic, amb possibilitat per tant d'adoptar una política pròpia sobre aquesta problemàtica. Caldrà en qualsevol cas parar atenció a quines són les competències de què disposa amb caràcter exclusiu i quines les compartides (és a dir, quins són els límits que ha de respectar la Generalitat i en quines matèries, i sobre quines funcions serà necessari establir mecanismes de col·laboració interadministrativa amb l'Estat per a l'assoliment d'objectius sobre canvi climàtic). Els títols competencials que apareixen a l'Estatut d'Autonomia de Catalunya (EAC) més rellevants a aquests efectes són els següents:

a) La Generalitat de Catalunya disposa de competència exclusiva sobre les matèries següents (articles EAC):

7. Investigació (sense perjudici del que disposa, pel que fa l'Estat, l'article 149.1.15 CE).
9. Ordenació del territori i del litoral, urbanisme i habitatge.
10. Monts, aprofitaments i serveis forestals, vies pecuàries i pastures, espais naturals protegits i tractament especial de zones de muntanya (d'acord amb allò que disposa el 149.1.23 CE)
12. Turisme.
13. Obres públiques que no tinguin la qualificació legal d'interès general de l'Estat o la realització de les quals no afecti una altra comunitat autònoma.
14. Carreteres i camins l'itinerari dels quals passi íntegrament per territori de Catalunya.

15. Ferrocarrils, transports terrestres, marítims, fluvials i per cable; ports, heliports, aeroports i Servei Meteorològic de Catalunya (sens perjudici d'allò que disposen pel que fa l'Estat, l'article 149.1.20 i 21)

16. Aprofitaments hidràulics, canals i regadius, quan les aigües corrin íntegrament per dins de Catalunya; instal·lacions de producció, distribució i transport d'energia, quan aquest transport no surti del seu territori i el seu aprofitament no afecti una altra província o comunitat autònoma (sens perjudici pel que fa l'Estat, de l'article 149.1.25CE)

17. Pesca en aigües interiors, cria i recollida de mariscs, aqüicultura, caça i pesca fluvial i lacustre.

b) La Generalitat de Catalunya disposa (en el marc de la legislació bàsica de l'Estat) de competències de desenvolupament legislatiu de la legislació estatal i de competències executives (d'aplicació) sobre les matèries següents (art. 10 EAC):

5. Règim miner i energètic.

6. Protecció del medi ambient, sens perjudici de les facultats de la Generalitat per establir normes addicionals de protecció.

7. Ordenació del sector pesquer.

c) La Generalitat és competent per a l'execució de la legislació de l'Estat en les matèries següents, sobre les que, per tant, no exerceix funcions normatives (art. 11 EAC):

8. Ports i aeroports amb qualificació d'interès general, quan l'Estat no se'n reservi la gestió directa.

9. Ordenació del transport de mercaderies i viatgers que tinguin llur origen i destinació dins el territori de la comunitat autònoma.

10. Salvament marítim i abocaments industrials i contaminants a les aigües territorials de l'Estat corresponents al litoral català.

d) Per últim, cal també tenir present que d'acord amb les bases i l'ordenació de l'activitat econòmica general i la política monetària de l'Estat, i d'acord amb allò establert als articles 131 i 149.1.13 CE, correspon a la Generalitat, la competència exclusiva de les matèries següents (art. 12 EAC):

1. Planificació de l'activitat econòmica a Catalunya.
2. Indústria¹¹⁸
3. El desenvolupament i execució a Catalunya dels plans establerts per l'Estat per a la reestructuració de sectors industrials.
4. Agricultura i ramaderia.
5. Comerç interior.
7. Sector públic econòmic de la Generalitat, en tot allò que no sigui tractat en altres normes d'aquest Estatut.
12. La Generalitat participarà, igualment, en la gestió del sector públic econòmic estatal, en els casos i activitats que correspongui.

Malgrat el fet que aquests aspectes competencials són els que presenten més interès, seran esmentats així mateix en aquest capítol altres preceptes de l'Estatut d'Autonomia que poden habilitar determinades actuacions de la Generalitat en matèria de canvi climàtic.

C1.5.3. Les actuacions realitzades fins el 2003

Si a les pàgines anteriors han estat esmentades les competències de que disposa la Generalitat de Catalunya i que li permeten iniciar actuacions per lluitar contra el canvi climàtic, a continuació es comentarà quines són les iniciatives

118. Sense perjudici d'allò que determinin les normes de l'Estat per raons de seguretat, sanitàries o d'interès militar, normativa relativa a indústries que estiguin sotmeses a la legislació de mines, hidrocarburs i energia nuclear. Queda reservada a la competència exclusiva de l'Estat l'autorització per a transferència de tecnologia estrangera.

realitzades fins a l'actualitat a dos nivells. En primer lloc, les de caire estrictament organitzatiu, i en segon, les iniciatives concretes de caire normatiu i executiu.

C1.5.3.1. Organització administrativa

Les actuacions públiques a realitzar sobre canvi climàtic són i han de ser coherents amb la transversalitat que li és tan característica. En tant que incideixen en diversos sectors, es habitual per tant que siguin també diversos els departaments i d'altres òrgans els que hagin de ser cridats a desenvolupar aquestes tasques, amb menor o major incidència.

A Catalunya, en general, la problemàtica del canvi climàtic ha estat en els darrers anys vinculada a les funcions que es desenvolupen des del Departament de Medi Ambient, fonamentalment per referència a les tasques que li han estat assignades amb relació a la tutela de la qualitat de l'aire¹¹⁹ i el clima. La creació, el 1998, del Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de Catalunya¹²⁰ (CADS) com a òrgan de participació, de consulta i d'assessorament del Govern de la Generalitat en relació amb les polítiques i actuacions que tinguin incidència sobre el medi ambient i el desenvolupament sostenible¹²¹, feia preveure que també gaudiria de cert

119. Amb relació al canvi climàtic, vegeu http://www.gencat.net/mediamb/caire_i.htm i també, http://www.gencat.es/mediamb/cc/estrategia_cat.htm

120. DECRET 311/1998, d'1 de desembre, de creació del Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de Catalunya, modificat pel Decret 256/2000, de 4 de juliol

121. El CADS (art. 2 del Decret 311/1998) assessora sobre les directrius generals de les polítiques amb repercussions sobre el medi ambient (MA) i el desenvolupament sostenible (DS); assessora i informa sobre els projectes normatius i els instruments de planificació territorial i sectorial que se li proposin per raó de la seva incidència sobre el MA i el DS. També pot formular propostes sobre actuacions per a l'ordenació, la defensa i la millora del MA en el marc d'un DS, amb l'objectiu d'impulsar un creixement econòmic respectuós amb el MA. El CADS també pot proposar mesures en l'àmbit de l'educació ambiental per promoure la implicació, la conscienciació i la sensibilització dels sectors econòmics i socials en la protecció i la millora del MA, i proposar actuacions per a l'impuls de la investigació científica en l'àmbit del medi ambient i per a la defensa dels valors ambientals.

protagonisme, i que podria orientar les seves actuacions vers aquesta problemàtica. El CADS, que gaudeix d'autonomia funcional, emet informes i propostes (de caire no vinculant) i s'adscriu al Departament de la Presidència. Cal també tenir present el Servei Meteorològic de Catalunya, atès que d'acord amb la Llei 15/2001 de 14 de novembre, de Meteorologia (Article 4.2 q), exerceix entre d'altres la funció d'estudiar i analitzar el canvi climàtic a Catalunya i participar i col·laborar en les recerques que sobre aquesta matèria a porten a terme diversos grups a Catalunya.

Dins la Generalitat de Catalunya localitzem així mateix un parell d'iniciatives concretes d'àmbit organitzatiu, l'origen de les quals es troba directament vinculat amb la lluita contra el Canvi Climàtic.

Així, pel que fa a l'àmbit de la recerca, ha estat creada la Xarxa Temàtica del Canvi Climàtic, amb l'objectiu de posar en contacte els agents que treballen sobre els diferents aspectes relacionats amb l'investigació del canvi climàtic¹²². També vol ser una eina per donar a conèixer el fenomen del canvi climàtic, i permetre la coordinació de les diferents actuacions que es desenvolupen a Catalunya en aquest sentit. La Xarxa facilitarà informació per definir polítiques d'actuació. Per tal de fomentar la col·laboració entre els grups de recerca que conformen aquesta Xar-

xa, es va obrir una convocatòria d'ajuts específics per a l'any 2002¹²³.

Justament amb l'informe del CADS al Govern L'Aportació de Catalunya al Desenvolupament Sostenible¹²⁴, es mostra, en el seu darrer punt, com el CADS i el Departament de Medi Ambient tenen la voluntat de realitzar properament un estudi sobre els efectes del canvi climàtic a Catalunya que finalitzaria el 2003, amb la participació de la Xarxa Temàtica de Canvi Climàtic i altres experts en diferents àmbits, amb l'objectiu de donar una visió àmplia i rigorosa de quins poden ser els impactes, la vulnerabilitat, la mitigació i adaptació del país a aquest fenomen en els propers anys¹²⁵. També s'esmenta l'elaboració d'una futura Estratègia Catalana de Lluita contra el Canvi Climàtic, que afectarà l'actuació de diversos departaments del Govern.

Com a òrgan col·legiat interdepartamental i per tal de facilitar la coordinació i l'impuls de programes i polítiques, mitjançant Decret 198/2003, de 26 d'agost¹²⁶, va ser creada la Comissió Catalana de Canvi Climàtic, adscrita al Departament de Presidència de la Generalitat. Les seves funcions es concreten¹²⁷ en l'establiment de les relacions institucionals necessàries per a la coordinació de les diverses actuacions contra el canvi climàtic i la minimització dels seus efectes; i també en impulsar programes i polítiques en aquesta matèria, en el marc d'actuació dels diferents departaments. La Comissió és presidida pel conseller en cap, i en són vicepresidents els consellers dels departaments de Medi Ambient, de Treball i Indústria, i de Comerç, Turisme i Consum. Els vocals, amb rang de director gene-

122. La Xarxa està participada per la Generalitat i les universitats, i agrupa els científics més rellevants que treballen en aquest camp. Els seus objectius concrets, d'acord amb el que apareix a <http://www.gencat.es/mediamb/aire/xtccc.htm>, són:

- Disposar d'informació respecte les causes, l'evolució i els efectes del canvi climàtic a Catalunya.
- Valorar l'origen de les emissions dels gasos que provoquen el canvi climàtic a fi de definir polítiques orientades a la seva reducció.
- Donar una eina per facilitar la comunicació entre els diferents agents que a Catalunya desenvolupen tasques d'investigació en relació amb el canvi climàtic.
- Facilitar la divulgació dels estudis que s'efectuïn respecte al canvi climàtic.
- Coordinar i potenciar la investigació científica sobre el canvi climàtic.

123. Ordre 114/2002, de 25 de març, per la qual s'aproven les bases reguladores del ajuts destinats a projectes d'investigació sobre el canvi climàtic i es convoquen els corresponents a l'any 2002 (DOGC 15/04/2002)

124. *L'Aportació de Catalunya al Desenvolupament Sostenible: La proposta Catalana*. CADS, maig 2002.

125. CADS, op. cit, punt.3.8.

126. DOGC núm. 3963, de 8 de setembre de 2003.

127. Article 2 del Decret 198/2003, de 26 d'agost.

ral, pertanyen a diversos departaments de la Generalitat¹²⁸.

C1.5.3.2. Exercici de competències sobre el Canvi Climàtic: funcions normatives i funcions executives

A continuació esmentem les actuacions ja realitzades i les iniciatives i polítiques més imminents que estan desenvolupant-se per part de la Generalitat de Catalunya amb relació al canvi climàtic, tot distingint entre funcions pròpiament normatives dins l'àmbit parlamentari català, i d'altres que són exercides des del Govern¹²⁹.

1) Funcions normatives exercides pel Parlament de Catalunya

- Aprovació de la Llei 6/2001, de 31 de maig, d'ordenació ambiental de la il·luminació exterior per a la protecció del medi nocturn (DOGC 3.407, de 12 de juny de 2001). L'objectiu és combatre la contaminació lumínica mitjana, la regulació de les instal·lacions, aparells i instrumental d'il·luminació exterior i interior.
- Aprovació de la Resolució 191/V, mitjançant la qual el Govern és instat a ajustar la seva actuació als principis que deriven del Protocol de Mont-real i als principis que deriven del Conveni sobre el Canvi Climàtic, amb les modificacions que s'hi vagin fent (05.11.1996; BOPC 106, pàg. 7.779).
- Aprovació de la Resolució 584/V, sobre l'avaluació de les emissions de gasos que causen l'efecte d'hivernacle i les fonts que les originen (08.06.1998; BOPC 296, pàg. 23.787). El Govern de la Generalitat hi és instat a:

- a) Avaluar les emissions de gasos que causen l'efecte d'hivernacle directament i indirectament, i les fonts principals que les originen.
- b) Elaborar una estratègia catalana de canvi climàtic que estableixi el conjunt de mesures en l'àmbit de les emissions de l'ús d'energies del transport i de la gestió ambiental aplicables a Catalunya, i oferir col·laboració als ajuntaments perquè, puguin assumir el paper que han de tenir com a administració més propera al ciutadà i com a ens més dinàmics en la salvaguarda i defensa del Medi Ambient.

2) Iniciatives de la Generalitat de Catalunya

- Aprovació del Decret 174/2002, d'11 de juny, regulador de la implantació de l'energia èolica a Catalunya per fomentar la implantació i l'ús generalitzat de les energies netes i renovables a Catalunya. Realització del Mapa d'Implantació ambiental de l'energia èolica a Catalunya.
- Creació de la Xarxa Temàtica contra el canvi climàtic, per a la investigació i informació, tal com ha estat esmentat, però també per dinamitzar, per impulsar programes específics de recerca.
- Creació d'una pàgina web sobre canvi climàtic¹³⁰.
- Conveni de col·laboració amb la Universitat de Santa Clara (Cuba) signat pel Departament de Medi Ambient de la Generalitat per dur a terme un projecte en matèria de protecció de l'ambient atmosfèric per determinar un índex de qualitat de l'aire a la província de Villa Clara.

Els compromisos de la Generalitat, en la realització d'una Estratègia pròpia sobre canvi climàtic¹³¹ integren, entre d'altres, les següents inicia-

128. Economia i Finances, Medi Ambient, Política Territorial i Obres Públiques; Agricultura, Ramaderia i Pesca, Treball, Indústria, Comerç i Turisme; Universitats, Recerca i Societat de la Informació. També es vocal el secretari del Govern, que actuarà com a secretari de la Comissió.

129. Aquestes darreres poden localitzar-se a: http://www.gencat.es/mediamb/cc/estrategia_cat.htm#xarxa

130. http://www.gencat.es/mediamb/cc/estrategia_cat.htm#xarxa

131. L'opció de disposar d'una estratègia singular a nivell de Comunitat Autònoma ha estat presa també per Andalusia, País Vasc, Galícia, València..

tives¹³², que caldrà desenvolupar en un futur però que en qualsevol cas ja està previst que siguin incorporades a l'Agenda 21 de Catalunya:

- Establiment de l'Inventari permanent d'emissions de CO₂, realitzat per la Generalitat, mitjançant el Departament de Medi Ambient, per tal de controlar els principals focus emissors de gasos amb efecte d'hivernacle. En desenvolupament, cal esmentar la realització de Mesures de concentració de fons de CO₂.
- Reforç dels Programes d'eficiència energètica al sector industrial i domèstic, mitjançant el Departament de Treball:
 - Programa de gestió de l'energia a la indústria
 - Programa d'acció municipal i sector terciari
 - Programa d'actuació en el sector del transport
 - Programa d'actuació en el sector de l'habitatge i els equipaments educatius i assistencials.
- Conjuntament amb el Departament de Medi Ambient, es potenciaran les auditories internes dels principals sectors industrials potencialment emissors de CO₂ (químic, ciment, de refineries, vidrier, ceràmic...).
- Adopció del Programa de recuperació i tractament dels gasos d'abocador, mitjançant el Departament de Medi Ambient, per tal de fomentar de la recuperació i el tractament dels gasos amb efecte d'hivernacle que es produeixen en els abocadors i basses de purins (principalment, el metà).
- Foment dels biocombustibles com a recurs energètic, especialment d'aquells que procedeixen del reciclatge de residus.

- Realització del Programa d'impuls i foment de la mobilitat sostenible pel que fa als sistemes urbans i un planejament territorial que incorpori els criteris de la mobilitat sostenible, penalitzant els escenaris que augmentin la mobilitat obligada. Es farà promoció del transport públic i d'altres sistemes de transport que permetin reduir les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle.
- Desenvolupament del Programa d'educació ambiental i informació i per a la sensibilització dels diferents agents econòmics i socials amb incidència sobre el volum d'emissions de CO₂.
- Iniciació del Programa de foment de vehicles sense benzina amb l'objectiu de generalitzar el seu ús en les flotes professionals de mobilitat intraurbana (entre d'altres, els taxis, els serveis de missatgeria, etc.), mitjançant el Departament de Medi Ambient. Així mateix, amb la col·laboració de l'ATM (Autoritat del Transport Metropolità) i del Departament de Treball i Indústria, es desenvoluparà una experiència pilot d'incorporació dels motors de combustió d'hidrogen.

Per últim, cal esmentar en que també ha estat manifestada la voluntat d'encarregar un estudi estratègic sobre com Catalunya podria assumir els sistemes de compravenda d'emissions que proposa el Protocol de Kyoto, i es desitja estudiar-ne l'aplicabilitat i quins serien els seus condicionants. D'aquesta forma, la Generalitat es posiciona ja de forma favorable a la utilització d'aquest instrument.

Havent analitzat ja les competències de la Generalitat i com han estat exercides fins a la data, únicament ens resta ara procedir a una anàlisi valorativa, explicitant quins reptes són encara pendents i proporcionant propostes de millora.

C1.5.4. Els canvis des de 2004

Les importants novetats que hem ressaltat pel que fa a l'Estat en el punt C1.4.2 (els canvis des de 2004), ofereixen un nou rol predicable de les

132. http://www.gencat.es/mediamb/cc/estrategia_cat.htm#xarxa

comunitats autònomes en la implementació de la política estatal de lluita contra el canvi climàtic, i això indubtablement afecta de manera directa la Comunitat Autònoma de Catalunya.

En primer lloc cal tenir en compte, també a nivell autonòmic, el que suposa la nova organització administrativa estatal. Hem vist que en els nous òrgans tenen certa cabuda, com hem esmentat, les Comunitats autònomes. Ens referim a la Comissió de Coordinació de Polítiques de Canvi Climàtic, que sembla que ha d'exercir importants funcions, així com a l'Autoritat Nacional, que disposa d'un representant escollit per les comunitats autònomes. Caldrà veure, per valorar adequadament aquesta participació, quina és la periodicitat de les reunions i com s'articula i quin pes té a la pràctica la intervenció autonòmica catalana en els nous ens. També serà interessant d'observar com es desenvolupen les relacions interautonòmiques per adoptar decisions en el si d'aquests nous ens.

També des de la normativa estatal recent són assignades a les comunitats autònomes funcions executives de caràcter divers, i la comunitat autònoma cal que hi estigui preparada. Un resum d'aquestes i com han estat assignades en l'àmbit de Catalunya es dedueix del dictat del Decret català 390/2004, de 21 de setembre, d'assignació de competències en matèria d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle. D'aquesta norma cal destacar que la Generalitat, concretament la Direcció General de Qualitat Ambiental del Departament de Medi Ambient i Habitatge, és l'òrgan competent per a la tramitació i atorgament de l'autorització d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle, així com per a la seva modificació i extinció. Així mateix, correspon a la Direcció General de Qualitat Ambiental validar, a proposta de la Ponència Ambiental, l'informe verificat de les emissions que presenten els titulars d'instal·lacions incloses en l'àmbit del Reial Decret Llei 5/2004, de 27 d'agost, (actualment Llei 1/2005). També tramita a l'òrgan competent les sol·licitud d'assignació de drets d'emissió per al

període de vigència del Pla Nacional d'Assignació, així com les sol·licituds d'exclusió temporal previstes en la disposició transitòria quarta del Reial decret Llei 5/2004, de 27 d'agost. El Decret determina, per últim, i pel que fa a Catalunya, quins són els òrgans concrets que hauran d'exercir la potestat sancionadora.

Pel que fa a l'exercici efectiu d'aquestes funcions, apuntem que des del Departament de Medi Ambient i Habitatge es determina que el balanç final a Catalunya d'aquest període és el següent: S'han rebut fins avui 167 sol·licituds d'autoritzacions d'emissió; s'han resolt l'Autoritat Nacional, en àmbits com els següents: fomentar col·laboració entre sector públic i favorablement 152.

Més enllà de les funcions executives, en aquest període de més activitat, s'espera encara que aparegui una Estratègia catalana de lluita front el canvi climàtic, així com la creació d'algun centre que col·labori amb l'Autoritat Nacional. No hem d'oblidar que la mateixa Llei estatal 1/2005, determina que per tal de facilitar el desenvolupament dels mecanismes basats en els projectes, les Comunitats autònomes podran crear centres que col·laborin amb privat, facilitar i coordinar interessos empresarials en els mecanismes basats en projectes, conèixer i aplicar programes de la Unió Europea, Nacions Unides o d'altres mecanismes multilaterals, editar materials, servir de punt de contacte i efectuar una valoració prèvia en relació amb els projectes presentats per empreses que estiguin ubicades en l'àmbit territorial de la Comunitat Autònoma i proposar-los, en el seu cas, a l'Autoritat Nacional.

C1.6. Conclusions desenvolupades i propostes d'actuació

C1.6.1. Els reptes estatals pendents. Alguns interrogants i propostes de millora.

Del que ha estat esmentat a les pàgines anteriors podem deduir que són encara molts els reptes pendents per a l'Estat en matèria de lluita contra

el canvi climàtic, atès que l'Estat espanyol és Part en el Conveni Marc sobre Canvi Climàtic, és Part també en el Protocol de Kyoto i és membre de la Unió Europea, organització implicada amb un indubtable lideratge i intensitat en la lluita contra el canvi climàtic. Analitzats els compromisos contrets a nivell internacional i comunitari, les competències de què disposen les autoritats centrals i autonòmiques i la forma en què aquestes han estat exercides, ha arribat el moment de recapitular, recordant quines actuacions cal preparar i endegar, i quin calendari específic els és d'aplicació. Començarem fent referència a l'àmbit organitzatiu intern, parant atenció, posteriorment, a les actuacions concretes que estan encara pendents de realitzar.

C1.6.1.1 Organització administrativa i repartiment competencial

Com ha estat avançat en apartats anteriors, el fet que en matèria de canvi climàtic siguem davant de l'exercici de diverses funcions públiques par part d'una diversitat d'Administracions actuants, incorpora un repte addicional. Cal complir els compromisos adquirits mitjançant una adequada organització administrativa interna, però cal potenciar també l'establiment o la utilització de mecanismes efectius de col·laboració i cooperació interadministrativa entre l'Estat i les altres Administracions Públiques, per tal que es garanteixi l'exercici de les concretes competències per part de les Administracions que les tenen assignades.

Pel que fa a l'àmbit intern estatal, observem com l'Administració de l'Estat espanyol ha preparat la seva estructura interna per a l'adopció d'actuacions en matèria de canvi climàtic mitjançant dos òrgans: el Consell Nacional del Clima i l'Oficina Espanyola del Canvi Climàtic¹³³. El

133. Sobre el qüestionament de la creació de l'Oficina Nacional del Clima i el CNC i les poques funcions que li han estat assignades, vid. la posició del Senador Gatza Gaetxebarria en compareixença del President de l'OECC (Director General de Qualitat i Avaluació Ambiental del Ministeri) al Senat, al Diari de Sessions del Senat, 13 de maig de 2002, núm. 274. p. 8.

CNC és un òrgan adscrit al Ministeri de Medi Ambient. Ens interessa recalcar que aquest elabora recomanacions, propostes (alguna d'elles d'entitat com la que serà l'Estratègia espanyola) i que és un òrgan col·legiat on hi són representats diversos ministeris i també les comunitats autònomes i ens locals, entre d'altres. Per la seva banda, l'Oficina Espanyola del Canvi Climàtic és integrada directament en l'estructura del Ministeri. Hi són representades les diverses direccions generals ministerials i exerceix funcions de seguiment, representació, impuls, assessorament¹³⁴, informació i col·laboració en aquesta matèria, expressament amb les comunitats autònomes.

L'organització administrativa estatal per al canvi climàtic comença a ampliar-se. En qualsevol cas, des de 2003 considerem necessari que des de l'òptica autonòmica, l'administració estatal sigui organitzada d'acord amb els criteris següents:

- Determinació i clarificació dels òrgans estatals als quals han estat assignades les funcions de caràcter decisorí.
- Garantia que es té en compte la transversalitat interministerial *que de facto* es produeix, i que les decisions a prendre siguin adoptades i aplicades pels diversos òrgans ministerials.
- Elevació del rang que la matèria reclama en l'àmbit decisonal, institucionalitzant per exemple una Comissió Interministerial pel

134. És habitual l'existència d'òrgans assessors en matèria de lluita contra el canvi climàtic en el dret comparat. Una gran part dels estats han creat òrgans assessors en matèria de lluita contra el canvi climàtic. Vid. per exemple a Alemanya el Consell Assessor Alemany en Canvi Climàtic (*Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU)*), que avalua els coneixements científics amb relació a tots els aspectes del canvi climàtic global en context interdisciplinari del sistema terrestre i formula recomanacions per l'actuació política. També incentiva el coneixement de les implicacions del canvi climàtic a tots els nivells per mitjà de l'educació i les relacions públiques

Canvi Climàtic¹³⁵ o una Comissió Delegada del Govern¹³⁶. Aquestes opcions a més de demostrar un més seriós compromís estatal, possiblement facilitarien l'assoliment dels objectius. Disposem ja a més a més d'alguna iniciativa d'aquesta índole en el dret comparat¹³⁷. També

hem insistit en què cal formular així mateix una segona qüestió essencial: la necessitat de vehicular correctament les relacions interadministratives que inevitablement es produeixen (i que encara caldrà intensificar en un futur) en matèria de canvi climàtic, com a conseqüència del repartiment competencial i de les funcions que exerceix cadascun dels nivells.

135. Exemples són les Comissions Interministerials creades sobre Ciència i Tecnologia; de Coordinació administrativa, per a la catàstrofe del Prestige... A aquesta comissió interministerial podria ser-li enllaçat un òrgan de caire més executiu i permanent. És, per tant, un instrument amb potencialitat, per a la matèria que esmentem. Un altre exemple n'és la *Comisión Interministerial de la Sociedad de la Información y de las Nuevas Tecnologías*, que va ser creada via Real Decret 1289/1999, de 23 de juliol. És una comissió adscrita a un ministeri concret; a les reunions assisteixen els Secretaris d'Estat, i veiem fins i tot com en la seva norma de creació són esmentades les relacions amb les comunitats autònomes. Així, segons l'article 6: *Sin perjuicio de las competencias propias de los diferentes Departamentos ministeriales, la Comisión Interministerial estudiará las fórmulas más apropiadas de colaboración con las Comunidades Autónomas con el fin de acordar con cada una de ellas propuestas de actuaciones conjuntas para el desarrollo de la sociedad de la información y de las nuevas tecnologías en España*. Cal recordar, per últim, que ja va existir temporalment una comissió interministerial per a assumptes de medi ambient des de 1972 fins a 1987 (creada pel Decret 888/72, de 13 de abril i suprimida pel 1327/87, de 16 de octubre).

136. L'opció de les Comissions Delegades del Govern també podria ser interessant en matèria de canvi climàtic. Com són i el seu funcionament ens ho explica la Ley 50/1997, de 27 de novembre, del Gobierno: *Artículo 6. De las Comisiones Delegadas del Gobierno. 1. La creación, modificación y supresión de las Comisiones Delegadas del Gobierno será acordada por el Consejo de Ministros mediante Real Decreto, a propuesta del Presidente del Gobierno. 2. El Real Decreto de creación de una Comisión Delegada deberá especificar, en todo caso: a) El miembro del Gobierno que asume la presidencia de la Comisión; b) Los miembros del Gobierno y, en su caso, Secretarios de Estado que la integran; c) Las funciones que se atribuyen a la Comisión; d) El miembro de la Comisión al que corresponde la Secretaría de la misma. 3. No obstante lo dispuesto en el apartado anterior, podrán ser convocados a las reuniones de las Comisiones Delegadas los titulares de aquellos otros órganos superiores y directivos de la Administración General del Estado que se estime conveniente. 4. Corresponde a las Comisiones Delegadas, como órganos colegiados del Gobierno: a) Examinar las cuestiones de carácter general que tengan relación con varios de los Departamentos Ministeriales que integren la Comisión; b) Estudiar aquellos asuntos que, afectando a varios Ministerios, requieran la elaboración de una propuesta conjunta previa a su resolución por el Consejo de Ministros. c) Resolver los asuntos que afectando a más de un ministerio, no requieran ser elevados al Consejo de ministros. d) Ejercer cualquier otra atribución que les confiera el ordenamiento jurídico o que les delegue el Consejo de Ministros.*

137. En aquest sentit, cal estar, dins Itàlia, a la Comissió Econòmica. Pel que fa a Brasil, a la Comissió Interministerial del Canvi Global del Clima, que va ser creada el 7 de juliol de 1999. Vid <http://www.mct.gov.br/clima/espain/comunic/cimgc.htm>.

Però també cal tenir en compte els avenços ralitzats. En un primer moment ha estat garantida, com hem comprovat, la representació autonòmica en un òrgan col·legiat com és el CNC. Però n'hi ha prou, amb això? Tal com ha estat avançat en l'anterior apartat, en aquells supòsits en què calgui prendre decisions conjuntes (Estat/comunitats autònomes), bé perquè els assumptes afecten competències compartides o bé perquè conjuntament es podrà actuar de forma més eficaç, les relacions de cooperació entre ambdós poders públics poden desenvolupar-se, entre d'altres, mitjançant Conferències Sectorials¹³⁸, Convenis de col·laboració o per via de la realització de Plans i Programes Conjunts d'Actuació, fórmules totes elles previstes a la legislació bàsica del règim jurídic administratiu. Es garantiria d'aquesta manera la lleialtat institucional, mitjançant la cooperació mútua i la vinculabilitat per als signataris de les diverses decisions que es preguessin. Aquesta tendència observem que comença a ser la línia que observem en les nor-

138. Tractar qüestions des d'una Conferència sectorial sembla especialment idoni. Existeix la possibilitat que, des d'aquestes puguin ser acordades polítiques intersectorials, signar convenis de col·laboració entre les diferents Administracions afectades i aplicar de forma coordinada mesures complementaries o de caire sectorial. En aquest sentit la conferència sectorial de medi ambient ja funciona com a òrgan de cooperació entre l'Administració general de l'Estat i les comunitats autònomes, que permet estudiar i resoldre qüestions plantejades en l'aplicació de la política ambiental i en especial les relacionades amb la Unió Europea. Val a dir, per únicament posar un exemple que podria ser extrapolable a l'aprovació de l'Estratègia estatal sobre canvi climàtic, com va ser a la Conferència Sectorial de Medi Ambient on va ser deliberat l'esborrany de Pla Nacional de Residus Urbans, prèviament a la seva aprovació per part del Consell de Ministres.

mes aparegudes des de 2004. Tant la Comissió de Coordinació de Polítiques sobre Canvi Climàtic com la mateixa Autoritat Nacional, responen a models organitzatius que atendrien el que des aquí abonem. Cal veure, en tot cas, quin es el seu funcionament real en la pràctica, la periodicitat de les reunions, i el pes que finalment assoleixen les posicions defensades per les comunitats autònomes.

El fet que la primera circumstància nacional peculiar (relacionada amb l'emissió i absorció de gasos) esmentada per l'Estat espanyol en la seva Tercera Comunicació Nacional a la CMCC sigui precisament la complexa distribució territorial de parcel·les de poder públic a nivell intern¹³⁹, obliga a actuar coherentment i en conseqüència. Cal establir i mantenir instruments com els esmentats. Simplement perquè l'aplicació de les disposicions convencionals recollides al Conveni Marc i al Protocol de Kyoto per part de l'Estat espanyol ha de dur-se a terme d'acord amb les previsions constitucionals¹⁴⁰. El respecte a l'exercici legítim per part de totes les administracions de les seves competències obliga doncs, en una matèria com aquesta, a integrar les comunitats autònomes en el procés de presa de decisions sobre matèries que estan sota la seva competència i sobre les quals després elles mateixes hauran d'exercir funcions normatives o executives. Aquest plantejament general hauria de reflectir-se en la presa de les grans decisions d'àmbit polític intraestatal que cal adoptar encara sobre el canvi climàtic, i això malgrat que sovint, indubtablement, tinguin una important component discrecional.

Però el plantejament que acaba de realitzar-se no hauria d'actuar únicament *ad intra*. Caldria, coherentment, possibilitar la seva participació en el moment en què es forma la voluntat estatal, es a dir la seva posició a defensar davant els organismes internacionals i europeus que intervenen front al repte del canvi climàtic. Malgrat que estiguin obrint-se vies noves, com hem comentat, i que els sigui donada una gran benvinguda, cal reconeixer també que la participació de les comunitats autònomes ha estat pràcticament inexistent en el moment de prendre les més importants decisions: signatura i ratificació de compromisos internacionals, elaboració i aprovació de la normativa amb rang de llei reguladora del règim de comerç d'emissions i del Pla Nacional d'Assignació de Drets d'Emissions.

C1.6.1.2. Compromisos contrets i actuacions pendents.

Havent esmentat en epígrafs anteriors els compromisos contrets per l'Estat espanyol, és necessari que a continuació recordem quines actuacions cal inexcusablement endegar, és a dir, quines exigències concretes resten pendents a l'Estat espanyol. Prèviament cal recordar quines competències són a l'abast de l'Estat, perquè d'aquesta manera coneixerem si cal exercir-les des de l'àmbit estatal o autonòmic. Hem observat, en aquest sentit, com l'Estat disposa d'un important ventall de competències que li permeten exercir funcions en el camp del canvi climàtic. Per començar, gaudeix d'exclusiva sobre les «relacions internacionals», tal com estableix l'article 149.1.3 de la Constitució. Però, d'acord amb la jurisprudència constitucional, això no ha de suposar una extensió del seu àmbit competencial a totes les activitats relacionades amb el seu desenvolupament, l'execució o l'aplicació dels tractats internacionals (en aquest cas relatives al canvi climàtic) i en particular, de les normes comunitàries de dret derivat. És per això que cal conèixer i hem d'estar en qualsevol cas a les competències sectorials ja esmentades i que justifiquen les actuacions. Hem observat, en l'anàlisi del bloc constitucional, que veritablement res-

139 vid. Tercera Comunicació Nacional, p. 17

140 Tal i com ha indicat el Tribunal Constitucional (TC), «cuando las disposiciones de los Tratados o demás normas comunitarias reconocen poderes a los Estados miembros o les imponen obligaciones en orden a la aplicación del derecho comunitario, la cuestión de saber de qué forma el ejercicio de estos poderes y la ejecución de las obligaciones pueden ser confiadas por los Estados miembros a determinados órganos internos depende únicamente del sistema constitucional de cada Estado miembro». STC 80/1993, de 8.3.1993, FJ.3

ta encara un important espai per a l'actuació autonòmica en matèria de canvi climàtic.

Fixada aquesta premissa, podem procedir ja a recordar les actuacions que encara manquen per dur a terme, deixant de banda en aquest moment el *desideratum* general ja referit que seria especialment convenient establir i disposar d'una veritable política d'àmbit estatal sobre el canvi climàtic, consensuada i participada¹⁴¹, de la forma que hem exposat en els pàgines anteriors, i que cal que l'Estat continuï amb la tendència encetada l'any 2004 d'afrontar decididament els reptes pendents. Sota aquest context general, i pel que fa ara a aspectes concrets que es necessari afrontar, recordem que l'Estat espanyol, dins el CMCC:

- 1a) Ha de continuar l'elaboració i ha de mantenir al dia l'inventari nacional de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. D'altra banda, es troba pendent d'elaboració el programa nacional (i els regionals/autonòmics) per reduir-ne els efectes, en els termes que exigeix el Conveni Marc.
- 1b) D'acord amb la Tercera Comunicació Nacional, queda una bona tasca a fer en els propers anys pel que fa al desenvolupament, la promoció i la difusió de tecnologies per al control, la reducció i la prevenció de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, i en potenciar la gestió sostenible, així com pel que fa al foment de la investigació i el desenvolupament tecnològic, l'intercanvi d'informació i l'educació en matèria de canvi climàtic. Caldria que l'Estat procedís a la reorientació i la prioritització d'accions adequades en matèria de canvi climàtic pel que fa

als recursos i contribucions financeres que realitza al Fons pel Medi Ambient Mundial o a d'altres Institucions (i via crèdits FAD) entre d'altres. En qualsevol cas, a nivell unilateral, és ben clar que fóra desitjable disposar una política coherent pròpia dirigida a proporcionar recursos financers addicionals als països en desenvolupament i l'accés a la tecnologia i als coneixements que se'n deriven d'aquesta.

- 1c) És necessari reforçar l'aspecte de l'adaptació als impactes del canvi climàtic en el context de les polítiques socials, econòmiques, ambientals, etc. d'àmbit estatal. Actualment veiem com s'està fent referència exclusiva als recursos hídrics, al litoral i als boscos i l'agricultura i simplement es llisten les mesures que podrien possibilitar una adaptació als impactes negatius que es pateixen.
- 1d) Amb relació a les polítiques i mesures nacionals l'adopció de les quals exigeix el CMCC cal que l'Estat espanyol extremi aquest aspecte, concentrant-se en el seu disseny i implementació eficaç. Això ho ha de fer amb urgència, més quan es té en compte el nivell d'emissions que es produiran a nivell estatal d'acord amb «l'escenari tendencial» (és a dir, si les polítiques i mesures actualment previstes són aplicades), i també d'acord amb «l'escenari d'estalvi base», és a dir, el que extrapola els resultats si fossin aplicades «mesures addicionals», en qualsevol cas més intenses o severes. És clar que els objectius quantificats compromesos no seran fàcils d'assolir per la via iniciada fins ara.
- 1e) Pel que fa al deure d'informar a la Conferència de les Parts al Conveni mitjançant les Comunicacions Nacionals, l'Estat ha de continuar trametent les comunicacions dins el període legalment establert.

Cal esmentar també alguns aspectes específics que afecten l'actuació de l'Estat espanyol en rela-

141. En aquest sentit, destaquem el Programa del Regne Unit sobre el canvi climàtic, que presenta interès addicional perquè es especialment curós amb les competències dels diversos territoris. Justament la seva secció 4 -de les 5 que conté- està destinada a l'anàlisi del que s'està duent a terme en matèria de lluita contra el canvi climàtic per part d'aquelles administracions, una a una (Section 4: Action by the devolved administrations. És consultable a <http://www.defra.gov.uk/environment/climatechange/cm4913/index.htm>).

ció amb el PK. El Protocol ja ha entrat en vigor, cal preparar-se adequadament per als diferents objectius. Això exigeix que l'Estat adopti un paper proactiu i no reactiu. En aquesta línia trobem moltes i interessants iniciatives que estan desenvolupant-se en el dret comparat en els darrers cinc anys. Es per això que són necessàries les actuacions públiques tendents a facilitar la correcta posada en funcionament d'aquest instrument internacional i a assajar la seva aplicació futura. Aquesta actitud proactiva serà beneficiosa no únicament per al propi Estat, sinó també per a les institucions internes que estaran involucrades en la seva implementació, així com per als actors socials i econòmics afectats per les mesures. Doncs bé, en tant que el contingut obligacional del PK és en molts punts coincident amb el CMCC, ressaltem a continuació únicament els aspectes que considerem que requereixen un especial recordatori:

2a) Cal que l'Estat espanyol elabori, apliqui i actualitzi programes nacionals (i recordem que on s'escaigui, regionals) per facilitar i millorar la preparació i la qualitat dels inventaris nacionals d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. Reiterem també que el PK, com el CMCC, exigeix l'elaboració de programes nacionals i, on s'escaigui, regionals, per reduir-ne els seus efectes. Per tant, seria convenient que l'Estat espanyol comencés a elaborar-los, adequant-los al contingut mínim prefixat al mateix PK, i realitzés informes periòdics sobre la seva aplicació, preparant-se d'aquesta manera per al moment en què calgui trametre'ls ja formalment als òrgans del Conveni i del Protocol.

2b) En el primer període de compromís (2008/2012), l'Estat espanyol ha d'assolir els objectius quantificats que han estat establerts a l'annex B del PK. Dins el tractament privilegiat que té l'Estat espanyol respecte a d'altres països de la Unió Europea en virtut de la «bombolla europea», se li exigeix que, arribat l'any 2008, no se superin les emis-

sions de gasos amb efecte d'hivernacle en un 15% per sobre dels nivells de l'any 1990. Com que actualment ja s'ha superat, i amb escreix, aquest percentatge de forma alarmant, sembla difícil que l'Estat espanyol pugui, tal i com exigeix el PK, demostrar l'any 2005 un avenç concret en el compliment dels compromisos contrets. Aquest és un gran repte, un repte urgent per comparació¹⁴², més si tenim en compte que ja som a l'any 2005.

A més, s'ha de recordar que per al seu assoliment, com exigeix el CMCC, cal que siguin adoptades i aplicades efectivament mesures i polítiques internes, estatals, d'acord amb les respectives circumstàncies de l'Estat (s'ofereix un ventall no limitat sobre el que discrecionalment l'Estat podrà decidir, quines eines considera que li serà millor utilitzar, és a dir, instruments clàssics, de *command and control*, econòmics i de mercat: prohibicions, controls, subvencions, tributs, transaccions sobre permisos, acords voluntaris...). Això implica que calgui decidir, d'acord amb les circumstàncies estatals d'organització territorial, com s'adoptaran les decisions que prioritzaran unes o altres mesures.

D'acord amb la normativa emesa per l'Estat el darrer any, sembla que s'ha perdut l'oportunitat de crear una «bombolla» en la qual, al *modus* comunitari, es repartissin en general els percentatges d'emissions a assolir per part de les diferents comunitats autònomes, de tal forma que aquestes escollissin, a nivell intraautonòmic, el camí (mesures) a seguir. Fins l'any 2004 podíem fins i tot plantejar-

142. Podem comparar-ho per exemple amb l'èxit assolit fins ara pel Programa Estatal del Canvi Climàtic i pel mecanisme del comerç d'emissions al Regne Unit. Des de Nacions Unides es considera que es va molt per endavant de les exigències de Kyoto, atès que està arribant-se al 20 per cent de reduccions (BBC News World Edition, 8 de maig del 2003. Recentment, la ministra britànica de medi ambient ha anunciat que el Regne Unit es proposa reduir les emissions de CO₂ un 60 % el 2050 (http://news.bbc.co.uk/go/pr/fr/-/2/hi/uk_news/3009315.stm).

nos la possibilitat de crear una «bombolla sectorial» (és a dir, una «bombolla» que donés joc a les comunitats autònomes però per matèries, referides a les matèries de competència autonòmica). També quedava potser més obert l'espai a omplir directament amb les relacions interautonòmiques. La decisió importada ha estat adoptada ja a nivell estatal (amb un pes relatiu autonòmic). Ens referim a la determinació de la tipologia de mesures que cal emprendre, els sectors concrets afectats, i el pes pes quantificat obligacional que s'assigna a cadascun d'ells. I ha estat decidit també que un gran pes en la tasca executiva correspon a les comunitats autònomes. És ben clar que d'aquestes decisions, múltiples i transcendents, depenen en gran mesura les actuals polítiques autonòmiques sobre canvi climàtic.

2c) Tant les normes internacionals com comunitàries autoritzen, de forma complementària a les polítiques i mesures nacionals, la utilització dels mecanismes de flexibilitat (Mecanisme de Desenvolupament Net, Aplicació Conjunta i Comerç Internacional d'Emissions). El recurs a aquests mecanismes per part d'entitats públiques o privades implica atendre necessàriament molts factors que reclamen també una resposta precisa i urgent¹⁴³: actors públics i privats que participaran en els mecanismes, i tipologia d'intervencions possibilitades a cadascun; si es desitja començar amb programes pilot (en base únicament a la directiva o també directament en base al PK) i de quines caracterís-

tiques; i respecte a quins concrets projectes, activitats, gasos amb efecte d'hivernacle, quantitats, i participació en el procés de certificació/verificació; establir els registres necessaris i determinar des de quines administracions són gestionats...). Ha començat a iniciar-se a nivell estatal una política per a la detecció i possible prioritització de projectes i de països¹⁴⁴ amb els quals interactuar en el marc dels mecanismes AC i MDN¹⁴⁵. I en aquesta política afavoridora de l'utilització d'aquests mecanismes ha de comptar-se també amb les comunitats autònomes: a nivell estatal ha de quedar clar quin paper correspon a les relacions interautonòmiques, o com podrien utilitzar-se, per determinades comunitats autònomes, mecanismes flexibles suplementaris als que hagin estat decidits per a l'àmbit estatal; és a dir, respondre a la pregunta de si poden existir (i com) mecanismes flexibles dissenyats per les comunitats autònomes, per a funcionar *ad intra* o *ad extra*. Sembla que en els darrers mesos està treballant-se de forma intensa en aquesta línia i que ben aviat començarem a veure'n resultats.

2d) D'acord amb el PK, com a màxim un any abans que comenci el primer període de compromís (2008-2011), caldrà haver establert un sistema nacional que permeti l'estimació de les emissions antropogèniques per les fonts i l'absorció pels embornals de tots els gasos amb efecte d'hivernacle no inclosos

143. D'acord amb notícies recents, esta sent ultimada a Espanya el primer fons per a la inversió en projectes de reducció de GEH. Ha estat dissenyat per la consultora CO₂ Spain, amb el broker especialitzat CO₂e.com i de Baker & McKenzie. Es pretén que es concentri amb mecanismes flexibles de projecte (AC, MDN). Durant la primera fase el fons serà estructurat consultant amb els participants inicials, incloent entitats públiques i privades que esperen implicar-se en l'esquema de comerç d'emissions de la directiva europea ETS. Vegeu: <http://www.co2e.com/common/faq.asp?intPageElementID=34566&intCategoryID=29>

144. Vid, en aquest sentit, l'exemple de Dinamarca, que recentment ha signat un acord amb Ucraïna, segons notícia apareguda el 22 de maig del 2003. Es tracta d'un acord de col·laboració que obre el camí, entre d'altres, a inversions en projectes d'eficiència energètica en el marc de projectes d'Actuació Conjunta.

145. Si més no, cal analitzar amb certa atenció experiències com la de l'Estat italià. Així, Itàlia ha signat un acord el mes de maig amb el Banc Mundial pel que fa al *Community Development Carbon Fund*, al qual realitzarà contribucions per 7,7 milions de dòlars USA i rebrà reduccions certificades d'emissions, tot amb relació a petits projectes a dur a terme en països en desenvolupament. Aquest fons del Banc Mundial comença a ser operatiu (notícia apareguda el 16 de juliol de 2003 a: <http://www.pointcarbon.com/article.php?articleID=2333>).

al Protocol de Montreal (art.5.1 PK. Cal recordar en darrer terme les tasques que li són exigides a l'Estat Espanyol, en tant que membre de la Comunitat Europea i les que resten pendents de realitzar). En aquest sentit:

2d.1) En primer lloc, com ja ha estat esmentat, l'Estat ha de disposar d'un l'Inventari d'Emissions Contaminants, de manera que, en el marc de les accions d'implementació de la directiva IPPC, es pugui disposar d'un inventari de les principals emissions a l'aire, a l'aigua i al sòl, així com de les seves fonts de procedència, amb l'objectiu, entre d'altres d'informar-ne a la Comissió. En aquest sentit, apuntem que es disposa ja de l'anomenat EPER Espanya¹⁴⁶.

2d.2) Són moltes les actuacions que calia endegar per al compliment de la directiva ETS per la qual s'estableix un règim per al comerç de drets d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle a la Comunitat Europea. I ja hem recordat els més rellevants i com està duent-se a terme la seva aplicació quotidiana fins a principis d'enguany. L'Estat espanyol ha aprovat normativa que es troba en estat d'aplicació i comencen a fer-se'n les primeres valoracions. A més d'establir un Registre de drets d'emissió, com hem vist, també cal que informi de l'aplicació d'aquest règim de comerç en les comunicacions anuals (la primera cal trametre-la el 30 de juny 2005). Fóra interessant que les autoritats competents comencessin també a plantejar-se com s'aplicarà el règim de comerç d'emissions a d'altres activitats i instal·lacions addicionals, així com a les emissions de gasos diferents. Però respecte del dret

comunitari europeu ens aturem aquí, perquè el futur de les altres iniciatives comunitàries de caire normatiu esmentades en anteriors apartats d'aquest capítol és encara molt incert. És clar que l'Estat (i també les comunitats autònomes) sempre pot anar avançant en el camí del compliment del contingut obligacional que proposen aquests projectes, però sembla que les prioritats internes i totes les energies haurien, en primer lloc (o al menys coetàniament), de ser adreçades vers el compliment adequat dels compromisos acabats de recordar. En conclusió, doncs, d'aquest apartat, observem que són encara diversos els «deures» que encara manquen per realitzar respectant el repartiment constitucional de competències. Resta molta tasca per dur a terme en un moment en què les dates límit són preocupantment properes i, per tant, urgeix veritablement donar respostes i oferir solucions concretes en matèries, com sabem, on sovint en la pràctica hi ha un gran protagonisme competencial autòndic.

C1.6.2. Els reptes per a Catalunya

Coneixent ja els compromisos adquirits internacionalment en matèria de canvi climàtic, i també les competències de què disposa Catalunya i com han estat exercides fins a l'actualitat, l'objectiu ara és apuntar al lector alguns dels reptes que poden ser vàlidament assumits dins l'espai jurídic competencial que li és d'aplicació a la Generalitat. Es parteix, en qualsevol cas, de la voluntat d'actuar decididament sobre el fenomen del canvi climàtic, paral·lelament a l'esforç i a la responsabilitat que formalment pugui recaure en l'Estat. Com hem dit, la competència estatal exclusiva sobre les «relacions internacionals» no ha d'incidir anòmalament en les normes internes de repartiment de competències que componen el bloc de constitucionalitat i ha

146 www.eper-es.com

de garantir l'exercici de funcions en el nivell que correspongui.

La primera conclusió que cal extraure és que les competències de què disposa la Generalitat són suficients per emparar una política pròpia sobre aquesta matèria, respectant determinats límits (que es deriven del dret internacional, comunitari europeu i també estatal). Aquest és un àmbit, no cal reiterar-ho, que exigeix reaccions urgents i enèrgiques en un entorn que es caracteritza per un increment de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle que compromet seriosament l'assoliment dels compromisos internacionals i comunitaris en el moment en que siguin exigibles. La magnitud i transversalitat de les causes del problema i de les formes d'afrontar-ho es troba accentuada perquè, a més a més, el marc jurídic regulador de base fins fa molt poc no ha estat del tot precís, i això indubtablement dificulta qualsevol presa de decisió.

Des de l'àmbit autonòmic no cal esperar més precisió ni més clarificació en els posicionaments estatals, perquè en res ajuda que puguin complir-se els compromisos adquirits ni tampoc hi aporta cap solució. Les comunitats autònomes estan obligades a actuar¹⁴⁷, hi estan implicades, poden preparar-se, i els és possible, aspecte sobradament provat, aportar idees. Començar a afrontar decididament aquest repte facilitarà l'assoliment de compromisos, possibilitarà l'articulació d'una política pròpia tot adequant les decisions a les característiques internes autonòmiques dels diversos sectors implicats. Entenem que les incerteses no només polítiques sinó també científiques del fenomen del canvi climàtic no han d'alentir l'adopció d'una estratègia catalana, basada en el principi de precaució.

En aquest sentit, a continuació, es farà referència en primer lloc, a la possibilitat d'incentivar i garantir la participació de la Generalitat en les diverses decisions que pren l'Estat i que afecten l'exercici de les seves competències sectorials que incideixen sobre el canvi climàtic. En segon lloc s'oferirà un ventall d'actuacions potencials, pròpies, que de forma exemplificativa i sense ànim d'exhaustivitat, podrien ser endegades des de Catalunya.

C1.6.2.1. Catalunya i la política estatal sobre canvi climàtic

Un dels primers esforços a realitzar des de Catalunya ha de ser el de potenciar la seva participació orgànica a nivell estatal. Si un pas ja ha estat donat amb l'incorporació d'una representació de les comunitats autònomes en el Consell Nacional del Clima, cal també preconitzar la seva participació en els òrgans veritablement decisoris. Ateses les competències de què disposen les comunitats autònomes sobre diversos sectors directament implicats en les polítiques que tenen incidència en la lluita contra el canvi climàtic, sempre és convenient l'impuls d'instruments organitzatius que garanteixin l'espai competencial respectiu. Aquests instruments, si no es desitja innovar, existeixen ja i estan pensats precisament per a la presa de decisions en situacions, com aquesta, en què és indispensable la col·laboració interadministrativa. Parlem, és clar, de les Conferències sectorials, Convenis de col·laboració i dels Plans i programes conjunts.

Són encara moltes les decisions que resten per prendre sobre aquesta matèria, n'hem avançat en pàgines anteriors un llistat no exhaustiu: caldrà encara aprovar normes, caldrà determinar les polítiques i mesures a emprendre, comunicacions nacionals, i també caldrà elaborar i implementar plans i programes –estatals i autonòmics–, establir i gestionar registres, portar inventaris, preparar i facilitar la transmissió d'informació, certificar, verificar, sancionar; tasques moltes elles de caràcter purament executiu, típiques actuacions tradicionalment en l'esfera autonòmica. Les deci-

147. En aquesta línia vid. article 27. 3 EAC: *La Generalitat de Catalunya adoptarà les mesures necessàries per a l'execució dels tractats i convenis internacionals en allò que afectin les matèries atribuïdes a la seva competència, segons el present Estatut.*

sions internes, aquelles que els tractats internacionals han deixat a la discrecionalitat estatal, han d'estar participades, per raó de les competències assignades sobre les matèries implicades. També ho han de ser els posicionaments que defensa l'Estat en l'àmbit internacional i europeu, ja que tindran després una especial rellevància autonòmica, tot incidint directament sobre les seves institucions i sobre els seus sectors econòmics i productius interns. En el mateix sentit, ha de quedar garantit que la Generalitat pugui tenir coneixement de les decisions adoptades pels organismes internacionals i que afecten l'Estat espanyol en matèria de canvi climàtic, perquè també incideixen sobre les seves competències¹⁴⁸.

El desideràtum acabat d'expressar, i sobre el qual insistíem especialment l'any 2003, ja comença a donar resultats palpables l'any 2004. Les noves normes es fan ressó dels nous plantejaments. Les properes reunions del Consell Nacional del Clima i de la Comissió de Coordinació de Polítiques Ambientals així com les de l'Autoritat Nacional, demostraran si el model que a partir d'ara es preconitza, molt més participatiu, dóna veritable resposta a la necessària participació autonòmica en la matèria. El període que es va obrir l'any 2004 mostra exemples diversos de reconeixement i garantia expressa de participació de les comunitats autònomes en la gestació i execució de la política estatal de lluita contra el canvi climàtic. De totes maneres, reiterem, malgrat que ha de donar-se la benvinguda al canvi de rumb, és encara aviat per valorar si l'actuació autonòmica prevista en els diversos instruments i, fonamentalment, si el seu exercici real, permeten afirmar que la política espanyola respecte canvi climàtic constitueix un bon exemple d'adequació a la distribució de competències que apareix en el bloc de constitucionalitat.

148. Es tracta de realitzar una interpretació en la línia de l'article 27.5 de l'Estatut d'Autonomia. Quan es determina que la Generalitat serà informada, en l'elaboració dels tractats i convenis en allò que afecti matèries del seu específic interès, es lògic que també hagi de ser informada del que esta succeint en la seva execució.

C1.6.2.2. Catalunya i el canvi climàtic. Nous reptes i possibilitats

De tot l'esmentat a les pàgines anteriors ha quedat palès que la reacció estatal front al fenomen del canvi climàtic està necessitada de més rapidesa i innovació, i que resta encara bastant a fer per assolir les diverses fites compromeses. Però no és únicament això: pel que fa a l'àmbit estatal encara es prendran dia a dia decisions transcendents que afectaran intensament totes les comunitats autònomes: plans i programes, mesures i polítiques per sectors, establiment de les relacions interadministratives Estat/comunitats autònomes, decisions sobre instruments flexibles a establir i sobre el repartiment de funcions entre Estat i comunitats autònomes en els projectes d'actuació conjunta, en els mecanismes de desenvolupament net i en el comerç d'emissions etc. Estem, doncs, davant un decorat amb un grau constant d'incertesa política i jurídica, que al mateix temps, reclama actuacions ràpides i contundents¹⁴⁹. És per això que a continuació apuntem alguns reptes i possibilitats que pot emprar la Generalitat de Catalunya en aquest àmbit.

No esmentarem aquelles iniciatives que poden endegar-se sectorialment, ja que ja han estat prèviament esmentades en d'altres capítols d'aquest estudi. Algunes d'elles constitueixen, ja a hores d'ara, com hem vist, compromisos declarats expressament des del Govern de la Generalitat i que es volen assolir properament pel que fa als àmbits de l'energia, transport, residus,

149. En aquest sentit, es del tot explícita l'exposició de motius de l'Estratègia Andalusà davant del Canvi Climàtic: *La Administración Andalusà, consciente de que la reducción de nuestras emisiones es probablemente el mayor reto de la política ambiental española, pero también una oportunidad inmejorable de avanzar hacia la sostenibilidad real de nuestro modelo económico y nuestro aparato productivo, modernizándolo tecnológicamente y haciéndolo más competitivo, considera imprescindible que mientras se elabora la Estrategia Española ante el Cambio Climático se lleve a cabo un plan de choque urgente con medidas concretas y se tenga en cuenta que determinadas decisiones del Gobierno Central, que pudieran hipotecar la futura Estrategia a medio y largo plazo, deberían ser analizadas a la luz de los compromisos de Kyoto.* http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/clima_atmosfera/masinfo/escamclim.html

agricultura, inventari d'emissions etc. Totes les polítiques i mesures autonòmiques que en la pràctica suposin una suma i que vagin en la direcció esmentada en els textos internacionals i europeus són adequades i benvingudes. Fóra bo que aquestes iniciatives concretes, pel deure d'informació repetidament establert en els documents jurídics sobre canvi climàtic, se seguissin ben de prop, una a una, i en el mateix sentit, que els resultats de les diverses actuacions es recollissin i es quantifiquessin per tal de facilitar la seva valoració i la tramesa d'informació.

- Una possibilitat oberta és la d'establir una Estratègia, Pla o Programa sobre canvi climàtic d'àmbit català¹⁵⁰, propi, coherent, adequat al marc dels compromisos internacionals i europeus, i que respecti el legítim exercici de les competències estatals. Trobem iniciatives similars d'interès en el dret comparat¹⁵¹. En qualsevol cas l'estratègia hauria de ser consensuada i participada en la seva elaboració, aprovada per l'òrgan competent, tenir suficient

150. Vid., exercint aquesta possibilitat, la *Estratègia Andaluza sobre Cambio Climático*, aprovada pel Consell de Govern d'Andalusia el dia 3 de setembre de 2002. També cal fer atenció al *Programa Marco Ambiental de la Comunitat Autònoma del País Basc* per al període 2002-2006. La seva fita número 5 per a aquest període és precisament la de limitar l'influència del Canvi Climàtic, i són establerts, en aquesta línia, objectius i compromisos concrets a curt i a llarg termini. Galícia disposa del *Plan de Actuación en la Lucha contra el Cambio Climático*. També des de les Illes Balears observem com es desitja disposar d'un Pla especial en aquesta matèria (Vid. *Anuncio para la licitación del contrato de asistencia técnica «Plan de protección contra el cambio climático de las Illes Balears»* al B.O. Illes Balears, 1/07/2002).

151. Resulta especialment interessant com a referent d'una iniciativa d'un govern subestatal en matèria de lluita contra el canvi climàtic el Pla d'Alberta, dins Canadà (*Albertans & Climate Change: Taking Action*). Vegeu <http://www3.gov.ab.ca/env/climate/actionplan/index.html>). Els seus punts més essencials tenen a veure amb: –negociació d'acords amb la indústria per a la reducció de les emissions; –desenvolupament de normes per assegurar que els estàndards normatius i els acords amb la indústria siguin assolits; –augmentar l'inversió per a que amb més rapidesa s'aconsegueixi el desenvolupament i l'aplicació de tecnologies innovadores en matèria ambiental i energètica; –inversió en recerca en la gestió del carbó i en programes per capturar i utilitzar CO₂; –posar el repte a les elèctriques per tal que proveïxin un mínim d'electricitat «verda» als consumidors; i, per últim, –incentivar l'educació i el coneixements del públic en matèries com la conservació de l'energia i l'eficiència energètica

rang, i notificar-se a l'Estat central. Això permetria complir, a més a més amb l'exigència legal d'establiment (a nivell regional, quan s'escaigui) de programes per reduir els efectes del canvi climàtic. Fóra convenient individualitzar i a ser possible quantificar les fites a aconseguir, precisar l'organització administrativa catalana i assignar funcions concretes a departaments i ens locals, instrumentant mecanismes de coordinació. Caldrà preveure un mecanisme d'informació, revisió i control periòdic, així com la seva actualització. En el marc d'aquesta estratègia seria convenient atendre, així mateix, les temàtiques sobre les que sempre és necessari informar als òrgans del Conveni Marc i del Protocol: inventaris de gasos, polítiques i mesures pròpies en els diversos sectors i la seva projecció, vulnerabilitat i mesures d'adaptació, recursos financers i transferència de tecnologia, investigació, educació, formació i sensibilització del públic.

- Un altre objectiu és aconseguir una adequada organització interna de Catalunya per al canvi climàtic, una organització que garantis el consens i la coordinació. Es pot aprofundir encara en la tasca que també reclamàvem el 2003 de:
 - Clarificar i determinar expressament –des de quin òrgan/s es prenen quines decisions.
 - Quin és l'òrgan que centralitza (el punt focal) les relacions exteriors i les relacions entre Administracions Públiques a Catalunya.
 - L'òrgan que oferirà la informació que pugui ser demanada per ciutadans, grups i institucions.
 - Des de quin o quins òrgans es realitza el seguiment¹⁵².

152 Andalusia ha creat el Panel de Seguiment de la *Estratègia Andaluza sobre el Cambio Climático*, per analitzar l'evolució dels GEH i la seva adequació al compliment de compromisos internacionals; també elabora informes d'acord amb l'IPCC i proposa recomanacions.

- Com s'integrarà els ens locals en el procés assessor, decisor i d'implementació de la política catalana sobre canvi climàtic.
- A més d'assessorar el Govern català, caldrà exercir moltes altres tasques durant un bon període de temps. Fórmules com les comissions interdepartamentals o bé òrgans mixtes poden resultar d'utilitat. En la reflexió a fer sobre l'organització administrativa que més s'adequa a les necessitats de Catalunya, pot incloure-s'hi també la possibilitat de crear una agència, amb característiques d'empresa pública, per a les matèries en què puguin resultar d'utilitat, etc.
- Malgrat que ja s'ha avançat molt, ha de continuar exercint-se amb cura la tasca de la Generalitat d'intervenció o de policia sobre el canvi climàtic per tal que puguin assolir-se els compromisos esmentats¹⁵³.

153. Molt ha estat avançat en aquesta línia des de 2003, malgrat que entenem que la Generalitat podia gaudir d'alguna funció addicional a les que finalment li han estat assignades. Literalment, apuntàvem: «Això significa per exemple que, ateses les competències que actualment són exercides des de Catalunya, és del tot probable que des d'aquest àmbit territorial calgui establir un mecanisme d'autorització de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (i això inclou, òbviament, el seu atorgament, seguiment, reglamentació, comunicació, emissió de permisos i suspensió de llicències, inspecció, sanció, creació de registres). Cal preparar-se amb temps. És necessari sol·licitar les dades de les empreses que siguin necessàries amb la màxima previsió, com ja s'està fent en d'altres Estats. L'establiment d'un inventari català per a les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i embornals s'adequa a les fites comentades, essent adequat tot treball en la línia d'establir un sistema que permeti l'estimació de les emissions antropogèniques per les fonts i l'absorció pels embornals de tots els gasos amb efecte d'hivernacle no inclosos al Protocol de Mont-real, d'acord amb l'art.5.1 PK. És necessari treballar amb urgència en la incorporació i aplicació de la directiva comunitària sobre comerç d'emissions (ETS), atès que la data límit és el 31 de desembre d'enguany. Com en d'altres ocasions, respecte a competències pròpies, Catalunya pot avançar-se en l'incorporació normativa i en l'execució de la directiva, que suposarà la modificació, entre d'altres de la LIA, i posicionar-se sobre les autoritats competents en la matèria la seva coordinació, establint els controls, inspeccions i règim sancionador que reclama la norma europea. Això es del tot necessari en tant que les instal·lacions hauran de disposar dels permisos sobre emissions el 2005, data no gaire llunyana per tal de preparar l'administració autònoma. En aquesta mateixa línia entenem que pot ser establert un registre català de drets d'emissió, des del qual es podrà trametre la informació del seu contingut i de l'aplicació del règim de comerç d'emissions que afecten a Catalunya als òrgans competents».

- Cal adequar la tasca d'incentivació que du a terme la Generalitat en els diversos sectors implicats, a la problemàtica del canvi climàtic. En primer lloc, per tal que desapareguin les mesures de foment incompatibles amb aquest i es potenciïn les que afavoreixen actuar sobre les seves causes o efectes. Aquesta tasca inclou les subvencions en sentit ampli (directes i indirectes) i per tant, també els instruments tributaris, la utilització dels quals, en el marc de les seves competències sectorials, pot ser especialment beneficiosa. Estem parlant dels impostos, contribucions especials i taxes que, en la seva estructura, inclouen un incentiu a la protecció ambiental o compensen dels danys que es consideri que ocasionen al medi ambient els subjectes que suporten la càrrega tributària. En aquesta tasca de foment, poden adaptar-se a la política/estratègia autònoma sobre canvi climàtic determinats instruments com ara les etiquetes ecològiques o els sistemes de gestió ambiental i sempre poden iniciar-se noves actuacions¹⁵⁴. Atès que des de Catalunya es coneixen els diversos sectors, cal reflexionar i decidir sobre el potencial que també ofereixen per a l'assoliment dels diversos compromisos els acords voluntaris.
- Cal analitzar les possibilitats d'actuació paral·lela amb d'altres comunitats autònomes, pel que fa a polítiques i mesures i pel que fa per exemple a mecanismes flexibles. A més a més, en l'exercici de competències pròpies, es pot iniciar el camí del coneixement mutu amb iniciatives a endegar en d'altres estats, pel que a fa a l'establiment de potencials projectes d'actuació conjunta, de desenvolupament net o futur comerç d'emissions. En qualsevol cas,

154. Pensem per exemple en la que acaba d'endegar el *Carbon Trust* (una companyia independent sense ànim de lucre creada pel Govern amb el suport de les indústries i comerços) amb el *Sunday Telegraph*. Ha estat creat un distintiu nacional que serà atorgat a les persones o entitats (públiques o privades que efectivament estiguin fent passes més imaginatives per tal de desenvolupar iniciatives que ajudin a reduir les emissions de GEH del Regne Unit. Vid. <<http://www.thecarbontrust.co.uk>>, o <www.telegraph.co.uk/carbontrust>.

caldrà potenciar la relació quotidiana amb els actors econòmics del sector privat (siguin emissors o de l'àmbit financer) per detectar i canalitzar inquietuds, fer conèixer alternatives i donar assistència. Possiblement fóra bo crear «taules sectorials» per propiciar, ja des d'aquest moment, el *feedback* dins de Catalunya.

- En relació amb els mecanismes flexibles, malgrat el fet que siguin mecanismes suplementaris, hi ha molt camí a fer, en un futur. La creativitat autònoma està actualment severament mediatitzada pel que està avançant-se en el procés decisorial estatal. Res impedeix, *prima facie*, que es treballi seriosament en la preparació del funcionament d'aquests instruments des de Catalunya, i que siguin observades molt detingudament les experiències de dret comparat que actualment ja es desenvolupen, per extreure'n les lliçons oportunes, sigui les que es duen a terme en el marc de la Directiva ETS, sigui les que s'emmarquen en el radi més ampli ofert pel PK. Això és aplicable, és clar, als projectes d'Aplicació Conjunta (AC), al Mecanisme de Desenvolupament Net i als permisos negociables. Pel que fa al Comerç d'emissions, ja ha estat esmentat oficialment des de fa temps el fet que Catalunya és actualment del tot receptiva a l'utilització d'aquest mecanisme i estigui estudiant-ne l'aplicació, i més concretament, la possibilitat d'establir un pla pilot que permetria el joc entre sectors prioritaris de Catalunya. En qualsevol cas, i de forma addicional al redactat actual de la Directiva ETS, des de la Generalitat es pot reflexionar també sobre la possibilitat que a partir del 2008 es vulgui aplicar el mateix règim de comerç d'emissions a Catalunya a d'altres activitats i instal·lacions addicionals així com a gasos diferents dels contemplats per la directiva. Igualment caldrà pensar i decidir sobre la conveniència que a partir del 2005 sigui aplicat el règim del comerç intracomunitari a instal·lacions catalanes de les que ja són enumerades ara a la directiva, però per sota dels llindars de capacitat esmentats al corresponent Annex.

Aquestes i moltes d'altres iniciatives demostren que la intervenció sobre el canvi climàtic des de l'òptica catalana ofereix en l'actualitat abundants reptes i possibilitats. El alt nivell d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle que registra aquest país entenem que ha d'empènyer als poders públics a reflexionar i a intentar exhaurir-les, avançant realment cap a la sostenibilitat del model econòmic i productiu català.

Referències bibliogràfiques

BARRET, S. *Environment & Statecraft. The Strategy of Environmental Treaty-Making*. Oxford/New York: Oxford University Press, 2003.

BIRNIE, P.W.; -BOYLE, A.E. *International Law and the Environment*. Oxford: Clarendon Press, 1992.

BODANSKY, D. «The United Nations Framework Convention on Climate Change: A Commentary». *The Yale Journal of International Law*, vol 18, núm. 2 (1993), p. 451-558.

BOISSON de CHAZOURNES, L. «La mise en oeuvre du droit international dans le domaine de la protection de l'environnement: Enjeux et défis». *Revue Générale de Droit International Public*, núm. 1 (1995), p. 37-76.

BOUCQUEY, N. *Aspects juridiques des marchés de pollution: conception, régulation et responsabilité*. Lovain-La-Neuve/Bruxelles: Centre de Droit de la Consommation/ Bruylant, 1998.

BRICEÑO, S.; CHUECA, A. «Las actividades de aplicación conjunta en la Convención Marco del Cambio Climático». *Revista Española de Derecho Internacional*, 1995, p.101-119.

CAMPINS ERITJA, M. «La acción internacional para reducir los efectos del cambio climático: El Convenio Marco y el Protocolo de Kyoto» *Anuario de Derecho Internacional*, 1999, p. 71-113.

CARBALLEIRA RIVEIRA, M.T. «El cambio climático. Análisis científico y jurídico de las emisiones de gases de efecto invernadero». *Revista de Derecho Urbanístico y Medio Ambiente*, núm.156, septiembre-octubre 1997.

CORRALES RODRIGÁÑEZ, M. «Cambio climático: el Protocolo sobrevive». *Revista Interdisciplinar de Gestión Ambiental*, núm. 39, (març 2002).

CHAMBERS, W.B. (editor), *Global Climate Governance. Interlinkages between the Kyoto Protocol and other Multilateral Regimes*. U.N.U./I.A.S., 1998.

- CHUECA SANCHO, A. *Cambio climático y derecho internacional*. Saragossa: Fundación Ecología y Desarrollo, 2000.
- CHURCHILL, R.; FREESTONE, D. (editors). *International Law and Global Climate Change*. London/Dordrecht/Boston: Graham & Trotman/Martinus Nijhoff, 1991.
- GREENE, O. *Knowledge and Implementation of Environmental Agreements: Lessons from Ozone, Regional Seas and Climate Change Conventions*. I.E.C. Project, I.I.A.S.A., Bradford University, setembre 1996.
- GUPTA, J. *The Climate Change Convention and Developing Countries: From Conflict to Consensus?* Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishers, 1997.
- De ROJAS MARTÍNEZ-PARETS, F. «Consideración sobre los mecanismos de absorción y depósito en las convenciones y protocolos sobre cambio climático». *Revista Mensual de Gestión Ambiental*, any 2, núm. 22, (octubre 2000).
- JUSTE RUIZ, J. *Derecho internacional del medio ambiente*. Madrid: McGraw-Hill, 1999.
- LANG, W.; SCHALLY, H. «La Convention cadre sur les changements climatiques. Un élément du bilan normatif du Sommet de la Terre: La CNUED». *Revue Générale de Droit International Public*, núm. 2 (1993), p. 321-335.
- LANG, W.; NEHUOD, H.; ZEMANEK, K. (eds.) *Environmental Protection and International Law*. London/Dordrecht/Boston: Graham & Trotman/Martinus Nijhoff, 1993.
- MALJEAN-DUBOIS, S. (dir.). *L'outil économique en droit international et européen de l'environnement*. Paris: C.E.R.I.C./La Documentation Française, 2002.
- O.E.C.D. *Climate Change. Designing a Tradeable Permit System*. Paris: O.E.C.D. 1992.
- PERNAS GARCIA, J. «Nacimiento, desarrollo y estado actual de la estrategia comunitaria frente al Cambio climático». *Revista Aranzadi de Derecho Ambiental*, núm. 2, (2002), p. 217-235.
- OTT, H. «Elements of a Supervisory Procedure for the Climate Regime», *Zeitschrift für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht (ZaöRV)*. vol. 56, núm. 3 (1996), p. 733-749.
- RAMAKRISHNA, K.; DEUTZ, A.M. (comp. i ed.). *The Ad Hoc Process to Strengthen the Framework Convention on Climate Change*. Massachusetts: Wood Hole, octubre 1995. (dactilografiat).
- RODRÍGO HERNÁNDEZ, A. «Nuevas técnicas jurídicas para la aplicación de los tratados internacionales de medio ambiente». *Cursos de Derecho Internacional y Relaciones Internacionales de Vitoria-Gasteiz 2001*. Madrid: Tecnos/UPV, 2001, p. 155-243.
- SANDS, Ph. *Principles of International Environmental Law*. Manchester/Nova York: Manchester University Press, 1995.
- SAURA, J. *El cumplimiento del Protocolo de Kyoto sobre el cambio climático*. Col. Tribunal Internacional, núm. 5, Barcelona, 2003.
- SCHELLING, Th.C. «The Cost of Combating Global Warming». *Foreign Affairs*, (novembre-desembre 1997), p. 8-14.
- SECRETARIA DEL CONVENI MARC SOBRE EL CANVI CLIMÀTIC. *A Guide to the Climate Change Convention and its Kyoto Protocol*. Bonn, 2002.
- STEWART, R. (editor). *The Clean Development Mechanism. Building International Public-Private Partnerships Under the Kyoto Protocol*. Ginebra: U.N.C.T.A.D., 2000.
- TABARA, J.D. «Spain: words that succeed and climate policies that fail». *Climate Policy*, núm. 3 (2003), p. 19-30.
- U.N.D.P. *Issues and Options. The Clean Development Mechanism*. Nova York: U.N.D.P., 1998.
- WERKSMAN, J. «Designing a Compliance System for the UN Framework Convention on Climate Change». A: *Improving Compliance with International Environmental Law*. Londres: FIELD, 1996, p. 85-112.
- YABAR STERLING, Ana. «Cambio climático, Políticas Internacionales del Clima y Plan Nacional sobre el Clima en España». *NUE* núm. 122, 1995.
- YABAR STERLING, Ana. «La aplicación de los mecanismos derivados del Protocolo de Kyoto para mitigar los efectos del cambio climático. Balance de situación en el mundo, en la Unión Europea y en España». *Noticias de la Unión Europea*, (2000). CISS Praxis, p. 125

C2. Instruments econòmics. Flexibilitat en el disseny de polítiques de canvi climàtic: l'ús de mecanismes de mercat a Catalunya

Flavia Rosembuj González- Capitel
Lluís Esquerra

Flavia Rosembuj González-Capitel (Roma, 1969) és doctora en Dret per la Universitat de Barcelona i professora de dret mercantil a la Facultat de Dret de la mateixa universitat. Ha estat especialitzada en dret ambiental des de la obtenció d'un Mestratge en Dret Comunitari per la Universitat de París-Sorbona el 1991. Ha completat la seva formació amb estudis de postgrau a la Universitat Lliure de Brussel·les. La seva tesi doctoral va versar sobre el mercat de drets d'emissió de diòxid de carboni.

Ha desenvolupat funcions d'assessorament en matèria de dret ambiental a les oficines de Barcelona i Londres del despatx d'advocats internacional *Freshfields* durant cinc anys, i fins el 2003 va treballar a *Garrigues Advocats i Assessors Tributaris*, on va crear i desenvolupar el departament de dret ambiental al despatx de Barcelona

Actualment és *visiting scholar* a la Universitat de Columbia, als Estats Units, consultora del Banc Mundial i de la Comissió Europea en projectes de canvi climàtic; col·labora habitualment amb el *Club Espanyol de la Energia*, i assessora la Generalitat de Catalunya i nombroses empreses sobre l'aplicació del mercat de drets d'emissió a l'Estat espanyol. Autora del llibre *El precio del aire. Aspectos legales del mercado de derechos de emisión* i de nombrosos articles sobre la creació del marc legal per utilitzar el mercat a l'hora de resoldre problemes ambientals, és ponent habitual en conferències sobre canvi climàtic.

És membre de l'Il·lustre Col·legi d'Advocats de Barcelona i dels Tribunals de París. També és membre de l'Associació Espanyola de Dret Ambiental.

Lluís Esquerra (Barcelona, 1963) és llicenciat en Dret per la Universitat de Barcelona (UB) des de 1986 i ha cursat estudis de postgrau en dret comunitari a la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB). És advocat i actualment és soci del departament de Dret Mercantil del despatx de *Garrigues Advocats i Assessors Tributaris* a Barcelona, on es va incorporar el mes de gener de 1988. Des de 1989 és membre de l'Il·lustre Col·legi d'Advocats de Barcelona.

Ha desenvolupat la seva pràctica jurídica en diverses àrees del dret d'empresa, incloent-hi l'assessoria corporativa, fusions, adquisicions i reestructuracions empresarials, contractació mercantil, aliança d'empreses i mercat de valors, tant en l'àmbit espanyol com internacional. Ha treballat en el terreny de les empreses i els serveis públics i ha dut a terme privatitzacions per encàrrec de l'Administració catalana. Entre els sectors d'activitat on presta els seus serveis com a advocat cal destacar els de l'energia, les utilitats, els serveis financers, l'editorial, el químic i el farmacèutic.

En els darrers anys ha estat responsable de la creació, desenvolupament i supervisió del departament de dret ambiental del despatx de Barcelona i durant els darrers tres anys ha impulsat, desenvolupat i dirigit els serveis de canvi climàtic de Garrigues a l'Estat espanyol. En aquest àmbit, ha prestat serveis a diverses organitzacions i administracions públiques ambientals i energètiques i ha organitzat i participat en nombrosos seminaris monogràfics sobre aquesta matèria, entre els que destaca el del *Club Español de la Energía* sobre els aspectes legals del comerç d'emissions.

Síntesi	753
C2.1. Introducció	759
C2.2. Comerç de drets d'emissió	761
C2.3. Mecanismes de projecte i la creació d'unitats de reducció d'emissions	765
C2.4. Conclusions	769
Referències bibliogràfiques	770

Síntesi

El Protocol de Kyoto (PK) representa una fita extraordinària i sense precedents en l'àmbit de la protecció del medi ambient. D'una banda, obliga els països industrialitzats a reduir les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i, de l'altra, introdueix una flexibilitat que representa una tendència decidida cap a la integració de l'anàlisi econòmica en les polítiques ambientals (Grubb et al., 1999).

El PK permet que els països industrialitzats puguin escollir entre diversos mitjans que permetin disminuir la demanda global d'activitats emissores, amb un cost més petit i una efectivitat més elevada, entre els quals destaca la creació d'un mercat d'unitats de carboni (drets d'emissió o de reduccions d'emissions). Les virtuts teòriques del comerç de drets d'emissió ja han estat reconegudes des de fa diverses dècades –els elements bàsics varen ser identificats per Coase (1960)–, però el PK és el primer instrument de dret internacional que avança en el debat sobre l'ús dels instruments econòmics per a la protecció del medi ambient, deixant enrera la discussió sobre la conveniència o no de la seva utilització i posant l'accent en la manera com han de ser aplicats.

El PK preveu la creació d'un mercat internacional de comerç de tones de CO₂ equivalent¹ amb diferents orígens que (i) podran ser assignades *ex ante* com a drets d'emissió o (ii) podran néixer com a resultat d'una verificació *ex post* de la reducció d'emissions d'un projecte específic sobre la base del que podria haver passat si el projecte no hagués tingut lloc (*business as usual scenario*).

1. La tona de CO₂ equivalent (tCO_{2e}) és la unitat de mesura comuna a tots el gasos amb efecte d'hivernacle, fruit de la conversió de la resta de gasos al patró CO₂ en funció d'un factor de conversió obtingut a partir del potencial d'escalfament de cadascun d'ells.

El comerç d'emissions: la seva aplicació a Catalunya

El comerç d'emissions és un dels mecanismes flexibles previstos en el PK. Es tracta d'un mecanisme de mercat, la finalitat última del qual no és la de reduir per si mateix les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, sinó la de rebaixar el cost global del compliment de les restriccions d'emissió imposades pel Protocol. El sistema de comerç d'emissions parteix de l'establiment d'un límit màxim global imperatiu d'emissions, que actua com a objectiu ambiental a assolir i que és distribuït entre els diferents participants en el sistema de comerç en forma d'unitats d'emissió. Els participants que aconsegueixen reduir les seves emissions per sota de les unitats assignades poden vendre les unitats excedents a d'altres participants que les necessitin, bé per haver-ne rebut menys de les que necessitaven, bé per augments en les seves emissions.

L'eficiència del sistema es basa en dues premisses: la primera, que tendiran a reduir les seves emissions aquells participants amb uns costos de reducció més petits; la segona, que el preu pagat per l'adquirent de les unitats excedents serà més petit que el cost de reducció directe de les emissions. El preu de la unitat d'emissió reflectirà, doncs, el cost estàndard de reducció. Com que només es comercia per sota del límit màxim global establert, l'objectiu ambiental queda garantit. El comerç d'emissions com a mecanisme de mercat ha estat experimentat amb èxit en diferents iniciatives als Estats Units, a partir dels anys setanta².

2. Programes com l'*Offset Policy* de la *Environmental Protection Agency* (EPA), de l'any 1977, o el Programa *Acid Rain*, introduït per la modificació de 1990 de la *Clean Air Act* i el *RECLAIM* a Califòrnia (en aquests dos darrers casos els gasos varen ser l'NO_x i l'SO₂) – *The United States Experience with economic incentives for protecting the environment*, National Center for Environmental Economics, US EPA, Washington, 2001.

El PK preveu l'inici del comerç d'emissions a escala mundial a partir del primer període de compliment (2008-2012). No obstant això, i malgrat les incerteses que hi va haver amb relació a la seva entrada en vigor³, la Unió Europea ha aprovat la *Directiva 2003/97 en matèria de comerç d'emissions*⁴, amb l'objectiu de crear un sistema propi i independent que ha entrat en vigor l'any 2005. Aquest sistema s'integrarà en el marc més ample del PK a partir del 2008, inici del primer període de compliment, quan aquest Protocol entri en vigor.

Els trets més significatius de la directiva de comerç d'emissions de la Unió Europea són aquests:

- Inicialment (període 2005-2007) només cobreix les emissions de CO₂, deixant per al període 2008-2012 la possible inclusió de la resta de gasos amb efecte d'hivernacle.
- Les entitats participants seran inicialment les titulars d'instal·lacions de combustió significatives, en els sectors de la generació d'electricitat i calor, siderúrgia, refinaria d'hidrocarburs, ciment, productes ceràmics, paper i pasta de paper. Altres sectors emissors –com l'alumini o el químic– podrien ser-hi inclosos més endavant.
- Les unitats de carboni seran atribuïdes als participants gratuïtament en el primer període de comerç (2005-2007), amb la possibilitat que els Estats membres optin per subhastar-ne fins a un 5%. En el segon període, com a mínim el 90% de les unitats s'atribuiran gratuïtament. La resta podrà ésser atribuïda a canvi de preu, mitjançant subhasta.
- Les instal·lacions afectades hauran de disposar d'un permís per emetre CO₂ (que pot estar in-

clòs a la seva llicència d'activitat), però l'obtenció del qual estarà condicionada a l'acreditació d'un sistema fiable de monitoratge i de control de les emissions de CO₂. L'obtenció del permís serà requisit previ per a l'assignació de les unitats de CO₂.

S'estableixen sancions pecuniàries en cas d'insuficiència d'unitats amb relació a les emissions reals (40 o 100 euros el primer i segon període de compliment, respectivament).

L'objectiu de reducció que recull el PK per al conjunt de la Unió Europea és d'un 8% respecte les emissions de l'any 1990. Aquest objectiu ha estat objecte de redistribució entre els Estats membres (l'anomenada 'bombolla' comunitària), en funció de diversos paràmetres indicatius del seu grau de desenvolupament i de negociacions entre els Estats membres. L'Estat espanyol pot augmentar el seu nivell d'emissions en un 15% amb relació als nivells de 1990, objectiu que ha de ser assolit durant el primer període de compliment⁴. No obstant això, segons els inventaris corresponents a l'any 2001, l'Estat espanyol hauria augmentat les seves emissions i superat l'objectiu previst. Aquest objectiu ha estat assumit a escala estatal, sense que s'hagi tingut en compte cap tipus de redistribució interna d'objectius basada en criteris territorials ('bombolla' espanyola).

Amb vista a l'aplicació pràctica de la *Directiva 2003/97*, cada Estat membre ha hagut d'elaborar un Pla Nacional d'Assignació, document base per a l'atribució de les unitats de carboni als participants en el sistema de comerç d'emissions. Atès que els sectors participants en el mercat europeu només són responsables d'una porció de les emissions de CO₂, cal determinar diferents magnituds quantitatives prèvies a l'atribució concreta d'unitats:

- De l'objectiu total marcat per l'Estat espanyol, quantes tones de CO_{2e} corresponen al CO₂ i quantes a la resta de gasos amb efecte d'hivernacle.

3. La ratificació del PK per part de Rússia durant l'any 2004, amb la qual s'ha pogut arribar a la ratificació per part de països que representen el 55% de les reduccions d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, permet que el PK entri en vigor el dia 16 de febrer de 2005.

4. *Directiva 2003/97 del Parlament Europeu i del Consell, de 13 d'octubre de 2003, que estableix un esquema de comerç d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a la Comunitat Europea i que modifica la Directiva 96/61 del Consell*. Diari Oficial de la Unió Europea L275, de 25 d'octubre de 2003.

- Del total objectiu de tones de CO₂, quantes s'atribueixen als sectors inclosos a la directiva i quantes a la resta de sectors no inclosos (escala macro).
- Del total objectiu dels sectors inclosos, quantes s'atribueixen a cada sector (escala meso).
- Dins de cada sector, quantes unitats s'atribueixen a cada instal·lació en concret (escala micro).

Hi ha diferents metodologies proposades per a l'assignació de les unitats, en funció del punt de partida (*top-down*, *bottom-up*) o en funció de la consideració del potencial econòmic, tecnològic o de mercat de cada tipus d'instal·lació. La Unió Europea ha de vetllar perquè els Plans Nacionals d'Assignació s'elaborin basant-se en criteris homogenis, per tal que s'evitin distorsions a la competència en el mercat interior o hi hagi discriminacions entre els operadors de la Unió. Es preveu també que siguin beneficiades en l'assignació aquelles empreses que hagin estat més actives en la reducció de les seves emissions des de l'any base de 1990 (reconeixement de l'*early action*).

En tot cas, en un entorn de restricció de la capacitat d'emetre CO₂, convertit en un bé escàs, l'assignació de les unitats entre els diferents sectors, subjectes o instal·lacions causants de les emissions és un exercici d'assignació de costos per defecte:

- Les instal·lacions hauran d'adquirir en el mercat aquelles unitats necessàries per a la seva producció que no els hagin estat assignades d'entrada.
- Si no vol veure's exclòs del mercat internacional de comerç d'emissions previst al PK, l'Estat espanyol haurà d'adquirir a altres països unitats suficients per cobrir les emissions reals produïdes per sobre de l'objectiu fixat pel PK i la «bombolla europea».

Les empreses hauran de comptar amb el cost del CO₂ en les seves unitats de producció. Aquest cost haurà d'ésser més reduït com més eficients siguin les seves instal·lacions en termes d'emis-

sions. En determinats sectors pot existir un risc de pèrdua de competitivitat o deslocalització d'activitats, en la mesura en què aquest cost addicional de CO₂ sigui inexistent o més baix en altres països.

És probable que l'Estat espanyol, en el seu conjunt, no pugui assolir els objectius compromesos. La càrrega de l'adquisició d'unitats de carboni addicionals per tal de complir el PK es desplaçaria parcialment i directa cap a les empreses en cas que no els siguin assignades unitats suficients per cobrir les seves emissions reals o que no puguin aconseguir unitats resultants de projectes de reducció. La resta del cost de compliment recauria íntegrament sobre l'Estat, amb càrrec al pressupost general en la mesura que no fos individualitzable mitjançant taxes específiques o altres instruments en els sectors no inclosos a la directiva (transport, habitatge i construcció, agricultura, ramaderia, i altres) o, com les empreses, si no pogués obtenir reduccions a països que no tenen límits establerts pel PK mitjançant l'ús dels mecanismes de projecte.

Sempre que l'objectiu global de reducció de l'Estat espanyol no es redistribueixi entre les diferents Comunitats Autònomes –cosa que no sembla probable– Catalunya no tindrà un objectiu obligatori del qual hagi de ser responsable jurídicament i, per tant, no li pertocarà assignar globalment cap objectiu als diversos sectors de la seva economia. Les instal·lacions incloses en la directiva ubicades a Catalunya hauran de rebre unitats d'emissions en condicions equivalents a la resta d'instal·lacions d'un mateix sector de la resta de l'Estat espanyol. Això no treu que Catalunya no pugui avançar en l'aplicació de la Directiva en els seu àmbit de competència. Fins i tot, Catalunya pot anticipar-se a l'Estat espanyol en àmbits que poden estar al seu abast.

Els drets d'emissió hauran de ser definits pel legislador estatal, però tal i com anticipa la Directiva de Serveis Financers, els derivats dels drets d'emissió seran considerats instruments finan-

cers. Això implica que aquests derivats que fins ara es negociaven en mercats bilaterals *over the counter* podrien ser l'objecte de negociació a mercats organitzats. Barcelona ja és la seu del mercat d'opcions i futurs i res no impedeix que Catalunya s'anticipi i negociï amb l'Estat espanyol per ser una seu del mercat de futurs de drets d'emissió.

A més, la Comissió Europea ha aprovat una modificació a la Directiva 2003/97 per tal de donar entrada a les unitats de carboni resultants del mecanisme de projecte establerts pel PK en el mercat europeu de drets d'emissió⁵. En el marc d'aquesta esmena, la Generalitat de Catalunya podrà ajudar les empreses catalanes a acumular riquesa intangible per tal d'assegurar l'obtenció d'unitats de reducció i poder disminuir els costos addicionals de CO₂, mitjançant l'execució de projectes a països on pot resultar més eficient reduir emissions que a Catalunya.

Els mecanismes de projecte i la seva aplicació a Catalunya

A part del comerç d'emissions, el PK preveu altres instruments, coneguts com a mecanismes de projecte (el mecanisme de desenvolupament net o MDN i el mecanisme d'aplicació conjunta o AC), que tenen per objectiu ajudar els països d'acollida dels projectes a avançar vers el desenvolupament sostenible. Els països industrialitzats –que tenen l'obligació de reduir les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle– duran a terme la transferència de tecnologies netes i de recursos financers per a projectes específics a països d'acollida per tal de reduir el que haurien estat les seves emissions si el projecte no hagués tingut lloc.

Sense perjudici de l'obligatorietat del subjecte de dret internacional públic, serà el sector privat qui haurà d'estar implicat necessàriament i de manera principal en l'ús dels mecanismes de fle-

xibilitat –tant en els mecanismes de projecte com en el mercat de drets d'emissió⁶.

Ja s'ha comentat que a Catalunya el sector privat haurà d'aplicar la *Directiva 2003/97*, així com la modificació que donarà entrada als mecanismes de projecte. En parlar dels actors econòmics del sector privat s'està fent referència, en sentit ampli, a aquelles entitats emissores directes o indirectes⁷ de gasos amb efecte d'hivernacle (generadores d'energia elèctrica, grans consumidores d'energia elèctrica, gestores d'abocadors, etc.), aquelles entitats susceptibles de reduir les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (promotores d'energies renovables, investigació i desenvolupament de tecnologia neta, estalvi energètic, millores en ús de la terra, etc.) i tots els subjectes del mercat financer (entitats financeres –finançadores de projectes, gestores de fons d'inversió–, entitats intermediàries, societats gestores de mercats organitzats, etc.).

Tenint en compte això, i atès que el territori català reuneix els elements i factors de competitivitat necessaris per a la consolidació d'aquests mecanismes de mercat, Catalunya ha de fer conèixer les alternatives disponibles als actors econòmics locals per tal que valorin els costos i beneficis i modifiquin les seves eleccions i comportaments de manera favorable a la protecció del medi ambient. Catalunya concentra un gran potencial d'actuació en el marc dels mecanismes de projecte del PK, basat en l'excel·lència de la investigació i el desenvolupament de tecnologies netes, en el sector del foment de les energies renovables, de l'eficiència i de l'estalvi energètic, com també en la riquesa del teixit financer.

Un cop que els actors en tinguin coneixement, Catalunya pot facilitar-los assistència tècnica per

5. Directiva 2004/101 del parlament Europeu i del Consell de 27 d'octubre de 2004.

6. És evident que, per tal que el sector privat es pugui implicar en un marc estable de dret, les obligacions estatals s'hauran de transmetre al sector privat i els drets obtinguts pel sector privat s'hauran de poder transmetre a l'Estat obligat.

7. Segons es tracti d'obligacions de reducció *downstream* –per part del consumidor final– o *upstream* –per part del generador d'aquestes–.

tal de transformar determinades metodologies i el saber fer en béns immaterials susceptibles de ser convertits en drets (unitats de carboni) o de generar riquesa per si mateixos per als actors que els creïn.

Finalment, Catalunya pot tenir un paper important a l'hora de donar suport per a l'obtenció d'unitats de carboni verificades de qualitat⁸.

En primer lloc, s'han de transmetre els coneixements de les alternatives existents

Catalunya pot fomentar les inversions directes d'empreses locals en països en vies de desenvolupament a l'empara del mecanisme de desenvolupament net (MDN) o en països amb economies en transició amb el mecanisme d'aplicació conjunta (AC) com a eina bilateral. Aquest foment ha de contribuir a una veritable transferència de tecnologies que pot abastar, entre d'altres, el foment d'energies renovables, l'eficiència energètica o fins i tot, en el marc internacional (no pas en el marc del mercat europeu) el segrest de carboni mitjançant embornals⁹. És fonamental que Catalunya prengui posició per poder contribuir al desenvolupament dels països en vies de desenvolupament aprofitant les noves regles de joc dissenyades pel PK.

Aquesta posició ha d'adreçar-se cap al treball amb participants potencials en el mercat per augmentar la seva capacitat i transmetre'ls co-

neixements profunds de les modalitats del MDN i de l'AC, i una millor comprensió dels conceptes d'addicionalitat del projecte o la metodologia de la línia de base.

Les diferents possibilitats d'actuació de Catalunya en aquest àmbit poden passar per l'edició de material sobre els mecanismes de projecte, la posada en marxa de missions en regions per fomentar intercanvi de coneixement (*benchmarking*) i la coordinació amb programes de la Unió Europea o de les Nacions Unides per tal d'ajudar els potencials actors a identificar les possibles fonts de riquesa intangible que poden resultar en unitats de carboni verificades.

El fet que la Unió Europea hagi donat accés al mercat europeu de drets d'emissió a les unitats resultants del mecanisme de projecte del PK augmenta les possibilitats de compliment de les obligacions de reducció, és a dir que disminueix el cost addicional del CO₂¹⁰ per part d'aquelles empreses catalanes que portin a terme projectes de reducció que resultin en unitats de carboni verificades.

En segon lloc, s'ha de facilitar la creació d'intangibles per augmentar el fons de comerç de les empreses catalanes

A partir d'aquí, Catalunya pot jugar un paper important a l'hora de facilitar que els actors econòmics defineixin i desenvolupin mètodes pràctics per tal de determinar les línies de base –sobretot en projectes a petita escala, que són els que tendiran a desenvolupar els actors catalans–, creïn instruments per fer el monitoratge de les dades rellevants i calcular les reduccions d'emissions i, finalment, defineixin procediments per validar i verificar les reduccions d'emissions.

8. Segons es desprèn d'un estudi portat a terme per Natsource per encàrrec del Banc Mundial, des de l'any 1996 han tingut lloc unes 60 operacions de compravenda, estimades en 55 milions de tones de CO₂ equivalent, essent-ne els subjectes empreses de països de l'annex I, i l'objecte de les operacions reduccions d'emissions verificades per tercers. El preu de venda ha oscil·lat de 0,60 a 3,00 US\$ per tona de CO₂e. Quan l'objecte han estat reduccions reconegudes per governs (com ara Holanda, el Regne Unit o Dinamarca) el preu ha oscil·lat de 4,40 a 25 US\$. Estimacions preliminars recollides pel Govern danès estableixen que els preus de reduccions d'emissions no haurien d'excedir els 13,50 euros per tona de CO₂e i que un preu realista hauria d'anar de 5,5 a 8 euros (Proposal for a climate strategy for Denmark, febrer 2003).

9. El concepte de Removal Units o RMU –crèdits resultants d'embornals es va introduir a la Setena Conferència de les Parts que va tenir lloc a Marràqueix el mes d'octubre de 2001–. L'ús dels RMU és, de moment, limitat per país i en el temps (durant el primer període de compliment).

10. La Comissió Europea calcula que el cost mitjà del dret europeu d'emissió disminuirà en un 20%, aproximadament. Commission Staff Working Paper. Extended Impact Assessment on the Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community, in respect of the Kyoto Protocol's project based mechanisms, SEC (2003) 785.

És a dir, es tracta que les empreses locals puguin crear un bé immaterial, un intangible que és font de coneixement i en conseqüència de riquesa, i que pot, o no, transformar-se en dret de propietat, és a dir, en unitat de carboni verificada de qualitat. Les empreses catalanes, amb el suport del Govern de Catalunya, poden arribar a tenir un coneixement que resulti en un intangible –en una idea entesa com a resultat d'un procés creatiu, encara que sigui elemental, que es materialitza en coses o elements–: la unitat de reducció verificada.

Catalunya podria facilitar i fer d'aglutinant dels interessos de les empreses actives en els diferents estadis esmentats pel que fa als mecanismes de projecte: empreses locals capaces de definir línies de base estàndard per a projectes a petita escala, de crear instruments per fer el monitoratge de dades i calcular reduccions i de verificar i validar aquestes reduccions. Es pot crear un grup de treball pluridisciplinari que doni suport a les empreses locals dels diferents sectors amb un cert impacte en l'escalfament global en el disseny, posada en marxa, verificació i obtenció d'una unitat de carboni resultant d'un projecte MDN o AC.

Un cop que s'hagi organitzat una assistència tècnica –mitjançant el que no deixa de ser una aliança entre el sector públic i el sector privat– es poden aprofitar iniciatives existents relatives al foment i a la promoció d'ofertes i demandes tecnològiques d'empreses catalanes en l'àmbit internacional per fomentar els acords o projectes de transferència de tecnologia transnacional.

En tercer lloc, s'han d'aconseguir unitats de carboni de qualitat

L'objectiu principal és que les empreses catalanes aconseguixin com a resultat dels projectes una unitat de carboni de qualitat, que ha de garantir guanys més importants dels projectes. Aquesta unitat de carboni verificada de qualitat podria servir per donar compliment a les obligacions comunitàries (si els mecanismes de projecte es consideren com a instruments bilaterals

que requereixen l'acord de l'Estat d'origen del projecte i de l'Estat d'acollida) o com a objecte de contractes de compravenda o altres fórmules financeres derivades.

Situant les empreses catalanes com a propietàries d'una unitat de carboni, es possibilita que les empreses locals obtinguin beneficis suplementaris en inversions en projectes que tinguin en compte aspectes d'escalfament global o, fins i tot, es pot facilitar l'accés a finançament addicional en projectes de reducció d'emissions. La unitat de carboni aspira a ser una primera matèria susceptible de ser negociada en un mercat de futurs, com les taronges o l'oli d'oliva, i el fet que Catalunya s'anticipi pot motivar que el mateix mercat de futurs es situï a Catalunya.

Justament, la possible obtenció de finançament addicional –amb la garantia d'una unitat de carboni de qualitat– pot sorgir al voltant de la creació d'un ens català on es pugui diversificar el risc de diferents projectes específics i que gestioni i processi la certificació d'unitats de carboni: un fons de carboni català.

És a dir, el Govern de Catalunya té una oportunitat per ajudar a definir en el país quines són les unitats de carboni de qualitat que tindran preus competitius en mercats internacionals de carboni i promoure inversions tecnològiques en països en desenvolupament ajudant-los a avançar cap a un model més sostenible.

La unitat de carboni aspira a ser un dret de propietat, la funció social del qual en matèria ambiental ha de ser establerta per llei segons la Constitució Espanyola. El Govern de Catalunya hauria d'ajudar el sector empresarial català per tal que pugui conquerir una nova font de primeres matèries perquè, com va dir el Jutge Holmes l'any 1922: «no hi ha un govern civilitzat si sacrifica el ciutadà més del que el pot ajudar»¹¹.

11. Pennsylvania Coal co. V. Mahon 260 US 393.

C2.1. Introducció

L'any 1960, Coase va escriure que «en un sistema de mercat en què els drets de propietat hagin estat atribuïts i els costos de transacció siguin nuls, la contractació entre les parts permetrà arribar a una distribució òptima dels recursos. Si les parts poden contractar l'eliminació de les externalitats sense costos i amb beneficis per a ambdues, s'arribarà a una redistribució òptima dels recursos independentment de la distribució dels drets de propietat» (Coase, 1960).

L'assignació dels recursos i la decisió econòmica poden confiar en l'Estat per corregir les imperfeccions derivades del funcionament del mercat o, per contra, en la coordinació social a través dels drets de propietat (Torres López, 1987). Els costos socials poden internalitzar-se mitjançant la intervenció pública i sotmesa al seu control o pel propi mercat, sota certes condicions, sense que es necessiti la intervenció de l'Estat (Boucqquey, 1998).

És evident que l'ús d'instruments econòmics suscita una sèrie de problemes que han d'afrontar-se, tant des del punt de vista jurídic com econòmic. No obstant això sempre s'ha de tenir en compte que, deixant de banda qualsevol pretensió redemptora, es tracta d'usar mitjans que permetin disminuir la demanda global d'activitats contaminants amb menys cost i més efectivitat (Rosembuj, 1994).

L'anàlisi econòmica de la propietat entén aquesta com un conjunt de drets. La descripció certa,

defensable i transmissible dels drets de propietat constitueix el requisit d'eficàcia dels mercats. Els mercats no són eficients sinó es pacta que els drets de propietat siguin «3-D»: *defined* (certs), *defendable* (defensables), i *divestible* (transmissibles) (Stroup, 1997).

Ara bé, abans de trobar-se amb drets de propietat és possible trobar-se en una esfera de creació de riquesa mitjançant intangibles. El desenvolupament de béns immaterials abans d'arribar al naixement del dret de propietat dona lloc a una riquesa difusa susceptible de crear valor i transmissible en els seus propis termes (Rosembuj, 2003).

El Protocol de Kyoto¹², en l'àmbit internacional, i la directiva europea que crea un mercat comunitari de drets d'emissió¹³ (coneguda com a *European Union Emission Trading Scheme* o **ETS**), en l'àmbit comunitari, estableixen la creació d'un mercat de tones de CO₂ equivalent¹⁴ o uni-

12. <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>

13. Directiva 2003/97 del Parlament Europeu i del Consell de 13 d'octubre de 2003, que estableix un esquema de comerç d'emissions de gasos amb efecte hivernacle a la Comunitat Europea i que modifica la Directiva 96/61 del Consell, Diari Oficial de la Unió Europea, 25 d'octubre de 2003.

14. S'ha identificat la tona de CO₂ equivalent com a unitat negociable i els altres gasos amb efecte d'hivernacle són susceptibles de ser convertits en aquesta unitat mitjançant fórmules d'equivalència basades en el seu potencial d'escalfament global.

tats de carboni, el primer a partir de l'any 2008 i la *Directiva 2003/97* a partir del 2005.

Segons les previsions del PK, el mercat permetrà que els països obligats a reduir les seves emissions (països industrialitzats) o, el que ve a ser el mateix, amb una quantitat atribuïda, expressada en fraccions de quantitats atribuïdes (o en la seva accepció anglesa *Assigned Amount Units* o AAU), puguin comercialitzar els seus AAU amb un altre país que tingui una quantitat atribuïda –i, per tant, fraccions de quantitats atribuïdes– si s'espera que les seves emissions durant el període de compliment inicial (2008-2012) siguin inferiors a la quantitat que li ha estat atribuïda inicialment. A més, els països industrialitzats podran portar a terme projectes de reducció d'emissions a països que no tenen fraccions de quantitats atribuïdes (països en vies de desenvolupament) si els projectes estan orientats cap al seu desenvolupament sostenible i si són addicionals. En aquest cas, l'ús de les reduccions que vénen d'un país sense AAU permet augmentar les emissions al país industrialitzat (amb AAU o amb obligacions de reducció).

Com s'ha explicat al capítol precedent, la transmissió d'aquestes reduccions podrà tenir lloc a través de qualsevol dels tres mecanismes flexibles establerts pel PK:

- a) Per mitjà de projectes que redueixen emissions en països industrialitzats, en el supòsit de l'aplicació conjunta (AC).
- b) Desenvolupant projectes que redueixen emissions en països en vies de desenvolupament, en el supòsit del mecanisme de desenvolupament net (MDN).
- c) Mitjançant el comerç internacional d'emissions, que permetrà que els països amb compromisos d'AAU els puguin negociar entre si.

Al final del primer període de compliment (és a dir, l'any 2012), un país complirà els seus com-

promisos en la mesura que les seves emissions siguin més petites o iguals a les fraccions de quantitats atribuïdes ajustades amb quatre «conceptes jurídics» diferents definits pel PK:

- 1) Els drets transmesos a través del mecanisme d'aplicació conjunta (anomenats unitats de reducció d'emissions; en la seva accepció anglesa, *Emission Reduction Units* o ERU).
- 2) Els crèdits resultants del mecanisme de desenvolupament net (definit com a reduccions d'emissions certificades o *Certified Emission Reductions*, CER).
- 3) Els crèdits resultants de mecanismes d'embornals (anomenats unitats d'absorció o *Removal Units*, RMU)¹⁵.
- 4) Els drets d'emissió susceptibles de ser objecte del comerç internacional d'emissions (que són justament les fraccions de quantitats atribuïdes o *Assigned Amount Units*, AAU).

En tot cas, si bé aquests conceptes no són plenament fungibles¹⁶, el PK els defineix com a drets que permeten l'emissió d'una tona de CO₂ equivalent, de tal manera que aquesta tona equivalent es considera com una unitat de carboni. Ara bé, encara que tots permetin l'emissió d'una tona equivalent de CO₂, convé diferenciar entre dos conceptes bàsics segons quin sigui el sistema de creació del dret: (i) els drets d'emissió i (ii) les unitats de reducció d'emissions que sorgeixen de mecanismes de projecte i que inclouen els ERU, els CER i els RMU.

15. El concepte de RMU es va introduir a la Setena Conferència de les Parts que va tenir lloc a Marràqueix l'octubre de 2001. Els RMU representen carboni segrestat a través d'activitats d'embornal a escala nacional que poden ser utilitzats contra el compte d'AAU dins del període en què han estat generats.

16. Els AAU són susceptibles de ser utilitzats durant més d'un període de compliment; els CER i els ERU només es poden utilitzar parcialment, i els RMU només tenen vigència durant el primer període de compliment, la qual cosa restringeix la seva utilització en el mercat de drets d'emissió.

Aquests conceptes bàsics es reprenen a escala comunitària: la *Directiva 2003/97* i la seva modificació per donar accés al mercat als mecanismes de projecte (coneguda com a *Directiva d'enllaç (linking)*¹⁷, diferencien els drets europeus d'emissió definits per la *Directiva 2003/97* i les unitats de reducció d'emissió definides pel PK (ERU i CER)¹⁸.

C2.2. Comerç de drets d'emissió

El dret d'emissió és el dret atorgat per l'autoritat rellevant per emetre en el marc d'un «sistema de límit global i comerç» (Yabar Sterling, 2001) o de «*cap and trade*», pel qual s'estableix un límit màxim d'emissions que es divideixen en quotes que s'assignen a un nombre d'agents durant un període determinat. Els agents que superin la seva quota prevista durant aquest període poden comprar les seves quotes a aquells que no la sobrepassin (Rosembuj, 2005).

La protecció ambiental justifica especialment l'establiment de límits globals a les emissions. Aquests límits són els que han d'obligar els responsables que apliquin aquelles mesures que ells estimin convenients per aconseguir el resultat ambiental desitjat, ja sigui mitjançant reduccions a la font o mitjançant la compra de quotes en el mercat.

Un sistema de límit global i comerç haurà d'incloure els elements següents:

- (a) L'obligació legal d'obtenció de quotes o permisos per emetre, o permisos que incloguin les emissions que generen determinats agents (o fonts de contaminació) durant un període de temps determinat.
- (b) Un límit global en la quantitat de quotes assignables (i emissions).

- (c) Una assignació inicial de quotes als agents, ja sigui a través d'una subhasta o de manera gratuïta.
- (d) La llibertat de transmissió de les quotes dins els límits esmentats i la determinació del preu pel mercat.
- (e) Un sistema de sancions realment dissuasiu.

El PK estableix, en el seu article 17, que les Parts incloses a l'Annex B podran participar en operacions de comerç dels drets d'emissió per tal de poder complir els seus compromisos de reducció d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. Això implica que, a partir de les fraccions assignades a escala nacional a l'Annex B del PK (les ja esmentades AAU), els països d'aquest annex poden comprar o vendre les seves fraccions assignades a altres països del mateix Annex B.

Ara bé, és evident que es plantegen una sèrie de qüestions que s'hauran d'anar resolent a mesura que s'apropi la data prevista per al funcionament del mercat internacional de drets d'emissió (l'any 2008).

D'entrada, és fonamental la previsió que els subjectes de dret puguin negociar en el mercat. Això s'haurà de preveure a escala internacional o nacional, essent els països (subjectes obligats de dret internacional) els que podran permetre que les entitats domiciliades en el seu territori puguin negociar entre si. El legislador comunitari avança i prepara les empreses europees per al mercat internacional previst per al 2008 mitjançant la creació d'un mercat de drets d'emissió de CO₂ a escala de la Unió Europea, que es posa en marxa l'any 2005. El mercat proposat és compatible amb les normes internacionals del PK i té com a objectiu aportar flexibilitat en les polítiques en matèria de canvi climàtic, al mateix temps que anticipa l'entrada en vigor del mercat internacional per als actors europeus. D'altra banda, la *Directiva d'enllaç* donarà entrada al mercat europeu a les denominades unitats de reducció d'emissions.

17. *Directiva 2004/101* del Parlament Europeu i del Consell de 26 d'octubre.

18. Els RMU resultants de projectes de segrest de carboni de moment no són susceptibles de ser convertits en drets europeus d'emissió, a causa de la seva manca de permanència i a les incerteses metodològiques que plantegen.

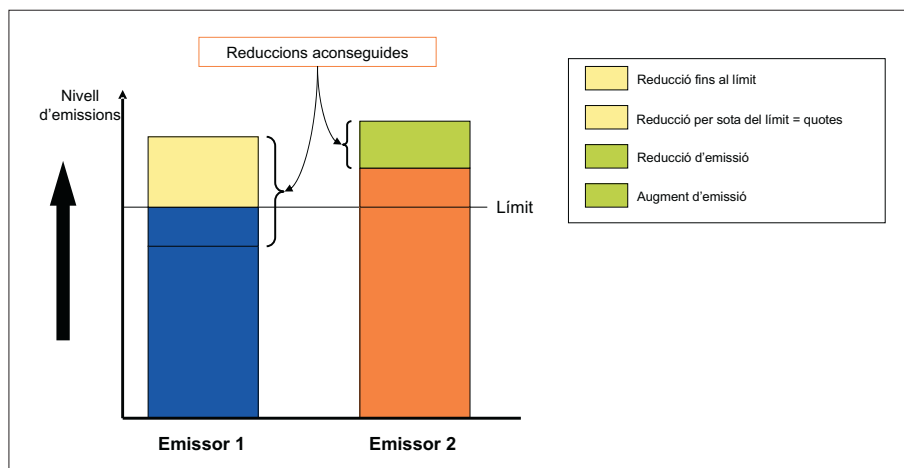


Figura C2.1. Sistema de límit global i comerç.
Font: elaboració pròpia.

A grans trets, convé esmentar que el mercat europeu inclou en el primer període de compliment (2005-2008) el diòxid de carboni i que resulta d'aplicació en una sèrie d'activitats que engloben activitats energètiques, de producció i transformació de metalls ferris, indústries minerals (vidre, ciment, ceràmica) i producció de paper i pasta de paper.

La directiva estableix un sistema «dual» en el qual conviuen el permís d'emissió i el dret d'emissió de la Unió Europea (DEUE). Les fonts que porten a terme les activitats esmentades hauran d'obtenir un permís d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle que equival a l'autorització de funcionament administrativa tradicional, amb la particularitat que no conté un límit quantitatiu a l'emissió d'aquest tipus de gasos. Per contra, el dret d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle és aquell dret creat per la Directiva que s'expressa en tones mètriques equivalents de diòxid de carboni que permet al seu titular emetre les tones expressades pel títol. Les fonts emissores hauran de presentar els DEUE equivalents a les emissions totals de la instal·lació en cada any natural. Els drets seran transmissibles i disponibles pel seu titular i seran representats mitjançant anotació electrònica.

D'altra banda, la directiva preveu que les instal·lacions estiguin sotmeses a obligacions de monitoratge, mesura i comunicació a l'autoritat competent¹⁹, com també a la verificació per tercers independents de la font d'emissió (a diferència del mecanisme previst en el PK).

En aquest sentit, la directiva s'inclina per dissenyar un dret d'emissió que, en certa manera, és un híbrid entre les unitats de reducció d'emissions i les fraccions de quantitats atribuïdes, ja que sotmet a verificació posterior les emissions i per tant «les reduccions» a les fonts emissores, qüestió que normalment queda resolta per la mateixa assignació inicial de crèdits i el monitoratge continu de les emissions de les fonts.

Pel que fa a l'assignació inicial, cada Estat membre havia d'haver proposat el seu propi Pla Nacional d'Assignació amb data 31 de març de

19. Decisió del Consell 93/389, de 24 de juny, relativa a un mecanisme de seguiment de les emissions de CO₂ i d'altres gasos amb efecte d'hivernacle a la Comunitat, modificada per la Decisió 1999/296, i Decisió de la Comissió de 17 de juliol de 2000 relativa a la realització d'un inventari europeu d'emissions contaminants (EPER), d'acord amb l'article 15 de la Directiva 96/61 (IPPC) http://europa.eu.int/eur-lex/pri/es/oj/dat/2000/l_192/l_19220000728es00360043.pdf.

2004, seguint criteris objectius²⁰. Ara bé, només cinc Estats membres han complert amb la seva obligació dins del termini legal: a saber, Alemanya, Finlàndia, Àustria, Dinamarca i Irlanda. La resta ho ha fet durant la resta de l'any 2004. A més a més, els analistes consideren que la proposta s'ha fet assignant amb una certa laxitud els DEUE als sectors industrials²¹. En tot cas, mentre la proposta de Directiva preveia que l'assignació per al primer període, 2005-2008, fos gratuïta, l'acord amb el Parlament Europeu ha portat que el text finalment adoptat prevegi que el 95% de les quotes siguin assignades gratuïtament i que el 5% restant pugui ser subhastat durant el primer període de compliment, mentre que aquests percentatges es converteixen en un 90% i a un 10%, respectivament, per al segon període de compliment.

Resumint, el règim previst per la directiva segueix el règim que està essent negociat a escala internacional pel que fa als elements essencials següents:

- a) Fungibilitat de la unitat negociable.
- b) Establiment d'un sistema d'anotació en compte.
- c) Sistema creïble de monitoratge i comunicació d'emissions.
- d) Sistema d'incompliment i sancions.

D'altra banda, el legislador comunitari opta per solucions pròpies pel que fa a:

- a) El mètode d'assignació de drets.

- b) La determinació de la font d'emissió sotmesa a les obligacions establertes a la directiva.

- c) La cobertura de gasos

- d) La verificació de les emissions *a posteriori*.

- e) L'accés de unitats de reducció verificades (CER i ERU) del PK.

És evident que l'adopció de la directiva en el si de la Unió Europea plantejarà una sèrie de qüestions que hauran de ser estudiades amb cert deteniment, tant a escala comunitària com en cadascun dels Estats membres, a l'hora de preparar la transposició de la directiva. D'entrada, el debat sobre les assignacions del DEUE a cadascun dels Estats membres a les instal·lacions cobertes per la directiva està sent conflictiu, quan s'entra en qüestions de competitivitat entre les empreses, de competència entre els diferents Estats membres, d'establiment de barreres en el mercat interior i mesures d'efecte equivalent; d'ajuts d'Estat, implicacions relatives a la liberalització del mercat elèctric, etc. la qual cosa ha motivat la presa en consideració d'una entrada en vigor anticipada de les unitats resultants del mecanisme de projecte per tal d'abaratir els costos del DEUE al mercat comunitari.

En qualsevol cas, tenint en compte que els participants en el sistema de comerç d'emissions només seran responsables d'una fracció de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle de l'Estat espanyol, aquest haurà de determinar una sèrie de magnituds amb caràcter previ a l'assignació dels drets europeus d'emissió:

- a) De l'objectiu total corresponent a l'Estat espanyol, quantes tones de CO_{2e} corresponen a CO₂ i quantes a la resta de gasos amb efecte d'hivernacle.

- b) De l'objectiu total de tones de CO₂, quantes són atribuïdes als sectors inclosos en la directiva i quantes a la resta de sectors no inclosos.

20. Els criteris, llistats a l'Annex III, inclouen: (i) consistència entre la xifra total i l'obligació de limitar emissions; amb les avaluacions del progrés real i previst del compliment dels objectius del país; amb el potencial tecnològic de les instal·lacions; amb altres normes comunitàries; (ii) no afavorir empreses o sectors; (iii) tractament de nous entrants en el mercat; (iv) reconeixement de les actuacions prèvies per mitigar els efectes del canvi climàtic; (v) informació i participació pública.

21. Carbon Market Europe, April 2, 2004, Pointcarbon.

- c) Del límit total als sectors inclosos, quantes s'atribueixen a cada sector.
- d) Dins de cada sector, quantes unitats corresponen a cada instal·lació en concret.

S'han proposat diverses metodologies per assignar les unitats, en funció del punt de partida o en funció de la consideració del potencial econòmic, tecnològic o de mercat de cada tipus d'instal·lació, però la decisió final reposa en cada Estat membre.

En tot cas, en un entorn de restricció de la capacitat d'emetre CO₂, convertit en un bé escàs, l'assignació de les unitats entre els diferents sectors, subjectes o instal·lacions causants de les emissions és un exercici d'assignació de costos per defecte:

- Les instal·lacions hauran d'adquirir en el mercat aquelles unitats necessàries per a la seva producció que no els hagin estat assignades d'entrada (o hauran de demanar la conversió d'ERU i CER).
- Si no vol veure's exclòs del mercat internacional de comerç d'emissions previst al PK, l'Estat espanyol haurà d'adquirir a altres països unitats suficients per cobrir les emissions reals produïdes per sobre de l'objectiu fixat pel PK i la «bombolla europea».

Les instal·lacions incloses en la directiva ubicades a Catalunya hauran de rebre unitats d'emissions en condicions equivalents a la resta d'instal·lacions d'un mateix sector de la resta de l'Estat. Aquestes unitats o drets d'emissions són béns escassos, perquè són exclusius del titular, i transmissibles. D'aquesta manera s'assumeix que són susceptibles d'estar en un patrimoni, és a dir, que tenen l'aparença de ser un dret de propietat.

Catalunya no tindrà un paper directe en l'assignació dels drets, ni tindrà un rol principal en la seva definició legal. Ara bé, pot anticipar la col-

laboració amb els operadors financers i preparar els mercats organitzats per rebre un bé destinat a ser negociat. De fet, la *Directiva de Serveis d'Inversió*, aprovada pel Parlament Europeu amb data 30 de març de 2004, estableix que els derivats de DEUE són instruments financers als efectes del dret comunitari.

Això implicarà que les empreses de inversió establertes a la Unió Europea hauran d'obtenir una llicència única per tal de portar a terme les activitats de serveis financers en el mercat domèstic i en el mercat únic. Això permetrà que els mercats organitzats donin més suport a les operacions amb aquests instruments, així com que les empreses d'inversió i les entitats de crèdit es beneficiïn de la llicència que ja tenen per tal de poder oferir operacions amb els derivats financers de DEUE.

Justament, si bé serà el legislador espanyol qui haurà d'acomodar el sistema financers de dret positiu, a Catalunya se li presenten unes grans oportunitats per anticipar-se a tots aquests canvis. D'una banda, Catalunya disposa d'un teixit important d'empreses d'inversió i d'entitats de crèdit que, quan tinguin coneixement de l'existència de derivats de DEUE, seran protagonistes en la presa de decisions i en la definició d'un mercat financer.

D'altra banda, res no impedeix que a Catalunya es pugui ubicar una plataforma del mercat de derivats de DEUE. Si a València es negocien el cítrics i a Andalusia l'oli d'oliva, no hi ha raons objectives per les quals es pugui impedir que Catalunya sigui la seu d'un mercat organitzat on es negociïn els futurs drets d'emissió de la Unió Europea. A més, Catalunya pot donar un suport indiscutible a la creació de riquesa per als empresaris catalans a través de la seva intervenció en la creació de l'intangible de reducció d'emissions.

C2.3. Mecanismes de projecte i la creació d'unitats de reducció d'emissions

L'intangible de reducció naixerà dels mecanismes de projecte a partir de la creació de unitats de reducció verificades. En aquest sentit, es poden definir les unitats de reducció d'emissions com aquells drets per emetre reconeguts per l'autoritat rellevant sobre la base de les reduccions aconseguides a través d'un projecte o d'una activitat determinada davant d'una línia de base, línia de referència de partida, que equival al *business as usual* si no hi hagués hagut el projecte o l'activitat.

La idea bàsica, doncs, reposa sobre el fet que els mecanismes de projecte es desenvolupen sobre l'assumpció d'una línia de base (*baseline*) d'emissions futures en absència d'una acció de mitigació o de reducció d'emissions. Una entitat porta a terme accions de mitigació dels efectes dels gasos amb efecte d'hivernacle o de la seva reducció i documenta les reduccions aconseguides sobre la línia base. En el moment en què l'autoritat competent aprova la línia base i les reduccions aconseguides, l'entitat rep crèdits per les reduccions, que corresponen al reconeixement al final del període d'haver aconseguit un nivell base d'emissió inferior al de la línia de referència (és a dir, les unitats de reducció han de ser verificades per néixer des d'un punt de vista jurídic). Les unitats de reducció primer han de ser produïdes per tal de ser susceptibles de transmissió i d'utilització posterior per complir obligacions de reducció.

El gran problema ambiental que històricament han plantejat ²² els mecanismes calculats sobre una línia de base és la manca de límit quantitatiu en les emissions globals. En principi, les

emissions totals poden augmentar en la mesura que augmenti el nombre d'entrants en el mercat o en la producció mateixa (Jones, M. et al, 2001).

A més, les unitats han de ser creades/produïdes/aprovades en virtut de cadascun dels projectes o activitats abans de poder ser susceptibles de negociació, per la qual cosa el seu valor, en certa manera, ha de ser establert cada vegada a través d'un procediment més o menys regulat, però en tot cas incloent-hi una verificació a posteriori per tercers independents dels objectius aconseguits pel projecte, la qual cosa sens dubte incrementa els costos de transacció.

L'aplicació conjunta és un mecanisme previst al PK adreçat a reduir de manera eficient les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, mitjançant projectes que redueixin directament les emissions a l'atmosfera o mitjançant projectes que segrestin les emissions de carboni. Per tal d'incentivar l'aplicació conjunta de projectes entre països industrialitzats (Annex I o entitats legals que hi estiguin domiciliades), el país d'origen finança un projecte en el país de destinació (normalment un país d'economia en transició) i els crèdits que es generen es computen directament contra les quotes atribuïdes a cadascun dels països. És a dir, un promotor identifica una inversió que reduiria les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a un país amb fraccions assignades (AAU).

Els participants en el projecte haurien de posar-se en contacte amb el país amfitrió del projecte i demanar la seva aprovació, i haurien d'obtenir l'aprovació del país d'origen del projecte, ja que els crèdits resultants es resten de la «quota» del país amfitrió i se sumen a la quota del país d'origen. Com a conseqüència, malgrat que conceptualment les unitats de reducció es creïn *ex novo* amb cada projecte, en el marc de l'aplicació conjunta no es generen nous crèdits sinó que es tracta d'una reassignació de les fraccions assignades que seran, això sí, degudament verifica-

22. Entre altres, l'US emission credit trading (1977), establert per a la lluita contra la contaminació causada pel monòxid de carboni, el plom, l'òxid de nitrogen, els sulfurs, les partícules en suspensió i COV des de 1977 i l'US Lead Phasedown (1982) establert amb la intenció de reduir els nivells de plom. National Center for Environmental Economics «The United States experience with economic incentives for protecting the environment», EPA, Washington, 2001.

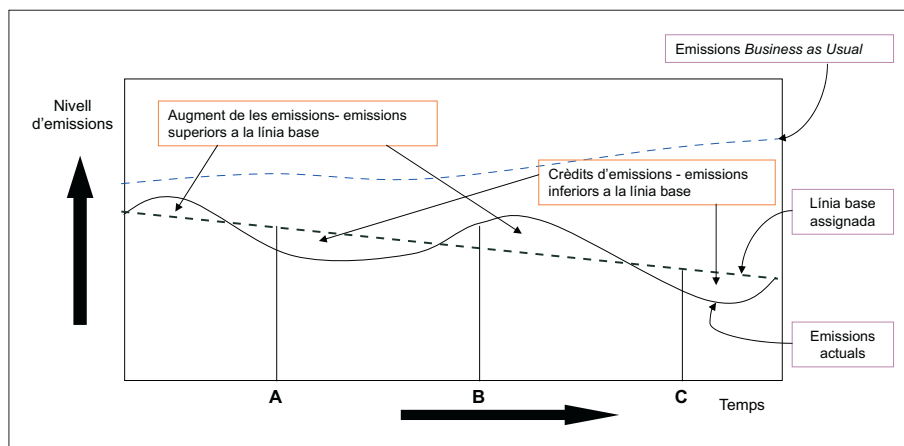


Figura C2.2. Sistema de línia base i crèdit. Al final dels períodes de compliment (A, B, C) es comparen les emissions amb la línia base d'emissions assignada. Això donarà lloc a un excés de crèdits, susceptible de ser comercialitzat, o a la necessitat de compra de crèdits per poder cobrir el el dèficit.

Font: Australian Greenhouse Office.

des per un tercer independent («zero sum operation»)²³.

L'MDN és el mecanisme que permet la cooperació entre els països desenvolupats i els països en vies de desenvolupament. El MDN permet que els països amb compromisos de reducció (com també les entitats legals públiques o privades domiciliades en aquests països) puguin obtenir crèdits certificats per la reducció de les emissions que resultin del finançament/ implantació d'un projecte en un país en vies de desenvolupament i, en conseqüència, puguin augmentar les seves emissions a casa. Segons el que preveu l'article 12 del PK, «el propòsit d'un mecanisme per a un desenvolupament net és ajudar les parts no incloses a l'Annex I a aconseguir un desenvolupament sostenible i contribuir a l'objectiu últim del Conveni». És a dir, el MDN permet que els països industrialitzats optin per reduir les emissions (objectiu últim del Conveni) allà on els resulti més eficaç fer-ho, sempre i quan es respectin els requisits establerts pel PK per tal de salvaguardar la posició del país en vies de desenvolupament.

De fet, a part del desenvolupament sostenible el PK també estableix que el MDN haurà de resultar en beneficis reals, mesurables i a llarg termini per frenar el canvi climàtic al país amfitrió, com també que els projectes MDN hauran de resultar en reduccions d'emissions que siguin addicionals a les que es produirien en absència de l'activitat de projecte.

El principal problema es planteja justament amb relació a l'addicionalitat dels projectes, ja que s'ha de demostrar que el projecte no s'hagués portat a terme si no hagués estat per l'MDN. En qualsevol cas, a diferència de l'AC, i per tal de salvaguardar el bon ús de l'MDN, les unitats de reducció no naixeran fins que siguin certificades per un comitè supervisor de les Nacions Unides.

En l'aplicació conjunta el projecte haurà de ser aprovat per les autoritats rellevants en el país de destinació i en el país d'origen –pel fet, ja esmentat, que hi ha una transferència de quotes (AAU)– i pel que fa al mecanisme de desenvolupament net, només caldrà l'aprovació per l'autoritat del país d'origen, podent ser objecte d'inversions multilaterals mitjançant un fons.

23. Els verificadors d'AC en el marc de l'ETS poden ser verificadors acreditats EMAS (Reglament EC 761/2001) amb coneixements de canvi climàtic.

La Directiva d'enllaç²⁴ preveu com entraran aquestes unitats i d'altres procedents de mercats internacionals, estatals o, fins i tot, regionals al mercat europeu. És a dir, com es convertiran els CER i els ERU (o altres unitats reconegudes) en drets d'emissió europeus, basant-se en les regles que li són pròpies.

A grans trets, la directiva preveu:

- a) Les instal·lacions demanaran la conversió de CER i ERU a l'autoritat competent de cada Estat membre.
- b) Sembla que queden exclosos els projectes nuclears –segons les regles internacionals del PK– els embornals i els projectes en els sectors inclosos a la *Directiva 2003/97* (per evitar doble comptabilitat per la mateixa tona de CO_{2e}), però no les grans hidroelèctriques.
- c) Els CER i els ERU són susceptibles de ser comercialitzats al mercat europeu a partir del 2005, i així es desvinculen de l'entrada en vigor del PK.

Queden pendents de resoldre els elements següents:

- a) L'establiment d'un límit màxim a l'ús de les unitats de reducció verificades a escala comunitària, estatal o, fins i tot, per tal de guanyar competitivitat i per disminuir el cost de la tona de CO₂, l'establiment d'un límit zero.
- b) L'establiment del límit qualitatiu, la no inclusió de determinats projectes, podria ser una moneda de canvi amb el límit quantitatiu. És a dir, si hi hagués un màxim en el nombre d'unitats de reducció verificades, alguns Estats membres demanarien la possible entrada de tots els projectes del PK, inclosos els embornals.

- c) Es podrien incloure projectes nacionals en una segona fase.

La *ratio legis* de la proposta de directiva d'enllaç és –com la *Directiva 2003/97*– aconseguir un equilibri entre els objectius ambientals de compliment dels límits d'emissions i els objectius d'eficiència econòmica. Els objectius ambientals inclouen la suplementarietat (límit quantitatiu); les reduccions mesurables i permanents d'emissions, co-beneficis, incentius per tal que les empreses endeguin projectes, efectes a la transferència de tecnologia i contribució al desenvolupament sostenible. Els objectius econòmics inclouen la contribució a la innovació i les oportunitats de mercat per a companyies al mateix temps que es redueixin costos, minimitzant els efectes sobre la competitivitat de la indústria europea.

El compliment de l'objectiu ambiental que dona lloc al naixement de la unitat de reducció verificada fa que aquesta vingui definida per una sèrie d'elements addicionals a la reducció *per se*:

- a) Metodologies de càlcul de línies de base.
- b) Criteris per aplicar addicionalitat.
- c) Procediments de validació.
- d) Aprovació per part dels països d'origen i amfitrions, en el cas que n'hi hagi.
- e) Posada en marxa de registres nacionals.
- f) Monitoratge i producció de reducció.
- g) Verificació periòdica i certificació.
- h) Pagaments per lliurament de les unitats de reducció.
- i) Transmissió de les unitats de reducció al comprador.

24. *Directiva 2004/101/CE publicada el 27 d'octubre de 2004.*

És a dir, les unitats de reducció són béns que resulten d'intangibles molt heterogenis, que depenen del seu origen i de la credibilitat de les metodologies del projecte. Es diu que són intangibles perquè són factors no físics que contribueixen o són utilitzats en la producció o provisió de serveis, o que s'espera que generin futurs beneficis productius als individus o empreses que controlen l'ús d'aquests factors (Blair-Steven, M.M, Wallman, M.H, 2000).

La intangibilitat comptabilitza abans el control sobre els factors intangibles que la propietat sobre aquests. La intangibilitat es col·loca com un referent global i unitari en la activitat, transcendent la identificació dels components, per tal de qualificar una perspectiva que sorgeix o pot sorgir d'un sistema caracteritzat per la creació de valor (Rosembuj, 2003).

El bé immaterial és el suport a la creació de riquesa: la unitat de reducció. El bé immaterial serà l'objecte de drets subjectius tutelats, davant dels altres. La unitat de carboni –dret o unitat de reducció verificada– aspira a esdevenir un dret de propietat. Ara bé, pot haver-hi possessió d'idees que són béns immaterials, tot i que no dotin el seu titular de la propietat plena.

Les energies s'integren com a béns immaterials (Díez-Picazo, 1995) que s'exploten per descobriment o invent de l'home idònies per a la creació d'utilitat (solar, tèrmica, nuclear). Res no impedeix que les reduccions de gasos amb efecte d'hivernacle tinguin un tractament similar al de les energies.

Hi ha diferències destacades entre un actiu material i un actiu immaterial. En primer lloc, el bé immaterial té com a font el coneixement. Es tracta d'un bé públic, amb la qual cosa el seu consum individual no perjudica la seva utilització per altres. El bé material, per contra, suposa que la seva utilització per algú signifiqui limitació d'ús per un altre. En segon lloc, el bé immaterial, de coneixement, no es desgasta per l'ús, però es depre-

cia ràpidament per la creació de nou coneixement. El bé material, al contrari, es deprecia per l'ús, de forma sistemàtica o accelerada.

En tercer terme, els drets de propietat són més clars i comprensius respecte als béns materials que als immaterials, freqüentment limitats o de perfils borrosos. En quart lloc, hi ha béns immaterials que no estan protegits per drets de propietat, sinó per drets possessoris, com el *saber com* o la investigació i el desenvolupament, o processos de gestió, com pot ser el desenvolupament de metodologia pròpia per calcular les línies de base o per verificar les emissions de determinats projectes de reducció, que suposen un risc clar per a la organització, amb la qual cosa, mereixen protecció mercantil i penal específica (competència deslleial o violació del secret d'empresa).

Aquest poder de possessió es manifesta plenament en front de l'absència de dret de propietat. En l'àmbit del canvi climàtic, abans d'arribar al naixement de la unitat de reducció verificada s'acumula una riquesa difusa, un bé immaterial d'un cost molt elevat²⁵ i d'una volatilitat molt elevada, que serà o no susceptible de crear valor i transmissible en els seus propis termes.

És en aquest moment quan Catalunya pot jugar un paper important a l'hora de donar assistència tècnica als actors econòmics amb relació a la possible definició i ús de mètodes pràctics per tal de determinar les línies de base –sobretot en projectes a petita escala²⁵, que són els que tendiran a desenvolupar els actors catalans. Es tracta de facilitar la protecció de la possessió de l'empresari català sobre l'intangible, amb l'objectiu que es converteixi en dret de propietat. Quan l'intangible es converteixi en unitat de reducció verificada, en dret europeu d'emissió, en AAU o finalment en unitat de carboni, quedarà emparat per la protecció exclusiva –propietat o quasi propietat– atorgada pel legislador estatal, comunitari o internacional.

25. Modalitats simplificades adoptades a la COP 8 (Delhi – Índia).

A Catalunya es pot acompanyar l'empresari en el camí cap al dret de propietat, amb la creació d'instruments per al monitoratge de les dades rellevants i per calcular les reduccions d'emissions, o definint procediments per validar i verificar les reduccions d'emissions, o oferint *saber com* per a determinats projectes específics.

En definitiva, es tracta que les empreses locals puguin acumular riquesa quan optin per tirar endavant projectes directes de tecnologies netes o de reduccions d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a l'estranger, assegurant que d'aquests projectes sorgeixen unitats de carboni verificades resultants del mecanisme de projecte o l'intangible, el bé immaterial, tingui valor al mercat. Una bona línia de suport augmentarà la reputació, fama i crèdit de l'empresari català al mercat, és a dir, el seu fons de comerç.

Paral·lelament, Catalunya podria facilitar i aglutinar els interessos de les empreses actives en els diferents estadis esmentats en l'iter d'un mecanisme de projecte: empreses locals capaces de definir línies de base estàndard per a projectes a petita escala, de crear instruments per al monitoratge de dades i calcular reduccions, i de verificar i validar aquestes reduccions. Es pot crear un grup de treball pluridisciplinari que doni suport a les empreses locals dels diferents sectors amb un cert impacte en l'escalfament global en el disseny, posada en marxa, verificació i obtenció d'una unitat de carboni resultant d'un projecte MDN o AC.

Un cop que s'hagi organitzat una assistència tècnica – mitjançant el que no deixa de ser una aliança entre el sector públic i el sector privat – un suport a l'intangible, al mateix fons de comerç de les empreses catalanes, es poden aprofitar iniciatives existents relatives al foment i a la promoció d'ofertes i demandes tecnològiques d'empreses catalanes en l'àmbit internacional per fomentar els acords o projectes de transferència de tecnologia transnacional.

Tanmateix, res no impedeix que es comenci a treballar en projectes domèstics de reducció de CO₂ per, fins i tot, crear un mercat de reduccions a Catalunya, que podria tenir entrada en el mercat europeu.

C2.4. Conclusions

En el bé ambiental es dona un interès jurídic immaterial protegit que és discernible del substrat natural, físic, que li dona suport. El Protocol de Kyoto ha fet un pas endavant ambiciós i revolucionari, deixant enrera l'etern debat sobre si la política ambiental s'ha de desenvolupar en el context de l'economia, buscant instruments de control que aconseguen unir les exigències de protecció ambiental amb les exigències de competitivitat del sistema econòmic plantejant l'ús dels mecanismes flexibles (de mercat) per tal que els països industrialitzats puguin complir amb els seus requisits de reducció d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle.

Els mecanismes flexibles tendeixen a crear una nova figura: la unitat de carboni. L'opció de crear un mercat d'unitats de carboni respon a l'objectiu que els agents econòmics siguin els que optin pel mètode més eficient per tal de reduir les seves emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. La unitat de carboni aspira a convertir-se en un dret exclusiu, excloent, transmissible i susceptible d'estar en un patrimoni, és a dir, un dret de propietat.

La tona equivalent de CO₂ té totes les característiques necessàries per ser considerada una matèria primera més, un actiu material. La seva utilitat es manifesta, com la seva substantivat i la seva individualització, mitjançant mecanismes de mesura, que són el fonament tècnic de les obligacions de monitoratge. La seva apropiabilitat és defensable. La tona equivalent de CO₂ pot ser objecte de transaccions comercial, com resulta de la existència de contractes. És un bé susceptible d'intercanvi comercial, com a la pràctica s'ha demostrat.

Si el legislador internacional i el comunitari estan optant decididament per la introducció d'un incentiu econòmic per frenar els efectes del canvi climàtic, basat en la capacitat de transmissió d'un bé susceptible de ser exclusiu i excloent del seu titular en un mercat, Catalunya té una gran oportunitat per avançar en la creació d'un intangible, d'un bé immaterial que pot ser font de riquesa per al seu creador.

El camí fins el naixement de la unitat de carboni està ple de dificultats tècniques, polítiques i econòmiques, però tot el que sigui fer via per tal de passar els obstacles és creació de valor. El valor del desenvolupament de metodologies de línies de base, de tecnologies de reducció, de *saber com* i d'investigació i desenvolupament és un intangible que dóna suport a la creació de riquesa. Una línia de suport correcta augmentarà la reputació, fama i crèdit de l'empresari creador al mercat, és a dir, augmentarà el seu fons de comerç.

Referències bibliogràfiques

- BARON, R. (1999). *An assessment of liability rules for International GHG Emissions Trading*. París: International Energy Agency. <[http://www.oalis.oecd.org/oalis/2000/doc.nsf/LinkTo/com-env-epoc-iea-slt\(2000\)6](http://www.oalis.oecd.org/oalis/2000/doc.nsf/LinkTo/com-env-epoc-iea-slt(2000)6)>
- BARON, R. (2001). *International emission trading. From concept to reality*. International Energy Agency.
- BARON, BOSI, LANZA, y PERSHING (1999). *A preliminary analysis of the EU proposal on the Kyoto mechanisms*. París: International Energy Agency. (IEA Information Paper, 28).
- BARON, R. (2001) *The commitment period reserve*. París: International Energy Agency. <<http://www.oecd.org/pdf/M00020000/M00020141.pdf>>
- BLAIR-STEVEN, M.M.; WALLMAN, M.H., (2000). *Unseen Wealth. Report of the Brooking Task Force on Understanding Intangible Sources of Value*. Washington..
- BOUCQUEY, N. (1998). *Aspects juridiques des marchés de pollution: conception, regulations et responsabilité*. Brusel·les: Bruylant.
- BRACK, D.; GRUBB, M.; WINDRAM, C. (2000). *International Trade and Climate Change Policies*. Londres: The Royal Institute of International Affairs and Earthscan Publications.
- CARRASCO GARCIA, C. (2001). "Res communes omnium ¿categoría jurídica del Derecho romano con vigencia en la actualidad?" *Revista Interdisciplinar de Gestión Ambiental* [Madrid], (noviembre 2001).
- CASTAN TOBEÑAS, J. (1987). *Derecho civil español*, Madrid, HERNÁNDEZ GIL A. (1983) *Derecho de obligaciones*, Centro de Estudios Universitarios Ramón Areces, Madrid.
- CHINCHILLA, C. (1998). *La radiotelevisión como servicio público esencial*. Madrid, 1988.
- CHINCHILLA, C. (2002). *Bienes patrimoniales del Estado (concepto y formas de adquisición por atribución de ley*. Madrid: Marcial Pons.
- COASE, R. (1960). "The problem of social cost". *The Journal of Law and Economics*, vol. 3, (octubre). Reeditat a COASE, R. (1968). *The firm, the market and the law*. Chicago: University of Chicago.
- CORRALES RODRIGANÉZ, M. (2002). "Cambio climático: el protocolo de Kioto sobrevive". *Revista Interdisciplinar de gestión ambiental*, (març).
- CROS C., GODARD O. (1997). "Environnement, trajectoire institutionnelle et instruments économiques". A: *Droits de propriété et environnement*. París: Dalloz.
- DIEZ-PICAZO, L.; GULLON, A. (1995). *Sistema de derecho civil*. Madrid: Tecnos.
- ELLIS J. (2001). *Forestry projects: permanence, credit accounting and lifetime*. París: Organización para la Cooperación y el Desarrollo. <<http://www.oecd.org/pdf/M00023000/M00023450.pdf>>
- GARCIA DE ENTERRIA, E.; FERNÁNDEZ, T-R. (2000). *Curso de derecho administrativo*. Madrid: Civitas.
- GARRIDO FALLA, F.(1982). *Tratado de derecho administrativo*. Madrid.
- GODARD, O. (2001). *Domestic transferable permits for environmental management*. París: Organización de Cooperación Económica y Desarrollo.
- GOLDBERG, D.; PORTER, S.; LaCASTA N.; HILLMAN E. (1998). *Responsibility for non-compliance under the Kyoto Protocol's mechanisms for co-operative implementation*. Washington D.C.: Center for International Environmental Law; Euronatura.
- GRUBB, M.; VROLIJK C.; BRACK D., (1999). *The Kyoto Protocol: A guide and assessment*. Londres: The Royal Institute of International Affairs and Earthscan Publications.
- HAITES, E.; MISSFELDT, F. (2001). "Liability rules for international trading of greenhouse gas emissions quotas". *Climate Policy*, núm. 1, p. 85-108

- HERRERA MOLINA, P.M. (2000). *Derecho tributario ambiental (la introducción del interés ambiental en el ordenamiento tributario)*. Madrid: Marcial Pons.
- IGLESIAS CAPELLAS, J. (2002). *Derecho Administrativo*. Barcelona: El Fisco.
- Informe tècnic núm. 60 de l'Agència Europea del Medi Ambient. *Annual European Community Greenhouse Gas Inventory 1990-1999. Submission to the Secretariat of the UNFCCC*. (2001). Copenhagen: Agència Europea del Medi Ambient. <http://reports.eea.eu.int/Technical_report_No_60/en/>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (1990). *Climate Change: The Scientific Assessment*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (1996). *Climate Change 1995: The Scientific Assessment*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Assessment*. Cambridge: Cambridge University Press.
- JONES, M.; BATTLE, E.; BELL, W.; BISHOP M.; GOETZE D.; EYZAGUIRRE J. Greenhouse gas emission trading manual. United Nations Conference on Trade and Development, 2001 <<http://www.unctad.org/en/subsites/etrade/publications.htm>>
- KETE N. (1992). *Chapter 4. The US Acid Rain Control Allowance Trading System. Climate change. Designing a tradeable permit system*. París: Organización para la Cooperación y el Desarrollo.
- MILLAN NAVARRO, R. *Los mercados de futuros de electricidad*. Madrid: Civitas.
- National Center for Environmental Economics (2001). *The United States experience with economic incentives for protecting the environment*. Washington D.C.: Environmental Protection Agency.
- PADRON FUMERO, N. (1999). Los mecanismos de flexibilización en el marco del cambio climático. *Revista mensual de Gestión Ambiental*, (agost – setembre).
- PARADA, R. (2000). *Derecho administrativo. Parte General*. Madrid: Marcial Pons.
- PAREJO, L. (1983). “Dominio público: un ensayo de reconstrucción de su teoría general”. *Revista de Administración Pública*, vol III, núm. 100-102, p. 2.414.
- PEREZ-ARDA, J. (2000). *Introducción al dominio público. Telecomunicaciones: estudios sobre dominio público y propiedad privada*. Madrid: Marcial Pons.
- ROSEMBUJ, F. (1994). *La gestión de la empresa y el medio ambiente*. Barcelona: Einia.
- ROSEMBUJ, F. (2001). “Hacia la anticipación de decisiones empresariales frente al cambio climático”. *Empresa y medio ambiente*, núm. 2.
- ROSEMBUJ, F. (2002). “Com podem fer negocis amb el temps” *Dossier Econòmic*.
- ROSEMBUJ, F. (2002). “La Unidad de Carbono: qué son y qué pueden ser en derecho español”. *Revista Interdisciplinar de Gestión Ambiental*, [Madrid], (septiembre).
- ROSEMBUJ, F. (2004). “El mercado financiero de derivados de derechos de emisión”. *Revista Interdisciplinaria de Gestión ambiental* [Madrid], (abril). (Aceptada i dependent de publicació).
- ROSEMBUJ, F. (2005). *El precio del aire. Análisis jurídico del mercado de derechos de emisión*. Barcelona: El Fisco.
- ROSEMBUJ, Tulio. (2003) *Intangibles: la fiscalidad del capital intelectual*. Barcelona: El Fisco.
- ROSENWEIG, R.; VARILEK M.; JANSSEN J, (2002). *The emerging international greenhouse gas market*. Estats Units d'Amèrica: Pew Center of Global Climate Change.
- SANZ CABALLERO, J.I. (2000). *Derivados financieros*. Barcelona: Marcial Pons.
- SANZ PEREZ, D. (1999). *La Administración local y la protección de la atmósfera*. Barcelona: Cedecs.
- STROUP, R. (1997). “Droit de propriété, justice et efficacité de la politique environnementale”. A: FALQUE-MASSENET, M. (dir.) *Droits de propriété et environnement*. París: Dalloz.
- The Earth Council and Global Change Strategies International Inc. (2001). *Greenhouse Gas Emission Trading Manual*. Ginebra: United Nations Conference on Trade and Development. <<http://www.unctad>>.
- TORRES LOPEZ, J. (1987). *Análisis económico del derecho*. Madrid.
- TRILLO-FIGUEROA J.; DE BORJA, F. (1998). *La regulación del sector eléctrico*. Madrid: Civitas, p. 318 i ss.
- YABAR STERLING, A.. (2000). “La aplicación de los mecanismos derivados del Protocolo de Kioto para mitigar los efectos del cambio climático. Balance de situación en el mundo, en la Unión Europea y en España”, *Noticias de la Unión Europea*, p. 125.
- YABAR STERLING, A. (2001). *Alternativas de mitigación del cambio climático. Instrumentos económicos y de mercado. Seminario organizado por la Fundación Gas Natural*. Madrid, 29 de noviembre de 2001.

C3. Percepció i comunicació sobre el canvi climàtic

Joan David Tàbara

IEST-UAB

Joan David Tàbara (Barcelona, 1964) ha estat professor associat de sociologia ambiental a la llicenciatura de Ciències Ambientals de la Universitat Autònoma de Barcelona i és professor associat a la Universitat Pompeu Fabra en l'assignatura de gestió del medi ambient. Ha participat en projectes de recerca socioambiental d'àmbit internacional, com *Governance and Environment*, realitzat per la Universitat de les Nacions Unides i la Universitat Pompeu Fabra, o el projecte *Urban Lifestyles, Sustainability and Integrated Environmental Assessment (ULYSSES)*, dut a terme a l'Institut d'Estudis Socials Avançats del Consell Superior d'Investigacions Científiques (IESA-CSIC), on va treballar com a investigador durant cinc anys.

Actualment és investigador de l'Institut de Ciència i Tecnologia Ambiental (ICTA) de la Universitat Autònoma de Barcelona, on realitza la seva principal tasca de recerca en àrees com la bioseguretat agrícola, el canvi climàtic, la nova *sustainability science* i les metodologies d'avaluació ambiental integrada. Participa en projectes europeus com *Precautionary Expertise in Genetically Modified Crops (PEG)*, *Harmonising Cooperative Learning in Water Management (HARMONICOP)*, *Sustainability Advanced Test (SustA-Test)* i *Methods and Tools for Integrated Sustainability Assessment (MATISSE)*.

Síntesi	777
C3.1. Introducció	779
C3.2. La percepció del canvi climàtic a Catalunya	780
C3.2.1. Les aproximacions quantitatives	
C3.2.2. Estudi de percepcions sobre el canvi climàtic a l'àrea metropolitana de Barcelona	
C3.2.2.1. El disseny metodològic	
C3.2.2.2. L'anàlisi de narratives	
C3.2.2.3. Alguns resultats quantitius	
C3.2.2.4. Els informes ciutadans	
C3.2.2.5. Resultats del grup de discussió amb experts	
C3.3. El tractament del canvi climàtic a la premsa de Catalunya en el període 1990-2002	805
C3.3.1. Anàlisi de l'evolució del nombre d'articles sobre el canvi climàtic publicats als principals diaris de Catalunya	
C3.3.2. Anàlisi dels acudits publicats per la premsa	
C3.4. Conclusions	810
Referències bibliogràfiques	814

Síntesi

A Catalunya, la preocupació pel canvi climàtic no ha estat gaire significativa i, en tot cas, ha format part de la preocupació pels problemes ambientals en general, i al mateix temps, sembla ser que el coneixement d'aquest problema per part dels catalans també ha estat baix. Així, i a partir d'una petita mostra de 200 individus feta l'any 1994, el canvi climàtic apareixia com el segon problema més desconegut o aquell del que costava més donar-ne una opinió específica d'una llista de 12 problemes ambientals globals. És possible, però, que aquesta preocupació i l'exposició a la informació sobre el clima s'hagin incrementat gradualment en els darrers anys. Segons una enquesta feta l'any 2000, on ja es disposava d'una mostra de 2.000 individus residents a Catalunya, el canvi climàtic apareixia com la tercera font de preocupació ambiental per part dels ciutadans. Concretament, la suma de les respostes de persones que afirmaven estar «totalment» o «força» preocupades per problemes ambientals donava els percentatges de 95,0% en el cas dels incendis, el 98,4% en el cas de l'afebliment de la capa l'ozó, i el 86,5% pel que fa al canvi climàtic.

No obstant, els límits que tenen les metodologies quantitatives per estudiar temes de gran complexitat i on les persones entrevistades normalment tenen poca experiència personal, com és el cas del canvi climàtic, obliga a utilitzar altres aproximacions metodològiques, principalment de caràcter qualitatiu i integrador. En aquesta recerca, es va dissenyar una nova metodologia, anomenada *Grups de Discussió d'Avaluació Integrada* (*Integrated Assessment focus groups*) dins del marc d'un projecte europeu anomenat *Ulysses*. El seu objectiu era desenvolupar un procediment que permetés obtenir no només la suma d'opinions superficials i individuals en un moment determinat, sinó que pogués donar compte de processos d'aprenentatge social i dia-

lògic en temes de sostenibilitat per a la generació de *coneixements i reflexions col·lectives* científicament i políticament rellevants. I al mateix temps una mena de situació experimental que ens ajudés a entendre com es podria comportar la societat en general sobre aquesta qüestió.

Es partia del presupòsit que té poc sentit preguntar al públic què pensa sobre el canvi climàtic o què s'hauria de fer al respecte si mai abans no ha tingut prou temps per reflexionar-hi i o no té prou coneixement de causa. Així, es va consultar un total de 38 ciutadans no experts residents a l'àrea metropolitana de Barcelona, en grups de 6 a 9 persones. Les consultes van durar 12,5 hores per a cadascun dels grups, i es van agrupar en 5 sessions, realitzades en el període 1996-1999. A fi d'enriquir el procés de discussió, els participants rebien i aportaven diversos *inputs* d'informació, tant de fonts expertes com no expertes. Una de les principals fonts d'informació fou l'ús interactiu de models de simulació.

La forma d'emmarcar les causes i les possibles solucions al canvi climàtic per part del públic no expert fou peculiar. Sovint feien menció a referents i a aspectes de caràcter moral o psicològic, com l'egoisme, la independència i la intel·ligència respecte al consum. En particular, reconeixien que moltes de les accions que es podrien prendre al respecte no depenien tant de disposar de més o menys informació o coneixement, sinó d'altres raons relatives a la 'comoditat', a 'l'economia' o 'als polítics'. Constituïen doncs, 'causes' del canvi climàtic de caràcter essencialment social, moral i polític, i que poc tenien a veure amb la informació proporcionada sobre els cicles biogeoquímics o la informació aportada pels científics.

Cal destacar que al principi del procés la majoria dels participants estaven d'acord amb l'existència real del canvi climàtic. Malgrat tot, i en graus

diferents, els ciutadans consultats reflexionaven sobre aquest fenomen no sense fer ben palesos els seus dubtes o recels. De fet, la polarització entre els que creien en l'existència del canvi climàtic i els que no hi creien era més gran al començament del procés. A mesura que avançaven les discussions, les certes sobre l'existència última del canvi climàtic començaren a posar-se en dubte, encara que no fou així pel que fa a les evidències sobre la necessitat d'actuar, les quals quedaren reforçades.

Concretament, i segons aquesta recerca, un procés deliberatiu dirigit a l'aprenentatge social sobre el canvi climàtic a Catalunya podria donar lloc a:

- a) Un increment del reconeixement de la incertesa sobre la seva existència o inexistència últimes del canvi climàtic i, paral·lelament, de les incerteses inherents als processos de producció de coneixement científic.
- b) Un augment del sentiment de la necessitat d'actuar i de fer-ho el més aviat possible.
- c) Una major acceptació de la necessitat d'aplicar mesures econòmiques i legals (les quals eren força rebutjades a l'inici del procés).
- d) Més consciència sobre la necessitat de reduir, en part, el consum del conjunt de la població. Tanmateix, però, se seguiria mantenint la percepció que les decisions relatives al canvi climàtic no haurien de seguir principalment criteris econòmics; que les prohibicions i mesures legals o econòmiques són menys desitjables que les educatives o voluntàries; i que seria preferible trobar fonts de d'energia alternatives, reduir els residus i trobar noves formes de transport abans que reduir el propi consum (en general es prefereix canviar l'estructura de la producció d'energia que haver de disminuir el consum personal, malgrat que una contenció del consum d'energia del conjunt de la societat es veu com un fet positiu).

Els sectors on es creu que seria més adient actuar són l'energètic, el transport i els residus, juntament amb la planificació del territori. Les opinions extretes a partir d'aquestes reunions amb persones no expertes foren complementades amb les opinions d'un grup d'experts i polítics. Aquest darrer grup mostrà un remarcable escepticisme respecte als models climàtics i exhibí una actitud de desconfiança més gran que la que mostrava el públic general.

El seguiment d'un total de 941 notícies i articles apareguts a tres dels diaris de més tiratge a Catalunya al llarg del període 1990-2002 permet observar una tendència creixent de la presència de les informacions relatives al canvi climàtic al llarg de tota la dècada. No obstant això, la comunicació sobre el canvi climàtic a la premsa escrita catalana ha estat molt baixa al llarg d'aquest període. En tot cas, també ha estat subjecta a cicles, a esdeveniments i conferències internacionals com va ser la negociació del Protocol de Kyoto, moment on la comunicació sobre el canvi climàtic fou màxima. Molt probablement, la major cobertura als mitjans de comunicació hagi contribuït positivament a incrementar la consciència general sobre aquest problema a Catalunya.

En definitiva, és molt probable que el canvi climàtic comenci a 'socialitzar-se', en tant que comença a convertir-se en un problema social i polític a través de diverses vies. En un principi, els mitjans de comunicació hi tingueren un paper destacat, però és molt probable que en un futur proper aquest procés d'afirmació i d'internalització social continuï i s'estengui a través de nous mecanismes socials legals o econòmics ja en marxa (com les que proposa el *Pla Europeu del Canvi Climàtic*). En tot cas, el paper de l'educació i d'altres processos d'aprenentatge social tindran un paper destacat. Una educació, però, que segons els resultats disponibles, difícilment podrà resoldre les incerteses socials sobre el clima i (fins i tot les podria fer augmentar) i que estarà molt condicionada per les actituds de la societat i les demandes d'accions de caràcter precautori.

C3.1. Introducció*

Aquest capítol pretén acostar-se a l'anàlisi conjunta de les percepcions sobre el canvi climàtic que tenen els ciutadans de Catalunya i a la manera com el canvi climàtic ha estat comunicat al llarg de la darrera dècada a través de la principal premsa diària del país. Recerques empíriques realitzades en altres contextos europeus, com el britànic (C. Lacey & D. Longman, 1997), han mostrat que hi ha una correlació notable entre les percepcions del públic en matèries ambientals complexes –que la població tendeix a veure llunyanes o poc lligades als seus problemes quotidians– i la seva aparició a la premsa. Molt probablement això és el que ha passat amb el canvi climàtic a Catalunya, on els seus cicles d'aparició a la premsa han tendit a coincidir en gran mesura amb els moments d'atenció per part del públic i amb determinats esdeveniments significatius en l'àmbit internacional.

Aquesta contribució explora les percepcions i la comunicació sobre el canvi climàtic a Catalunya a través de tres vies. En primer lloc, es mostren algunes de les poques dades quantitatives disponibles, procedents de diversos sondeigs realitzats a Catalunya que s'han interessat en estudiar aquestes qüestions. Tot seguit es presenten uns

resultats inèdits fins ara, bàsicament de caràcter qualitatiu, obtinguts a partir d'un projecte de recerca europeu anomenat *Ulysses*, i que va realitzar-se durant tres anys i mig (des de l'any 1996 al 1999) a l'Institut d'Estudis Socials Avançats del Consell Superior d'Investigacions Científiques de Barcelona. El canvi climàtic va tenir un paper molt destacat en aquella recerca socioambiental bàsica, tot i que pretenia abastar moltes vessants diferents, tant metodològiques com teòriques. Finalment, s'examina la comunicació pública del canvi climàtic a través de la premsa, analitzant l'evolució de tots els articles publicats en tres dels diaris de més tiratge a Catalunya que tractaven sobre l'escalfament global de la Terra durant el període 1990-2001.

Els resultats que es presenten en aquest capítol pretenen posar de manifest tot un conjunt de percepcions existents sobre el canvi climàtic i diverses maneres d'emmarcar aquest fenomen en el context català i que inevitablement prenen formes molt diverses. L'estudi també té en compte l'anàlisi tant de dades de caràcter qualitatiu com quantitatiu i inclou altres expressions i llenguatges, com és el cas de transcripcions de grups de discussió, de grafits o, fins i tot, d'acudits de diari. L'objectiu no ha estat cap altre que aportar una interpretació més completa, que superi l'anàlisi superficial de dades quantitatives. A més, aquesta recerca es concentra en l'avaluació de les formes i representacions socials sobre el clima mantingudes tant per part de ciutadans

* L'autor vol agrair el suport rebut de Daniel Polo en les tasques d'obtenció de material empíric per elaborar aquest treball, i de Montserrat Masó pel que fa a l'apartat de comunicació, així com el de Cristina Querol i Meritxell Costejà en el projecte *Ulysses*.

no experts com d'altres actors implicats que participen en la construcció social i política el canvi climàtic a Catalunya, i especialment, pel que fa a les seves causes, conseqüències, mesures i responsabilitats.

C3.2. La percepció del canvi climàtic a Catalunya

C3.2.1. Les aproximacions quantitatives

Hi ha molt poques investigacions empíriques dedicades a l'estudi de les percepcions de la població catalana sobre el canvi climàtic. La major part dels estudis que s'han realitzat fins ara i que han inclòs preguntes sobre la preocupació o el nivell d'informació respecte al canvi climàtic ho han fet sempre com a part de recerques socioambientals més generals.

Una primera aproximació a aquestes percepcions entre els catalans es pot trobar en dos sondeigs quantitius realitzats els anys 1994 i 2000¹. Encara que no se'n poden treure gaires conclusions, a causa de l'escassetat de resultats, sí que es pot observar com la percepció de la població de Catalunya amb relació a la gravetat o la importància del canvi climàtic pot haver-se incrementat al llarg dels anys, tot i que continua sent baixa i no ha estat valorat com el principal problema ambiental que cal afrontar a escala global. Així doncs, és probable que la preocupació dels catalans pel canvi climàtic hagi estat relativament estable al llarg de la dècada dels noranta, encara que amb una lleugera tendència a augmentar, fet que formaria part d'una preocupació més elevada de la població pels problemes ambientals globals en general.

1. A Catalunya, al llarg dels anys noranta es van realitzar altres sondeigs sobre temàtiques relacionades amb el medi ambient, però el tema del canvi climàtic no s'hi va reflectir. D'altra banda, en sondeigs realitzats a nivell de l'Estat espanyol dedicats específicament a estudiar temes ambientals, la forma com es van realitzar les preguntes que incorporaven el canvi climàtic no permet donar resultats suficientment vàlids a les respostes obtingudes o que puguin ser extrapolables a Catalunya.

La taula C3.1 mostra els resultats del sondeig fet l'any 1994 a partir d'una petita mostra de 200 entrevistats, als quals es formulava la pregunta «A continuació us presentem una llista de problemes ambientals. Com creieu que afecten al món globalment?» i es demanava que valoressin la seva resposta de l'1 al 9 (on 1 volia dir «afecta poc» i 9 «afecta molt»).

A la taula es pot observar com el canvi climàtic rebia un valor de preocupació proper a la mitjana, encara que lleugerament superior a la resta de problemes ambientals d'àmbit global. No obstant això, cal dir que el nombre de respostes 'no sap/no contesta', que permet tenir una certa idea sobre el nivell de desconeixement de la problemàtica ambiental en qüestió, era molt elevat. Més concretament, l'any 1994 el canvi climàtic apareixia com el segon problema ambiental global més desconegut o del que costava més donar-ne una opinió específica, després dels possibles efectes de la biotecnologia sobre el medi ambient global (que figurava en primera posició de desconeixement).

La taula C3.2 mostra altres resultats d'una enquesta feta a Catalunya l'any 2000, on es formulaven tres preguntes obertes a través de les quals s'interrogava els entrevistats sobre els principals problemes ambientals que, segons ells, hi havia plantejats a escala global. Els resultats mostren com la «contaminació», entesa en termes generals, apareix com el principal problema global (37,9% de les respostes). No obstant això, quan es tracten problemes més específics, la disminució de la capa d'ozó apareix en primer lloc, amb el 26,1% de les respostes, mentre que el canvi climàtic encara roman molt per sota dels altres problemes apuntats. Concretament, només se situa en quarta posició, amb un 7% de les respostes.

No obstant, seguint amb la mateixa enquesta i tal i com s'exposa a la taula C3.3, quan es demanava als entrevistats quin era el grau de preocupació amb relació als diferents problemes ambientals globals i que els valoressin del 0 al 10, on 0 és gens i 10 implica que és molt preocu-

Importància del problema ambiental global	Mitjana	Desv. est.	Ns/ Nc
Destrucció de selves	7,74	1,73	15
Abocament i exportació de residus	7,45	1,71	16
Riscos nuclears	7,42	1,70	18
Disminució capa d'ozó	7,34	1,85	23
Pèrdua de biodiversitat	7,32	1,81	16
Efecte d'hivernacle	7,12	1,87	27
Contaminació de l'aigua	7,03	1,73	14
Contaminació de l'aire	7,02	1,70	14
Exhauriment de recursos	7,01	1,75	21
Sobrepoblació	6,79	2,05	16
Degradació i erosió del sòl	6,70	1,89	18
Possibles riscos globals de la biotecnologia sobre el medi ambient	6,05	2,28	39
Mitjana	7,08		

Taula C3.1. Percepció dels problemes ambientals globals per part de la població catalana l'any 1994 (n = 200)
Font: Tàbara, 1995.

pant, el canvi climàtic apareixia en tercer lloc després dels incendis forestals i de la disminució de capa d'ozó. Més concretament, la suma de les respostes de persones que afirmaven estar totalment o força preocupades donava, respectivament, els percentatges següents: 95,0% pels incendis, 98,4% per l'afebliment de la capa d'ozó, i 86,5% pel canvi climàtic. Això podria significar que, per primer cop, l'any 2000 es detectà una nova percepció entre els ciutadans de Catalunya, que donava una relativa importància a l'escalfament global del planeta i, en general, als problemes ambientals globals.

Per una part, això es podria explicar per la incidència creixent que els mitjans de comunicació han tingut al respecte, encara que aquest motiu no sembla ser suficient. Els efectes associats al fenomen del canvi climàtic comencen a ésser experimentats directament o indirecta pels ciutadans de Catalunya, com és el cas dels moments d'esbarjo (i sovint són verbalitzats amb expressions ben quotidianes, com les que es van obser-

Problema ambiental global	Percentatge total
Contaminació atmosfèrica	15,3
Contaminació acústica	3,4
Contaminació associada al transport	1,6
Contaminació industrial	5,2
Contaminació de les aigües	5,5
Sense especificar	10,9
Contaminació total	37,9
Capa d'ozó	26,1
Bosc i espais naturals	15,7
Canvi climàtic	7,0
Residus	2,6
Manca i mal estat de les aigües	1,8
Altres (en general, no especificats a nivell global)	7,5
No sap/no contesta	12,6

Taula C3.2. Percepció dels problemes ambientals globals per part de la població catalana l'any 2000 (n = 2.000).
Font: Departament de Medi Ambient, Generalitat de Catalunya, 2001.

PROBLEMA AMBIENTAL	Totalment	Força	Més aviat poc	Poc	Gens	Ns/Nc	Mitjana
Incendis forestals	74,5	20,6	3,5	1,0	0,5	0,1	9,1
Disminució de la capa d'ozó	69,3	20,1	6,3	1,7	1,3	1,5	8,9
Escalfament global i canvi climàtic	63,2	23,3	8,7	1,8	1,5	1,6	8,7
Contaminació de l'aire	61,9	28,8	7,1	1,4	0,7	0,2	8,7
Sequeres	60,8	27,4	8,8	1,8	1,0	0,3	8,6
Residus	59,8	29,2	7,8	2,1	0,7	0,6	8,6
Estat de rius i platges	58,1	30,6	8,6	2,0	0,7	0,1	8,6
Desaparició d'espècies animals i vegetals	56,6	29,4	10,3	2,6	1,0	0,2	8,5
Sorolls i contaminació acústica	48,4	31,7	13,8	3,7	2,3	0,2	8,1
Manca de zones verdes a les ciutats	48,3	30,8	14,4	3,9	2,5	0,4	8,0
Protecció dels espais naturals	41,1	36,5	17,7	2,9	1,9	0,2	7,9
Impacte ambiental de les infraestructures (carreteres, grans instal·lacions)	34,4	38,2	19,6	3,8	3,1	1,1	7,6

Taula C3.3. Grau de preocupació pels problemes ambientals a Catalunya a l'any 2000 (n = 2.000)

Font: Departament de Medi Ambient, Generalitat de Catalunya 2001.

var en el projecte *Ulysses*, de l'estil de «el sol cada dia crema més»). Tanmateix, és possible que aquesta mateixa ciutadania ara entengui que disposa de més capacitat per reaccionar davant la nova situació ambiental mitjançant activitats de prevenció o adaptació de caràcter individual (com pot ser amb la compra d'un ampli ventall de productes de consum, des d'ulleres de sol o cremes protectores amb tota mena de filtres solars) o a través d'altres estratègies de participació política, la qual cosa contribueix a socialitzar el problema del canvi climàtic.

C3.2.2. Estudi de percepcions sobre el canvi climàtic a l'àrea metropolitana de Barcelona

C3.2.2.1. El disseny metodològic

L'anàlisi qualitativa de les percepcions sobre el canvi climàtic a Catalunya exposada en aquest capítol prové de la recerca portada a terme a

l'IESA-CSIC de Barcelona, en el marc del projecte *Ulysses (Urban Lifestyles Sustainability and Integrated Environmental Assessment)* de la Direcció General XII de la UE (Recerca). L'objectiu d'aquest projecte, realitzat durant el període 1996-1999 va ser desenvolupar una metodologia participativa per crear i integrar coneixements, procedents tant de fonts expertes com no expertes, per donar suport a la formulació de recomanacions en matèria de problemes complexos en l'àmbit del medi ambient i de la sostenibilitat i, més concretament, en temes de canvi climàtic i sostenibilitat urbana².

2. El desenvolupament i els resultats d'aquesta recerca, emmarcada en iniciatives internacionals paral·leles que finalment han donat lloc a l'aparició de la *sostenibilitat* o *ciència de la sostenibilitat*, poden trobar-se en un llibre d'aparició recent: Kasermir, B. et al., 2003. Per a una explicació més detallada del concepte d'avaluació integrada, així com altres resultats d'aquest projecte en el cas de l'Àrea Metropolitana de Barcelona, vegeu B. Kasermir et al., 2003; i J. D. Tàbara, 2000;

En un primer lloc, la investigació tenia un caràcter exploratori, tant pel que fa a les percepcions dels ciutadans i dels agents rellevants en les matèries tractades com amb relació a la mateixa metodologia utilitzada, la qual s'anava millorant a mesura que avançava la recerca. En una segona fase, *Ulysses* s'interessava per l'obtenció de propostes concretes sobre possibles mesures a prendre, mitjançant l'anàlisi de les transcripcions de les converses portades a terme durant les sessions, de la confecció d'informes ciutadans redactats pels mateixos participants o d'altres productes de recerca com *collages* o fins i tot, *grafits*.

En el marc del projecte *Ulysses* es van desenvolupar els anomenats «grups d'Avaluació Ambiental Integrada» o «grups d'Avaluació Integrada» (*Integrated Assessment focus groups*), que consisteixen en grups de discussió formats per ciutadans escollits a partir de criteris d'heterogeneïtat que participaven en un procés de debat informativament dens (Kasemir et al., 2003). Cada grup estava format per entre set i nou persones que mai s'havien trobat abans i que es reuniren durant cinc sessions d'unes dues hores i mitja cadascuna al llarg d'un parell de setmanes. Tots els participants (uns trenta-vuit en total), eren residents de l'àrea metropolitana de Barcelona i no eren experts en canvi climàtic ni en sostenibilitat urbana. Tots ells foren escollits de manera aleatòria a partir de criteris de diversitat d'edat, gènere, nivell educatiu, professió, orientació ecologista (evitant un biaix excessivament ecologista i fent-lo més acord amb la població en general) i lloc de residència dins de l'àrea metropolitana de Barcelona. Paral·lelament i complementària a aquests grups, es va portar a terme un grup de discussió format per set experts, polítics i agents implicats en l'avaluació i la gestió de la canvi climàtic a Catalunya.

J. D. Tàbara i C. Querol, 1999. Tot i que quan es parla de la ciutat de Barcelona hom es refereix a una zona que comprèn uns 1,6 milions de persones (any 1994), en general al llarg de tot el projecte es va entendre l'àrea metropolitana de Barcelona, com una àrea que comprenia un total de 4,3 milions d'habitants, segons dades de 1993.

Com també passa en altres metodologies qualitatives, el procediment escollit era llarg, ja que l'èmfasi de la recerca no se centrava en l'observació de les percepcions en un moment únic i inicial del procés d'interacció amb els entrevistats (com pot ser una enquesta), sinó que es pretenia enregistrar i deixar constància de tot el procés d'aprenentatge mutu i d'aprofundiment de les opinions sorgides a partir de la discussió i de la progressiva creació de coneixement per part dels participants, i que finalment permetia convertir aquelles opinions inicials en veritables *reflexions*.

A fi d'enriquir i aprofundir el procés de discussió, els participants rebien i aportaven diversos *inputs* d'informació sobre canvi climàtic, que provenien tant de fonts expertes com no expertes. Tanmateix, els participants rebien dues explicacions orals sobre el problema, a més d'un petit dossier amb dades socioeconòmiques i emissions de diòxid de carboni (CO₂) a la àrea metropolitana de Barcelona. No obstant això, es pretenia que una de les principals fonts d'informació al llarg de tot el procés de discussió fos l'ús interactiu de models de simulació per ordinador. Aquests models intentaven representar relacions sistèmiques relatives al problema del canvi climàtic, amb la finalitat d'avaluar-lo i proveir d'una informació potencialment útil per poder fer valoracions polítiques i personals al respecte. La presentació dels models contenia advertiments sobre les incerteses del coneixement científic amb relació al canvi climàtic i les limitacions i les mancances de la informació continguda en els mateixos escenaris generats per ordinador. A Barcelona es van utilitzar quatre models de simulació: *IMAGE-2* (Alcamo, 1994), *TARGETS* (Rotmans i de Bries, 1997), *Polestar* (SEI, 1996) i *la Calculadora Personal de CO₂* (Schlumpf et al, 1999).

El model *IMAGE* proporcionava estimacions de diverses variables socioambientals per a l'any 2100 i reflectia els impactes derivats de diverses decisions polítiques alternatives possibles. Entre

el nombre d'escenaris i variables que podien ser visualitzats hi havia previsions sobre els nivells de concentració de CO₂ a l'atmosfera, alteracions en la temperatura global en grans regions del planeta o altres canvis en els ecosistemes o en l'agricultura derivats del canvi climàtic. El model *TARGETS* mostrava com les diferents perspectives i biaixos culturals afecten les previsions de canvi climàtic, fent ús d'una categorització que distingeix entre cultures individualistes, igualitàries i jeràrquiques segons l'aportació clàssica de Mary Douglas i Aaron Wildavsky. Això permetia introduir en el debat qüestions sobre la incertesa i els límits al coneixement expert i la penetració de valors culturals en les previsions científiques. El model *Polestar* se centra principalment en produir dades regionals amb rellevància sobre els temes de sostenibilitat urbana, consum d'energia i canvi climàtic. Finalment, *la calculadora personal de CO₂* permetia obtenir estimacions del nombre de tones de diòxid de carboni per càpita a aquells participants que s'oferien voluntàriament a donar a conèixer un nombre suficient de variables sobre el seu estil de vida. En cada grup es mostrava un màxim de dos models.

Per tant, els participants produïen tot un conjunt d'*outputs* de coneixement diferents, derivats de les seves reflexions i que serien la base de l'anàlisi dels investigadors participants en el projecte *Ulysses*. A més de les converses gravades en àudio (o en algun cas, en vídeo) cada grup escribia un 'informe ciutadà' amb les seves avaluacions del problema, les mesures a prendre en cas que trobessin adequat actuar i/o les dificultats que trobaven per portar-les a terme. A l'inici del procés els assistents es dividien en dos subgrups i cadascun realitzava un *collage*, a través del qual havien de representar de manera visual l'evolució de l'àrea metropolitana de Barcelona en els propers trenta anys sota dos supòsits diferents pel que fa al consum d'energia a escala regional: el de reducció fins a la meitat del nivell de consum d'energia actual i el de manteniment de les tendències presents (*'business as usual'*). En

aquests *collages*, els participants podien incloure-hi qualsevol lema, frase o dibuix que ajudés a expressar la seva opinió, a partir d'imatges de revistes variades retallades per ells mateixos.

En general, el manteniment de l'actual tendència de creixement en el consum d'energia era percebut com una situació força negativa o que no suposaria una millora en la qualitat de vida. En tot cas, una de les prioritats de tot aquest procés era poder obtenir les visions dels participants de la manera més propera possible als seus propis llenguatges i formes expressives, fins i tot fent ús de *grafits*, tal i com es mostra en les figures C3.1, C3.2 i C3.3. (amb relació als *collages*, vegeu B. Kasemir et al., 2003, i respecte als informes ciutadans, C. Querol et al., 2003). En general, els *collages* que contenien imatges més negatives o desastroses – o fins i tot apocalíptiques – corresponien a aquelles situacions on el creixement del consum d'energia es mantenia igual o superior al que hi ha hagut fins ara. Per contra, els paisatges més tranquil·litzadors, verds i amables apareixien en aquells *collages* on es plantejava una reducció del consum d'energia a la meitat. En conseqüència, i en contrast amb el que molt sovint es defensa en els discursos polítics dominants, la millor qualitat de vida i de benestar, en la visió dels participants en aquest exercici, no estaven associades a un consum més elevat d'energia sinó, precisament, al contrari, a anar disminuint-ne el consum.

En el recurs del procés de discussió es plantejaven les qüestions següents:

- *Quin és el problema?*
- *Què cal fer?*
- *Com?*
- *Qui?*
- *Quan?*

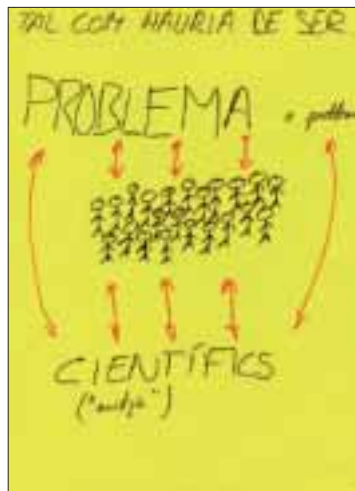
Com ja s'ha apuntat abans, els participants obtenien informació sobre el clima mitjançant diverses vies, encara que l'ús interactiu de models informàtics tenia un paper especial. Així, per

exemple, el model *IMAGE-2* (Alcamo, 1994) tenia com a objectiu donar un suport gràfic a la reflexió sobre de les mesures que es podrien prendre respecte dels possibles impactes ambientals derivats d'assolir certs nivells d'emissions a llarg termini. Tal i com s'advertia als participants, la informació procedent dels models no s'havia de prendre com a certeses absolutes, sinó només com a escenaris plausibles, encara que no necessàriament probables, relatius a les estimacions de processos actuals, a l'evolució de les tendències actuals i a la representació de situacions futures.

A continuació, i com a il·lustració de la mena d'interacció portada a terme en el marc del projecte *Ulysses*, es mostren tres dels escenaris originats per *IMAGE-2* que van ser utilitzats al llarg de les sessions d'avaluació integrada participativa sobre el canvi climàtic que van tenir lloc a Barcelona durant el període 1996-1999. Només corresponen als que fan referència a la variació de la temperatura global segons projeccions per a l'any 2100, encara que també se'n van produir



Figura C3.1. Detall d'un collage generat en el marc del projecte *Ulysses*. Com a primera tasca, es demanava a participants que representessin com podria arribar a ser l'àrea metropolitana de Barcelona l'any 2030 en el cas que es mantingués una política i unes tendències en el consum d'energia similars a les que s'han produït i es produeixen fins ara ('Business as usual').
Font: elaboració pròpia.



Figures C3.2 i C3.3. Mostra de grafitis fets en el marc del projecte *Ulysses*. Mitjançant la realització de grafitis es pretenia captar expressions espontànies i canalitzar altres llenguatges que sorgien al llarg del procés de reflexió. Així, els participants de l'àrea metropolitana de Barcelona mostraren quin hauria de ser el paper de la ciència i dels científics a l'hora d'abordar els problemes relacionats amb el canvi climàtic i la sostenibilitat, en contrast amb la funció i la posició que adopten actualment.
Font: elaboració pròpia.

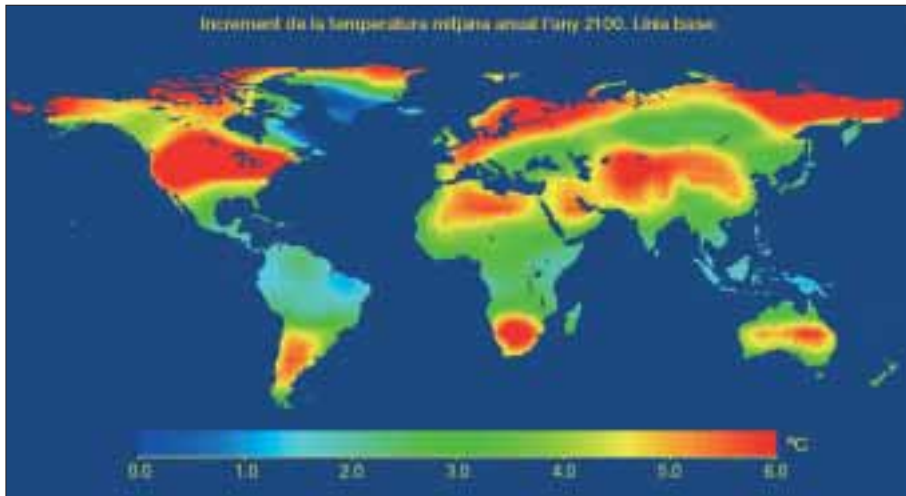


Figura C3.4. Escenari produït per IMAGE-2 relatiu a l'increment de la temperatura global de cara a l'any 2100 en el cas que no fer cap canvi o no prendre cap mesura política substancial respecte al present (*business as usual*) durant tot el període 2000-2100 i que es mantingui un nivell mitjà de creixement econòmic i d'increment de la població.
Font: Alcamo, 1994.

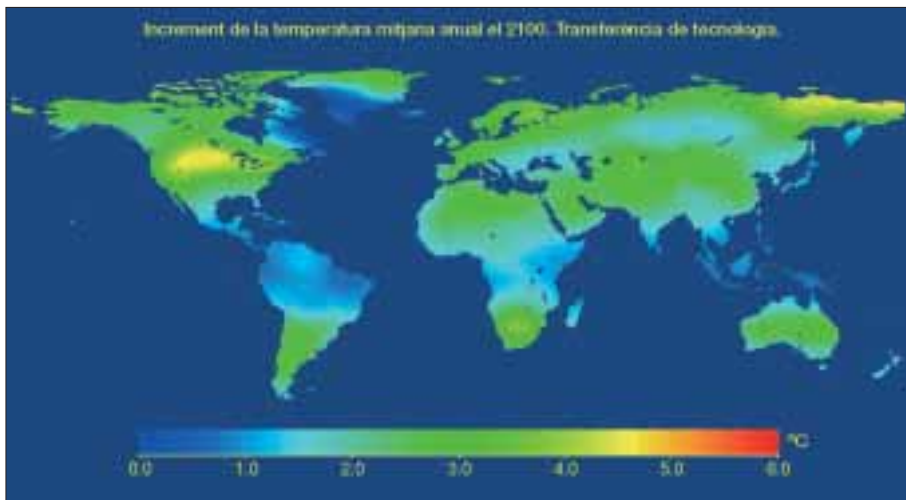


Figura C3.5. Escenari produït per IMAGE-2 relatiu a l'increment de la temperatura global de cara a l'any 2100 en el cas que es produïx la transferència de la millor tecnologia disponible per a la descarbonització de l'economia l'any 2000 des dels països del Primer Món als del Tercer Món.
Font: Alcamo, 1994.

altres relatius a les modificacions en el règim de pluges o en l'agricultura. (Figures C3.4, C3.5 i C36)

Aquests tres escenaris corresponen a: (a) no fer res substancial respecte la situació actual (*business as usual*) durant tot aquest període; (b)

transferir la millor tecnologia disponible per a la descarbonització de l'economia del Primer Món al Tercer Món; (c) reduir en un 1% anual les emissions de diòxid de carboni equivalents (CO₂ eq.) durant tot aquest període (fins l'any 2100). Com es pot observar, segons el model IMAGE-2 l'efecte global sobre l'increment de la

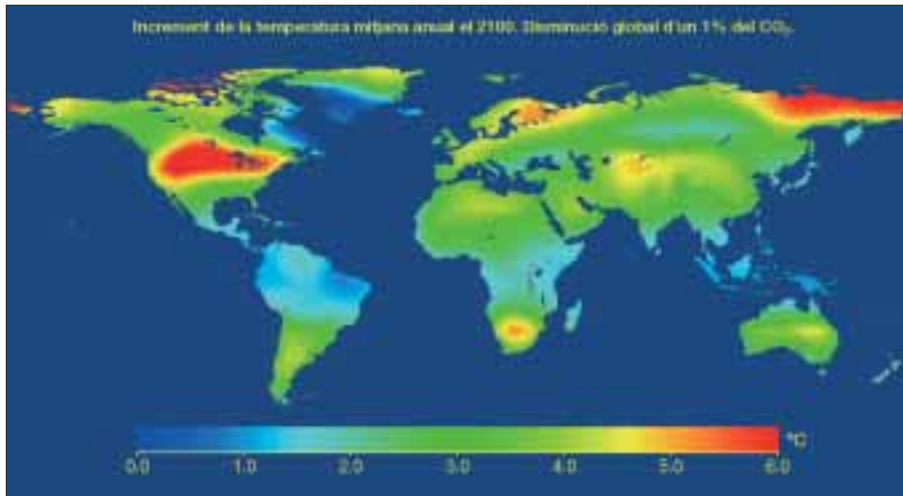


Figura C3.6. Escenari produït per IMAGE-2 relatiu a l'increment de la temperatura global de cara a l'any 2100 en cas que es produís una disminució global d'un 1% en les emissions globals de diòxid de carboni equivalent (CO_2_{eq}) durant tot el període 2000-2100.

Font: Alcamo, 1994.

temperatura és més petit en el cas de la reducció anual d'un 1% d'emissions de CO_2_{eq} que en el cas de la transferència de tecnologia neta.

C3.2.2.2. L'anàlisi de narratives

Un dels principals *outputs* del procés desenvolupat en el marc del projecte *Ulysses* va ser les transcripcions de les converses mantingudes en el si de les diverses reunions. La seva anàlisi permet observar matisos i valoracions que són rellevants a l'hora de situar les diverses percepcions i propostes en els contextos socials respectius i que serien impossibles d'obtenir simplement a través d'aproximacions quantitatives o explorant únicament discussions en cercles experts.

A continuació, es mostren alguns d'aquests resultats, generats després de les proves pilot desenvolupades al llarg de més de seixanta hores de trobades amb els trenta-vuit ciutadans no experts residents a l'àrea metropolitana de Barcelona. Constitueixen un seguit de narratives que són representatives d'una bona part de les argumentacions que ben sovint es repeteixen habitualment en converses sobre aquestes qüestions,

tant per part de gent no experta com experta ('entesos' tal i com eren etiquetats pels participants). Per la seva significació, que permet copsar l'imaginari i les interpretacions col·lectives de la complexa problemàtica associada al canvi climàtic i a la sostenibilitat, aquestes frases han estat transcrites literalment.

La següent selecció de les converses es concentra en tres grans grups: (a) l'avaluació del canvi climàtic, de les mesures a prendre i de les dificultats o de les dependències que suposa la seva aplicació; (b) els escenaris futurs sobre el clima i les reaccions als models climàtics mostrats al llarg del procés; (c) el paper dels mitjans de comunicació, de l'educació pública i de la cultura, com a elements a tenir en compte en qualsevol estratègia de mitigació o adaptació social al canvi climàtic.

En cada cas s'indica el número del grup de discussió, el número de la sessió i la data en què va tenir lloc. Al final, a la taula C3.4, s'adjunten les dades sociodemogràfiques dels participants que van generar les opinions transcrites en aquest capítol. Els noms reals han estat canviats per ga-

rantir l'anonimat. Es va considerar com persones no actives les que no havien entrat al mercat laboral, com és el cas d'alguns estudiants o de mestresses de casa. Per últim, cal dir que a mesura que avançaven les reunions del procés generat a Ulysses, el llenguatge s'anava refinant, per la qual cosa les transcripcions de les primeres sessions acostumaven a mostrar un nivell de generalitat més gran que les últimes.

(a) Avaluació de la gravetat del canvi climàtic, i de les opcions i mesures a prendre

L'avaluació del canvi climàtic i, més concretament, l'explicació de les seves possibles causes, conseqüències o mesures a adoptar estava envoltada de moltes incerteses, les quals demanaven als nostres participants fer ús de múltiples formes expressives que els permetessin ancorar les seves discussions. Així, i tot i que en general al principi del procés la majoria dels participants estaven d'acord amb l'existència *real* del canvi climàtic (encara que en graus diferents), els ciutadans consultats reflexionaven sobre aquest fenomen no sense fer ben palesos els seus dubtes o recels. La polarització entre els que creien en l'existència del canvi climàtic i els que no hi creien era més gran al principi del procés:

Roser: *'Sobre l'efecte d'hivernacle, jo crec que sí, que és un problema, que és real. Canvis climàtics els ha hagut sempre al llarg de la història, però crec que és real que en poc temps s'ha produït una acceleració d'aquests canvis. I és aquí on crec que l'home, les persones com nosaltres, estem intervenint en tot això. Iestic molt convençuda de la importància que té el nostre comportament global en tot el planeta en aquests canvis, que sens dubte es produeixen. El que no m'atreviria a afirmar és en quina mesura, però crec que és bastant més del que en principi podria semblar'* [G1, S1; 21.V.97].

Joan: *'És molt difícil que jo em faci una preocupació d'una cosa que no sé [...] poso en interrogant que hi hagi un canvi climàtic, ho sé per dades periodístiques i tot això però el meu cos no ho nota [es refrega el cos amb les mans]'* [Ibid].

Sobre les causes i conseqüències, afirmaven:

Jaume: *'Les causes [del canvi climàtic] és l'excés de contaminació, l'excés d'energia, i l'excés de combustible, carbó, metà o petroli...'* [G2, S2; 20.VI.97]

Mireia: *'Això són les causes físiques. Però jo crec que n'hi ha d'altres de causes, com per exemple, la poca informació, l'egoisme de les grans potències, els interessos de les grans indústries que produeixen...'* [Ibid].

Simó: *'El problema del canvi climàtic és si podem ser una mica independents de la cultura del consum de la que ens fan dependre les empreses'* [G5, S5; 16.VI.98].

Milagros: *'Pensar-ho com a ciutadà... és una cosa global, el canvi climàtic afecta a tothom, collites, bestiar, a la terra..., si a tot el món passa això ens afectarà a nosaltres com a ciutadans..., el que succeïx, encara que sigui lluny, ho patirem tots'* [G3, S1; 1.XII.97].

Neus: *'Sí, per la meua professió i per anar a la platja, jo em passo tots els estius tres mesos allí, i abans ni una crema de protecció..., a l'inrevés, eren cremes perquè et donés més el sol, i ara, o et poses una 20 o surts d'allà cremada'* [G4, S1; 2.III.98]

Pel que fa a la conveniència o necessitat d'haver de portar a terme determinades accions i adoptar mesures, els participants es pronunciaven amb frases com aquestes:

Oscar: *'De portes endins de les cases de la gent hauria d'haver més fulletons o informació sobre el tema. [...] I de portes enfora, posar multes'* [G5, S3; 12.VI.1998].

Maria: *'És que no crec que la qüestió sigui aguantar-se, sinó denunciar-ho, i fer coses perquè els polítics es donin compte i vegin que és injust i que cal canviar les coses'* [G5, S4; 15.VI.1998].

Oscar: *'Del que es tracta és que la gent surti al carrer i que digui el que pensa'* [G5, S3; 12.VI.1998].

Joan: *'Jo penso que la resposta individual seria el consum intel·ligent. És a dir que si nosaltres comprem vehicles que tenen un consum elevat, realment és que el tema ens està despreocupant, perquè podem anar avui en dia amb la tecnologia que hi ha amb vehicles de menys consum i amb el mateix confort. Penso que es podria plantejar a la indústria aquestes alternatives. Aleshores el nostre paper està en triar aquests articles que poden millorar l'emissió de gasos'* [G4, S4; 10.III.98].

Joan: *'O sigui, tu proposes que el consum d'energia sigui menys, mentre que la producció sigui la mateixa o més gran. Això és una possibilitat'* [G1, S4; 25.VIII.97].

Mireia: [sobre mesures] *'Consumir el necessari però produir l'energia d'un altra manera. Energia alternativa, utilitzar els recursos naturals, energia eòlica i solar. A través de la conscienciació, utilitzar l'energia necessària i no excessiva. En quant al transport, augmentar els serveis públics, augmentar les bicicletes, més carrils. Augmentar les energies alternatives, per exemple, motors d'aigua, cotxe elèctric, suprimir els cotxes privats dins de la ciutat. A la llar, rentadora comunitària, serveis comunitaris, reduir el consum d'energia a la llar, plaques solars per escalfar l'aigua, ús racional de la calefacció i informació, queda clar no?'* [G2, S5; 27.VI.97]

En conseqüència, i tot i els importants matisos, els participants es mostraren inclinats a acceptar l'existència del canvi climàtic i a relacionar-ho amb experiències personals. També estaven d'acord en la necessitat de portar a terme un seguit d'accions al respecte, situació que era més palesa al final del procés. No obstant això, la forma d'emmarcar tant les causes com les solucions era prou peculiar i il·lustrativa de les seves percepcions. Sovint feien esment a referents i a aspectes de caràcter moral o psicològic, com l'egoisme, la independència o la intel·ligència respecte al consum. I com es veurà més endavant, les certeses sobre l'existència última del canvi climàtic començaren a posar-se en dubte a mesura que avançava la discussió, encara que no fou així pel

que fa a les 'certeses' sobre la necessitat d'actuar, les quals quedaren reforçades.

(b) Els escenaris futurs sobre el clima i els models informàtics

Les reaccions davant la informació climàtica proporcionada als grups i, en particular, davant dels escenaris i les simulacions generades per ordinador també eren força diverses. Els participants deien que alguns dels models eren massa complexos, 'avorrits' o que els hauria agradat veure'ls amb més animacions; que caldria que fossin complementats amb imatges sobre les conseqüències de les diferents situacions hipotètiques o que seria bo utilitzar-los en les escoles o mostrar-los en la televisió. O també que podrien ajudar a reflexionar sobre determinats processos de canvi ambiental o a tenir presents determinades escales temporals (per exemple, a llarg termini) que d'altra manera no haurien considerat. Evidentment, els participants no acceptaven cegament els resultats produïts pels models informàtics ni deixaven d'interpretar-los amb un notable grau d'escepticisme:

Victòria: *'Estic bastant en contra dels models. No hi crec gaire, perquè primer, qualsevol cosa pot alterar tot el que s'ha col·locat allà. A més a més, les dades que s'introdueixen ... hi ha moltes maneres d'introduir-les. I no sé, només de veure què es fa amb l'estadística.. llavors, a partir d'aquí ja creuré en el model... hmm. Però bé, per veure'l ja està bé. El que passa és que no sé quants milions deu valer un model d'aquests'* [G2, S2; 20.VI.97]

Alba: [Els models d'ordinador] *'ens ajuden a explorar, a saber quines coses coneixen i quines no, per tal de representar alguna cosa i així veuen que potser hi falten dades. Ho necessiten per saber el que no saben, i pel que saben, fer hipòtesis i veure el que passa'* [G3, S3; 3.XII.97].

Marcos: *'Jo no em crec que l'augment de la població de la Terra tal i com s'ha descrit en l'ordinador'* [G5, S2; 9.VI.98].

Roser: *'Evidentment això és ciència-ficció, perquè el que serà el 2030 depèn del que fem avui. Llavors el que estem fem, com a mínim fins avui, ja ho sabem'* [G1, S1; 21.V.97].

Marcos: *'Amb les catàstrofes de la natura no hi ha qui pugui fer res. Les que sí que podem evitar són les que provoca la societat, i més, la industrial'* [G5, S2; 9.VI.98].

Marta: *'Llavors els efectes que veurem són per l'any 2100, queden molt lluny'*. [Ibid]

Oscar: *'Les coses útils són a llarg termini, si et diuen que demà hi haurà un terratrèmol llavors sí que et dona igual, perquè ja és massa tard'* [Ibid]

Alguns participants es mostraven prou crítics amb els escenaris produïts amb els models informàtics afegint que, en tot cas, les projeccions o els possibles efectes dependrien en darrer terme de l'acció política i de la voluntat dels individus de prendre unes mesures o altres en el present, la qual cosa no es pot preveure mitjançant aquests models. Malgrat tot, l'actitud general dels participants fou la d'un relatiu reconeixement del valor o del servei d'aquests instruments, i estaven oberts a acceptar les seves pròpies limitacions com a persones no expertes a l'hora de fer-ne una valoració exhaustiva.

(c) El paper dels mitjans de comunicació, de l'educació i de la cultura

De manera insistent, el canvi climàtic s'entenia com una qüestió on els aspectes relatius als mitjans de comunicació, a l'educació i al canvi cultural eren fonamentals, encara que també tenien les seves limitacions. També s'opinava que hi ha moltes dificultats per percebre aquest problema ja que molt sovint no es pot experimentar personalment i que està molt lligat als interessos econòmics. A continuació es transcriuen literalment algunes intervencions:

Mireia: *'Puc dir una cosa de la televisió? Jo crec que últimament es veuen molts més programes d'ecologia que abans'* [G2, S3; 25.VI.97]

Oriol: *'Jo crec que la gent està més informada i conscienciada que abans, i no sé fins a quin punt després actuen diferent, però saben més de què va'*. [Ibid].

Eduard: *'Per quin motiu gastem tanta energia i generem tants residus?... Però per què no ens eduquem una mica?'* [G1, S1; 21.5.97]

Beatriu: *'Tothom veu que és millor que ens moguem en bicicleta a curtes distàncies que no pas que agafem el cotxe. Vull dir que això és obvi, no cal tenir ni gaires estudis per entendre-ho. Jo penso que hi ha moltes coses que se'n escaparan perquè també als científics se'ls hi escapen moltes, però que nosaltres tenim un compromís amb el nostre planeta; i segur que a casa nostra podem fer coses que no cal tenir ni masses estudis ni masses coneixements per veure que allò és un comportament més sostenible amb el nostre planeta, amb el nostre medi, que no pas un altre'* [G3, S4; 11.XII.97]

Marcos: *'Jo crec que els polítics no donaran solució a aquest tema. La solució la trobaran les noves generacions amb una educació des de petits al col·legi'* [G5, S1; 8.VI.98].

Rosanna: *'El que jo deia al principi és que hi ha moltes necessitats artificials. Jo em referia a [que cal un] canvi de mentalitat en aquest sentit, que moltes de les necessitats que creiem tenir no són veritables i no són naturals'* [G1 S4; 28.V.97].

Mònica: *'En això sí que estic d'acord, revisar'* [Ibid.]

Ismael: *'O sigui, revisió dels valors'*. [Ibid]

Mònica: *'No depèn de si nosaltres som intel·ligents o que ens comportem bé, ... No. Depèn del petroli, perquè en el moment que s'acabi el petroli, potser sí que es començaran a prendre decisions'* [G1, S1; 21.V.97].

En conseqüència, reconeixien que moltes de les accions que es podrien prendre al respecte no

Composició dels participants origen de les transcripcions seleccionades					
Nom	Edat	Educació	Professió	Situació laboral	Renda familiar mensual (en ptes)
Alba	33	Est. primaris	Administrativa	Atur	200.000 aprox.
Beatriu	23	Est. d'Estadística	Estudiant	Atur	350.000 aprox.
Eduard	65	Formació Professional	Rellotger	Jubilat	200-250.000
Ismael	22	Est. Magisteri	Estudiant	No actiu	150-200.000
Joan	48	2n d'Història	Administratiu	Actiu	150-200.000
Jaume	62	Estudis primaris	Visitador metges	Jubilat	250-300.000
Mireia	20	Magisteri	Estudiant	No activa	200-250.000
Milagros	43	Diplomatura EGB	Mestre	Activa	400.000 aprox.
Neus	28	Lic. Medicina	Metgessa	Activa	300.000 aprox.
Maria	49	EGB	Secretària	Activa	300.000 aprox.
Marcos	55	Batxillerat	Agent comercial	Atur	200.000 aprox.
Marta	42	Batxillerat	Mestressa de casa	No activa	300.000 aprox.
Mònica	45	Estudis primaris	Agent comercial	Activa	300-350.000
Oriol	42	Batxillerat	Arts aplicades	Actiu	150-200.000
Òscar	23	Estudis de Dret	Músic	Actiu	250.000 aprox.
Rossanna	39	Belles Arts	Administració	Activa	150-200.000
Roser	48	ATS	Educadora	Activa	150-200.000
Simó	23	Estudis de Filologia	Estudiant	No actiu	200.000 aprox.
Victòria	25	Llicenciatura Geografia	Dissenyadora	Atur	100-150.000 aprox.

Taula C3.4. Dades de la selecció dels 38 participants no experts residents a l'àrea metropolitana de Barcelona consultats a la fase central (no pilot) del procés d'Ulysses citats al text.

Font: elaboració pròpia.

depenien tant de disposar de més informació o de més coneixement, sinó que no es feien per altres raons, relatives a la 'comoditat', 'l'economia' o 'els polítics'. Constituïen, doncs, causes de caràcter essencialment social i polític, que tenien poc a veure amb la informació proporcionada sobre els cicles biogeoquímics i les explicacions del canvi climàtic que sovint proporcionen els científics i els models de simulació per ordinador.

C3.2.2.3. Alguns resultats quantitius

A més d'anàlisi de les narratives, es va creure oportú obtenir alguns resultats quantitius complementaris als anteriors, tant al principi com al final del procés, a fi i efecte de facilitar l'exploració i la comparació conjunta de les opinions mostrades. Cal dir, però, que els resultats que es presenten a continuació no són representatius de les opinions del total de la població ca-

talana ni pretenen ser-ho, sinó que només són indicatius de l'estat general d'opinió que es respirava dins dels grups de discussió del projecte Ulysses, els quals, en la mesura del possible, pretenien representar la diversitat de persones que componen de la ciutadania mitjana i no experta de l'àrea metropolitana de Barcelona³.

És en aquest sentit que alguns d'aquests resultats permeten generar noves preguntes i conviden a fer noves reflexions. A continuació se'n

3. La seva representativitat no ve donada pel càlcul del seu grau de confiança estadística, el qual no és possible, sinó per la garantia de representar suficientment la diversitat de ciutadans que podrien aparèixer en una mena de conversa informada i raonada dins d'un hipotètic 'microcosmos social'. Aquesta metodologia de grup de caràcter reflexiu és especialment rellevant quan es volen tractar problemàtiques col·lectives i simular converses amb el 'conjunt' de la societat que altrament no seria possible fer.

mostren algunes. En primer lloc es mostra la valoració que feien del canvi climàtic i de la necessitat d'actuar en conseqüència.

El nombre de persones que digueren que el canvi climàtic *era* un problema va disminuir (de vint-i-cinc a vint-i-dues) i va augmentar el nombre de persones que passaven a dir que *podria ser-ho* (d'onze a quinze). Al mateix temps, el nombre de persones que deia que calia actuar abans que fos massa tard, com a mesura preventiva, també es va incrementar (va passar de trenta-cinc a trenta-set, gairebé la totalitat dels participants). Sembla, doncs, que es va produir una mena de procés d'aprenentatge en el reconeixement de la incertesa i, a la vegada, de la necessitat d'aplicar una actitud o pràctiques de precaució.

D'altra banda, la majoria dels participants dels grups de discussió creien que el problema del canvi climàtic era una responsabilitat de tots. Amb poc marge de diferència, el percentatge dels que estaven força o totalment d'acord augmentà al llarg de les discussions, passant del 86,8 al 92,2% o, dit d'una altra manera, tant sols una de cada deu persones no hi estava d'acord.

Aquests resultats es mostren a la taula C3.6.

Per altra banda, al principi del procés el canvi climàtic i els problemes ambientals i de sostenibilitat no acabaven de ser acceptats o interpretats com problemes estrictament econòmics. No obstant això, i com a derivació de les converses portades a terme al llarg de les cinc sessions que durà el procés, es va reconèixer cada vegada més la importància dels interessos 'de les empreses' i del mercat; el percentatge de participants que estaven bastant o totalment d'acord amb aquesta constatació va passar del 27 al 50%. Els resultats es mostren a la taula C3.7.

En termes generals, al principi del procés els participants tampoc acabaven de veure massa clara l'opció de disminuir el consum individual com a mecanisme per lluitar contra el canvi climàtic i els problemes ambientals i de sostenibilitat. Aquesta estratègia semblava poc atractiva davant l'opció de potenciar les energies alternatives i els productes energèticament eficients. No obstant això, al final del procés un nombre força més elevat de participants van reconèixer que també era necessari reduir els nivells de

Respostes	Respostes a l'inici del procés (Sessió 1)				Respostes al final del procés (Sessió 5)			
	Freqüència Absoluta	%	% vàlid	% acumulat	Freqüència absoluta	%	% vàlid	% acumulat
Pot ser que sí, però cal saber més abans d'actuar	1	2,6	2,6	2,6	-	-	-	-
Pot ser que sí. Cal actuar ara abans que sigui massa tard	10	26,3	26,3	28,9	15	39,5	39,5	39,5
És un problema. Cal actuar abans que sigui massa tard	25	65,8	65,8	94,7	22	57,9	57,9	97,4
La gent se'n oblidarà; és una moda	1	2,6	2,6	97,3	-	-	-	97,4
Cap afirmació coincideix amb la meua opinió	1	2,6	2,6	100	1	2,6	2,6	100
TOTAL	38	100	-	-	38	100	-	-

Taula C3.5. Opinió dels participants en el projecte Ulysses sobre la gravetat del canvi climàtic i la necessitat d'adoptar actuacions preventives al respecte.

Font: elaboració pròpia.

	Respostes a l'inici del procés (Sessió 1)				Respostes al final del procés (Sessió 5)			
	Freqüència absoluta	%	% vàlid	% acumulat	Freqüència absoluta	%	% vàlid	% acumulat
Pregunta: En quina mesura esteu d'acord amb la següent afirmació? «Tots tenim la responsabilitat d'actuar sobre el canvi climàtic»								
Totalment en desacord	2	5,3	5,3	5,3	-	-	-	-
Bastant en desacord	3	7,9	7,9	13,2	3	7,9	7,9	7,9
Bastant d'acord	11	28,9	28,9	42,1	8	21,1	21,1	28,9
Totalment d'acord	22	57,9	57,9	100,0	27	71,1	71,1	100
No ho sé	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	38	100	-	-	38	100	-	-

Taula C3.6. Opinió dels participants en el projecte Ulysses sobre les responsabilitats d'actuar en matèria de canvi climàtic.
Font: elaboració pròpia.

	Respostes a l'inici del procés (Sessió 1)				Respostes al final del procés (Sessió 5)			
	Freqüència absoluta	%	% vàlid	% acumulat	Freqüència absoluta	%	% vàlid	% acumulat
Pregunta: En quina mesura està d'acord amb la següent afirmació? «Per la seva importància, les decisions sobre el canvi climàtic haurien de prendre's principalment sota consideracions econòmiques»								
Totalment en desacord	12	31,6	32,4	32,4	6	15,8	16,7	16,7
Bastant en desacord	10	26,3	27,0	59,4	10	26,3	27,8	44,5
Bastant d'acord	5	13,2	13,5	72,9	8	21,1	22,2	66,7
Totalment d'acord	5	13,2	13,5	86,4	10	26,3	27,8	94,5
No ho sé	5	13,2	13,5	100	2	5,3	5,6	100
Respostes no vàlides	1	2,6	-	-	2	5,3	-	-
TOTAL	38	100	-	-	38	100	-	-

Taula C3.7. Percepció dels participants en el projecte Ulysses sobre el paper de les consideracions econòmiques en la política de canvi climàtic.
Font: elaboració pròpia.

consum, i el nombre dels que estaven d'acord amb aquesta afirmació va passar d'un a dotze al llarg de les cinc sessions.

4. Aquesta percepció és freqüent en estudis de percepció com aquests, ja que el cost personal o l'afectació directa potencials de les mesures educatives acostumen a percebre's més baixos que en el cas de les multes o els impostos.

Finalment, es va observar que, en general, les polítiques educatives es preferien a les econòmiques i legals en matèria de canvi climàtic⁴. No obstant això, la percepció de la importància i el paper que haurien de prendre mesures legals, com unes lleis i sancions més estrictes, es va fer més intensa, ja que van passar de dos a set els participants que les valoraven com la millor for-

Pregunta: Quina de les següents mesures o innovacions tecnològiques creu vostè que podrien contribuir millor a reduir la crema de combustibles fòssils?	Respostes a l'inici del procés (Sessió 1)				Respostes al final del procés (Sessió 5)			
	Freqüència Absoluta	%	% vàlid	% acumulat	Freqüència absoluta	%	% vàlid	% acumulat
Potenciar les energies alternatives i disposar dels productes i les tecnologies que utilitzin menys energies o que siguin energèticament més eficients	21	55,3	95,5	95,5	26	68,4	68,4	68,4
Disminuir el consum individual	1	2,6	4,5	100	12	31,6	31,6	100
No ho sé / nc	16	42,1	100	-	-	-	-	-
TOTAL	38	100	-	-	38	100	-	-

Taula C3.8. Opinió dels participants en el projecte Ulysses sobre l'opció de lluitar contra el canvi climàtic a través de reduir el consum d'energia i a través d'utilitzar energies i tecnologies alternatives.

Font: elaboració pròpia.

Pregunta: En la seva opinió, quina de les següents mesures polítiques creu vostè que millor podrien contribuir a reduir el consum d'energia?	Respostes a l'inici del procés (Sessió 1)				Respostes al final del procés (Sessió 5)			
	Freqüència absoluta	%	% vàlid	% acumulat	Freqüència absoluta	%	% vàlid	% acumulat
Pujar el preu de l'energia	3,0	7,9	8,1	8,1	2,0	5,3	5,3	5,3
Lleis més estrictes sobre el consum i les aplicacions energètiques	2,0	5,3	5,4	13,5	7,0	18,4	18,4	23,7
Conscienciar als consumidors del per què cal estalviar energia	31,0	81,6	83,8	97,3	29,0	76,3	76,3	100,0
No ho sé ni ho vull endevinar	1,0	2,6	2,7	100,0	-	-	-	-
TOTAL	38,0	100,0	-	-	38,0	100,0	-	-

Taula C3.9. Preferència per les polítiques educatives a les econòmiques i legals.

Font: elaboració pròpia.

ma de reduir el consum d'energia. Els resultats es mostren a la taula C3.9:

C3.2.2.4. Els informes ciutadans

Una altra de les tasques que es demanà als participants dels grups de discussió fou la redacció conjunta d'*informes ciutadans*, orientats a recollir de la manera més sintètica les conclusions sobre les problemàtiques tractades. A continuació, es transcriuen de manera conjunta els cinc infor-

mes generats en la fase central del projecte pel que fa a les qüestions que tenien a veure amb el canvi climàtic. En aquests informes es feia una llista de valoracions, mesures i responsabilitats que segons els participants tenien relació amb l'escalfament global del planeta.

No obstant això, es deixà un ampli marge de llibertat als participants perquè definissin amb el seu propi llenguatge el fenomen del canvi climàtic.

tic –o la seva inexistència–, les seves causes i els seus efectes i perquè dissenyessin l'informe a la seva manera. Per aquest motiu, el format de les preguntes es va reduir al màxim, per tal d'emmarcar-les al mínim sota una determinada perspectiva o disposar d'una posició o una estructura concreta⁵. En el present recull s'han seleccionat i agrupat els resultats dels informes en dos apartats, un relatiu a l'avaluació del problema, i l'altre a les possibles opcions i responsabilitats d'actuació⁶. El nombre de components i la data de realització dels informes foren els següents:

- Grup A: set participants, maig 1997.
- Grup B: set participants, juny 1997.
- Grup C: vuit participants, desembre 1997.
- Grup D: vuit participants, Març 1998.
- Grup E: vuit participants, Juny 1998⁷.

TOTAL de participants: trenta-vuit

1. QUIN és el problema (si hi és) del canvi climàtic?

GRUP A:

Realitzà una avaluació del canvi climàtic en general, tot apuntant de manera conjunta els efectes i les causes de l'escalfament global de la Terra. Llevat d'una persona, tota la resta afirmà que en general s'estava produint un canvi climàtic, a pesar de reconèixer que no tenien prou dades per confirmar-ho o avaluar específicament quin seria la seva incidència. En concret, un participant creia que no hi havia canvi climàtic.

CAUSES: *'Hàbits de consum exagerats'*.

5. Per comparar aquestes mesures amb les que proposa el Programa Europeu de canvi climàtic, vegeu EC, 2001 i Tàbara, 2004.

6. En aquest capítol es transcriuen literalment fragments d'aquests «informes ciutadans», motiu pel qual només se n'ha fet una correcció ortogràfica, però en cap cas una correcció d'estil.

7. Pel que fa al grup D, es va afegir un factor controlat addicional en el reclutament dels participants per tal que representés amb més afinitat la majoria o bona part de la població de l'àrea metropolitana de Barcelona i, en particular, es va compondre per persones de nivell socioeconòmic i educatiu més baix. Això va poder compensar els grups B i C, que havien mostrat un nivell educatiu més aviat alt.

EFECTES: *'Canvis en els ecosistemes; desertització; canvis en l'estacionalitat, pluviometria; increment de la temperatura; efectes en la salut de la població: al·lèrgies, asma; extinció de la diversitat d'espècies; augment de plagues en conreus, en monocultius. Tanmateix aquest grup afirma que 'Tot plegat són també impactes en el medi com a conseqüències del canvi climàtic'.*

GRUP B:

En aquest grup es feren paleses tres posicions: que el canvi climàtic era 'evident', que 'no es pot saber', i que 'a partir d'unes conseqüències evidents, sí [que existeix] perquè els científics ho afirmen':

CAUSES: *'Hàbits de consum exagerats, bombardeig d'anuncis televisius que impulsen la gent a canviar els seus hàbits: alimentaris, vestits, transport, ... amb la següent repercussió psicològica sobre les persones i la identitat; desinformació, inconsciència i manipulació de la informació; indústria, i tot el que produeix CO₂ i altres productes tòxics; aerosols; forat a la capa d'ozó; escombraries orgàniques; excessos de CO₂, metà i gasos concentrats en l'atmosfera en general; interessos creats per una minoria capitalista; societat del benestar (consum i capitalisme); societat de la imatge i de l'espectacle; manca de prevenció en les indústries també a partir dels interessos (depuradores, matèries primeres, etc.), manca de conscienciació i educació'.*

EFECTES: *'Desajustament a nivell d'estacions; trastorns psíquics personals provocats per [manca d'] humitat, excés/manca de sol [a les ciutats], malalties provocades pel canvi climàtic; desertització; augment del nivell del mar; disminució de la qualitat de vida; repercussió en l'alimentació, produïda per la manipulació; repercussió en algunes espècies animals i vegetals, perill d'extinció, mutacions, canvis genètics'.*

GRUP C:

Comentà causes i efectes i tractà responsabilitats i causes socials al mateix temps:

CAUSES: *'Emissió de CO₂ a causa de l'estil de vida: indústria, progrés, avançar no de forma natural'.*

som egoistes, no pensem en les generacions futures que vindran més tard. Una persona pensa que 'el problema és més econòmic que ambiental'. I afirmen: 'Tot el que passa globalment és fruit del que passa localment i diàriament'.

EFFECTES: 'Efectes en el temps atmosfèric deguts al canvi climàtic; passem de l'hivern a l'estiu sense primavera i tardor; efecte als cultius arbres i flors floreixen fora de temps, cultius agrícoles es perden; si no hi posem remei, molt negre; [Hem de] confiar amb la tecnologia [?] si no, ho veus molt negre; es deteriorarà el medi fins que s'acabin els recursos no renovables (petroli); augment del nivell del mar (desglaçament casquets polars); augment del percentatge d'aigua salada respecte la dolça; disminució del nivell d'humitat; canvis en l'alimentació; malalties, etc'.

Grup D:

Es centrà solament en destacar els efectes, tot agrupant i relacionant el problema del canvi climàtic amb el de la disminució de la capa d'ozó.

EFFECTES: 'Malalties en general (pell, respiratòries, etc); afectació de productes alimentaris de tota mena; afectació de la flora i de la fauna; desertització; desglaç de les geleres; augment de la temperatura; augment de la concentració de diòxid de carboni; destrucció de la capa d'ozó; catàstrofes naturals; degut als canvis climàtics, colonització d'espècies animals productores de malalties col·lectives'.

Grup E:

Aquest grup no abordà directament l'explicació de les causes o dels efectes del canvi climàtic, sinó que va dedicar una atenció especial a explicar les dificultats que impedeixen portar a terme les accions pertinents, la qual cosa es pot interpretar en certa manera també com 'causes' del canvi climàtic. Tanmateix afirmà que 'estem d'acord que els efectes del canvi climàtic són visibles'.

DIFICULTATS: 'La dependència dels productes ofertats per les empreses que ens ofereixen un confort i

benestar; per interessos creats, poders públics no podran realitzar canvis en l'actual producció d'emissions que afecten a l'efecte hivernacle; La dificultat que el ciutadà es convenci de que la seva aportació és important i necessària, i per tant, contribueixi diàriament; la producció de béns i serveis de la manera que es fa actualment, amb molta emissió, és més interessant econòmicament parlant que utilitzar productes més nets'.

2. QUINES opcions tenim? QUÈ s'hauria de fer? COM? QUI és el responsable?

Grup A:

Es concentrà en les opcions i recomanacions, sense abordar la qüestió de les responsabilitats o els temps d'actuació:

OPCIONS: 'Reducció emissió CO₂; utilització d'energies alternatives; reduir, optimitzar la producció industrial; reciclatges coherents amb els objectius proposats de: Reduir, Reutilitzar, Reciclar i Evitar; reconversió del transport de privat a públic al màxim, amb més èmfasi a les ciutats; optimització de l'ús d'energia; canvi en les fonts energètiques més netes i més eficients; canvis en els 'estils de vida'.

RECOMANACIONS: 'Formació –informació– educació sobre temes d'ecologia: recuperació/estabilització en els ecosistemes; importància de metodologies globalitzadores i des de la infància, en forma que motivin incentivant conèixer i estimar la natura i el nostre entorn del qual depenem; control real: no política de multes; legislació adequada i coherent; prendre consciència com a ciutadans dels nostres drets i obligacions i també de la nostra força com a grup; optimitzacions vàries en la llar: aigües, neveres, gas, bombetes... I inclouen la següent nota: 'una persona opina que s'haurien de fer campanyes publicitàries extensives'.

Grup B:

En un principi, l'atenció d'aquests participants es dirigia sobretot als objectius de consum per part de la societat a l'àrea metropolitana de Barcelona. Tanmateix, les opcions, els responsables

i les recomanacions polítiques es van plasmar a l'informe amb força detall.

OBJECTIUS DE CONSUM PER AL 2030: *'consumir el necessari però produint l'energia d'una altra manera: energia alternativa; utilitzar els recursos naturals (energia eòlica, hidràulica, solar); a través de conscienciació, utilitzar l'energia necessària i no excessiva; al transport: augmentar el servei públic/disminuir els cotxes privats, augmentar les bicicletes (+carrils), investigació d'energies alternatives per als motors (per exemple: motors d'aigua), cotxe elèctric'. Una persona afirmà 'suprimir els cotxes privats dins de la ciutat; a la llar: serveis comunitaris (rentadora comunitària), reduir el consum d'energia a la llar, plaques solars per escalfar l'aigua, utilització racional de la calefacció, informació'.*

OPCIONES: *'Millorar i potenciar els transports públics; augmentar la informació i la conscienciació – a l'escola, societat, mitjans de comunicació; controlar la indústria vers el medi ambient; desconcentració de la vida urbana; augmentar les zones verdes; controlar el model urbanístic'.*

RESPONSABLES: *'Tothom, govern poder polític legislatiu, poder econòmic. I a dos nivells:*

(a) *General/Govern: [sobre els] interessos de les grans empreses, grans indústries, i la utilització massiva de l'energia (grans il·luminacions en els concerts, a les ciutats...);*

(b) *Individual/societat: [sobre la] mala utilització de tot allò que fa la vida més fàcil (aires condicionats, automòbils particulars, esprais amb CFC, neveres). A més, sobre els responsables afegiren que a l'Estat haurien de ser el 'legislatiu, l'executiu i el judicial' i que 'no hauria d'haver un departament exclusivament de medi ambient, hauria de ser un punt més de tots els altres departaments'.*

RECOMANACIONS POLÍTIQUES: *subvencions discriminant les energies que gasten més; socialitzar serveis bàsics (serveis comuns a l'hora d'edificar);*

obligar a no contaminar mitjançant les lleis; normalitzar i controlar la contaminació col·lectiva; posar facilitats/no denúncies ni multes; descentralització a nivell municipal, cívic i de barri (capacitat individual de decisió).

Grup C:

Fou el grup més prolífic, detallant en cada cas les mesures i accions a fer i justificant les responsabilitats o les dificultats per aconseguir els objectius proposats:

MESURES I ACCIONS A FER: *'informar i sensibilitzar, educar, legislar, invertir més en investigació, utilitzar bé els termes reciclar, reciclable, i no fer publicitat enganyosa; incentivar mitjançant desgravacions, publicitat, subvencions a les actuacions que les empreses facin en favor de la reducció d'emissions; publicitat en els mitjans de comunicació; polítiques de deixar de pagar allò que no consumim, augment de partides pressupostàries per investigació, informar i clarificar què és el que estem pagant; ajudar econòmicament i amb informació al petit empresari; organització social de la base ciutadana per poder canalitzar les nostres inquietuds cap als que els hi donen el dret de decidir; aproximar el treball i la casa: els desplaçaments llargs no són lògics; millorar l'eficiència energètica; reduir les emissions de la indústria, estigui on estigui ubicada; reduir, gestionar o reconvertir els residus; no exportar ni importar residus; és positiu el comerç internacional, fins i tot pot enriquir, però és negatiu muntar indústries a països que no tenen tantes normes ambientals per part dels empresaris que pertanyen a països on les normes ambientals són més estrictes'.*

QUAN [actuar]: *'des de ja, des del 5/12/97; [sobre] educar i investigar començar ja, perquè és més lent i es tarda més a recollir els fruits; [sobre] les millores en els transports, començar ja perquè ja sabem quines millores es poden fer'.*

RESPONSABILITATS: *'Els països subdesenvolupats no són tan responsables com els països desenvolupats; no està bé que es donin tractes diferents segons el país [que té] el dret de contaminar; s'hauria*

de donar facilitats a que els països subdesenvolupats es desenvolupessin d'una manera sense contaminar; sorprèn que Espanya se li deixi contaminar més [emetre més CO₂ que la resta de països de la EU]; la solució ja la tenen, però és un problema econòmic, no els interessa als polítics solucionar-ho; [i els responsables:] els governants, educadors, la iniciativa ha de sortir dels governants i de la ciutadania'.

DIFICULTATS [de portar a terme aquestes accions]: 'Econòmiques a nivell global macroeconòmic); egoisme; mandra a canviar; lleis massa tèdriques i obsoletes, poc aplicables a la realitat (per exemple: l'Administració, malgrat ésser legal, no et deixa connectar a la xarxa per generar energia, amb qualsevol excusa – com que no generes prou energia per que se't pagui); que el ciutadà/na de mitjana i alta edat no està conscienciat; que els governants no compleixen amb els compromisos que signen; estem davant d'un problema que toca molts àmbits: socio-econòmic-polític; que les lleis són poc dures; malbaratament dels diners que gestiona l'Administració pública; el Ministeri i el Departament de Medi Ambient haurien d'incidir més en els permisos de construcció, de llicències abans del problema! (actualment solament es mira els aspectes sanitaris, de seguretat, etc); el medi ambient hauria de ser una assignatura transversal, assumida per tots/es; assessorament gratuït sobre temes de medi ambient; que tenim molt assumit consum, se'ns creuen moltes necessitats, potser caldria replantejar-se si realment necessitem allò que tenim; poca participació; la manca de comunicació de masses: els mateixos anuncis d'un producte haurien d'incloure com tractar les deixalles que genera el producte anunciat; desencantament social; la gent va amb molt estrès i la gent no té temps; la manca d'informació en els productes; si baixés la necessitat de consum, baixaria la necessitat de treballar tantes hores i aleshores tindriem més temps per comunicar-nos i fer festes al carrer'.

Grup D:

Molt centrat en els aspectes urbans, i en especial, en els temes relacionats amb els transport, la llar i els residus.

MESURES I ACCIONS A FER: 'Sobre els transports: transports amb menys contaminació, ampliar les xarxes de transport públic, motivar les empreses sobre l'ús de transports col·lectius per als seus treballadors, incrementar els transports en les zones industrials; transport fent ús de l'energia solar. Sobre l'energia: fer campanyes de conscienciació per a l'estalvi energètic tant a nivell individual com a nivell industrial; exigir, mitjançant reglamentació política, que els establiments públics, la il·luminació de la ciutat, de les carreteres, i dels edificis oficials siguin de baix consum. Sobre els residus: multar les empreses i fer un control rigorós a les empreses que aboquin residus contaminants..., fer reciclatge natural a través d'una planta [es refereix al compost]; obligar a aquestes empreses contaminants a posar depuradores, amb subvencions'.

DIFICULTATS: 'Interessos econòmics creats; por a la pèrdua de les comoditats ja adquirides'.

RESPONSABILITATS: 'El Govern: amb mesures polítiques propagandístiques, educatives als col·legis, sancions a qui no compleixi la llei, destinar més diners al medi ambient i gran control a les grans indústries; el ciutadà: amb un canvi de la cultura del consum, amb un canvi de l'estil de vida; una major pressió del ciutadà cap el govern; quan fer-ho? quan abans millor'.

Grup E:

Recull de manera especial les mesures i les responsabilitats possibles, sobretot dins de l'àmbit urbà, tot aportant algun suggeriment de caràcter més general.

MESURES I ACCIONS A FER: 'Utilització de noves energies; millora dels transports públics, més línies, més freqüència de pas, més informació. Les empreses haurien d'instal·lar-se fora dels nuclis urbans i si es situen a la ciutat, que no contaminin; reducció del pressupost dedicat a l'armament per destinar-lo a l'ecologia; convertir les piscines privades en comunitàries; transmetre la consciència del problema ecològic als ciutadans a través de molta informació per mitjà de la televisió; transport públic als polígons in-

dustrials i si no hi ha [transport] que sigui a càrrec de les empreses; es proposa que quan es pagui la declaració d'hisenda, es pugui destinar el percentatge que pot anar a l'Església catòlica o a altres fins socials, en una tercera casella a finalitats de protecció del medi ambient; intentar reduir els consums particulars, amb impostos, multes que siguin dissuasòries per als grans contaminants, i conscienciació dels particulars; que els productes reciclables/ecològics siguin més econòmics, gràcies a subvencions'.

RESPONSABILITATS: *'Dintre de les nostres possibilitats i cadascú en la seva mesura estem oberts a fer alguna cosa per el medi ambient; que els països desenvolupats donessin informació als sotsdesenvolupats perquè almenys poguessin triar; no donar la culpa als països sotsdesenvolupats per créixer econòmicament i millorar; qui?, tot ciutadà en la seva proporció i els poders públics per obligació; als poders públics els correspon motivar-nos; quan?: ja, abans que la bola es faci massa gran; la situació milloraria si tots hi aportem el nostre gra de sorra, per exemple fer òptim el transport compartint-lo.*

Aquest grup afegeix el següent comentari: *'l'estil de vida, per a nosaltres, es centra en tenir un lloc de treball digne per a tots, sanitat, educació pública i igualtat d'oportunitats'.*

En resum, i a la llum dels informes anteriors, es pot observar que la majoria de les propostes plantejades i l'atorgament de responsabilitats semblen prou assenyades i carregades de sentit comú. Per una banda, les causes del canvi climàtic no s'entenen (únicament o en cap moment) com un fenomen 'natural'. Moltes de les mesures que es suggeriren no es centraven únicament en el tema de les emissions i tenien un notable grau de generalitat o de relació amb altres problemàtiques. En aquest sentit, en la seva visió, les seves propostes no solament 'servirien' per combatre el canvi climàtic, sinó que molt probablement també es podrien utilitzar per abordar altres problemes – segurament iguals o més greus, segons la seva opinió– i que no tenen només una natura ambiental, sinó també social i econòmica.

Per altra banda, i des del marc que es plantejaven les discussions en el projecte *Ulysses*, hi ha un seguit de mesures que es repetien amb insistència a tots els informes, com les propostes relatives als transports, la millora de les fonts energètiques i la reducció del consum d'energia, 'el control de residus' en general, i l'educació. No obstant això, molt probablement els participants estaven suggerint que a la pràctica no és possible aplicar mesures que *únicament* serveixin per mitigar o combatre les possibles causes i conseqüències de l'escalfament global de la Terra. Totes aquestes causes, mesures i conseqüències tenen a veure amb altres problemes i tenen tot un conjunt de relacions i implicacions socials, responsabilitats i components morals que no es poden separar del context social i polític on es pretenen aplicar.

Concretament, s'afirmava que moltes de les mesures per combatre el canvi climàtic ja es podrien haver pres des de feia molt de temps i als participants els semblava que tenia tenir poc sentit que no es possessin en pràctica de forma immediata. Així, les dificultats o les barreres per a la seva implantació no eren la manca d'informació o de coneixement, sinó que hi havia altres motius. D'aquí que sovint es comentés les responsabilitats «de la indústria», «dels polítics» o «dels mitjans de comunicació» amb relació al canvi climàtic. També s'apunten altres aspectes, amb un caràcter més emocional o moral que no pas tècnic, com és el cas de «l'egoisme», «la mandra de canviar», del «consum exagerat» o de «la por a perdre les comoditats», causes que si bé molt probablement són certes no sortirien mai formulades d'aquesta manera en cap informe elaborat per experts en el clima, més avesats a utilitzar dades i argumentacions quantitatives o relatives a la modelització dels cicles naturals.

C3.2.2.5. Resultats del grup de discussió amb experts

Com en altres dels sis països europeus on també es portava a terme simultàniament l'experiència d'*Ulysses*, els resultats obtinguts amb els ciutadans

dans no experts es complementà amb un grup compost per experts, polítics i agents implicats en l'avaluació del canvi climàtic. L'objectiu d'aquest grup més especialitzat era explorar les percepcions i la comprensió sobre el canvi climàtic per part d'aquests agents i avaluar les opcions i mesures polítiques corresponents dins del context de cada país o regió considerats. A Barcelona, aquest grup va estar format per tres alts càrrecs de la Generalitat, dos representants de grups ecologistes i dos alts executius d'empreses relacionades amb l'energia a Catalunya. Es va celebrar a la seu de l'IESA el 29 d'octubre de 1998 i va durar des de les 9:30 fins a les 17:30.

A continuació es mostren alguns dels resultats més significatius d'aquella sessió, tot garantint l'anonimat tant de l'origen de les respostes com dels participants. Als participants en aquesta trobada, se'ls va plantejar tot un seguit de preguntes, que anaven contestant individualment després d'un temps de discussió col·lectiva. Dues de les primeres qüestions, realitzades tot just a una sola hora de l'inici de la reunió donaren els següents resultats (transcrits de forma literal):

Pregunta: Quins creu que són els impactes del canvi climàtic més importants a la regió metropolitana de Barcelona?

RESPOSTES:

- «Crec que els impactes del canvi climàtic no es poden predir a nivell local, però el fet d'afectar la vida en el planeta és clarament negatiu i es reflectirà tant en el nombre d'espècies com en la seva organització».
- «Augment de la temperatura mitjana. Sembla que l'efecte més probable és d'ascendir, amb la informació disponible».
- «Actualment no hi ha evidències suficients per determinar els impactes del canvi climàtic a nivell local»⁸.

8. La similitud d'aquesta afirmació amb el text de l'acudit número 2, que apareix més endavant, és molt remarcable.

- «Per definició els impactes d'un canvi global són globals i no sabem quines podrien ser les nostres modificacions de l'entorn local (augment del nivell del mar, subsidència deltaica, intrusió marina, pèrdua de biodiversitat). La qüestió és moral: la nostra responsabilitat en el canvi i la degradació del medi ambient comú».

- «Per ara, i des de fa 50 anys, la situació ambiental, inclosa l'atmosfèrica, ha millorat, malgrat tenir problemes nous que s'hauran de prendre. En el futur 'limitat' (2030) no sembla que puguin afectar massa els canvis climàtics. En tot cas, a més llarg termini»

- «Al 2030, probablement cap».

- «Crec que és un problema que ultrapassarà les barreres regionals. Pot ser la projecció d'àmbits més globals».

Pregunta: Com de greu creu que és el problema del canvi climàtic? per a qui? [és greu o afectarà] Quan?

RESPOSTES:

- «Possiblement sigui el més greu dels problemes ambientals, perquè la seva solució és necessàriament de planejament global, i perquè els efectes actuen directament sobre la vida al planeta i per tant afecten a tothom».
- «En aquests moments no existeix informació suficient per valorar les conseqüències d'un canvi climàtic, ni quan es produirà. La valoració és subjectiva».
- «És preocupant en la mesura que són desconeguts els seus efectes a escala regional i local. A més a més, és evident que s'està introduint una pertorbació externa en un sistema inicialment en equilibri».
- «Molt, però en un horitzó temporal llarg i amb una tal complexitat d'interrelacions que escapen a la percepció quotidiana de la majoria de la gent, de moment. Però les percepcions i reaccions poden canviar profundament quan es vegi de forma més palpable que els problemes econòmics (atur, etc.) i els

ecològics tenen una arrel comuna i solucions comunes»

- «També caldria distingir a mitjà o llarg termini. Una pujada del nivell del mar podria comportar greus problemes i fins i tot catastròfics, si bé sembla difícil arribar a aquests extrems com per activar mecanismes correctors».
- «Com no ho sabem, com de greu és, cal actuar a tots els nivells, ja que potencialment podria ser molt greu».
- «No en tinc una opinió rigorosa. En cap cas s'ha de pensar que això no exigeix una actuació seriosa en línia amb les orientacions d'experts i les directrius de les administracions».

A continuació, i havent vist i discutit alguns dels escenaris del model IMAGE-2, es va plantejar una nova pregunta per poder avaluar les seves percepcions amb relació a la informació climàtica i el paper dels models de simulació per ordinador. En general es va fer palès un elevat grau d'escepticisme respecte la validesa dels escenaris presentats per aquest model⁹, en bona part superior a la mostrada pels ciutadans no experts. Els resultats obtinguts foren els següents:

Pregunta: Ha trobat els escenaris mostrats pel model IMAGE-2 realistes?

RESPOSTES:

- «No gaire, crec que manquen moltíssimes variables per considerar i que moltes d'elles poden ser determinants per saber quins seran els escenaris futurs».
- «No, són simplement models».
- «El més realista és mostrar l'irrealisme del 'business as usual'. La resta depèn dels supòsits, que

s'han de fer molt més explícits perquè serveixi com a eina per a la presa de decisions. Una discussió realista dels resultats del model, s'ha de situar en termes de risc».

- «No massa, especialment en el que es refereix a tendències d'increment del consum i concentració de CO₂».
- «Molt elementals. El mèrit és haver recollit dades a escala mundial. De fet, els programes són ben senzills i la seva importància és haver començat a posar a punt un instrument que s'anirà fent més complex o sofisticat en el futur».
- «Raonablement, sí».
- «Com tots els models matemàtics, cal tenir cura en els resultats i en la seva interpretació. S'han de considerar elements d'aprenentatge».

Ben entrades les discussions, i ja centrades en els aspectes que relacionaven el canvi climàtic amb la regió metropolitana de Barcelona, es formulà les qüestions següents:

Pregunta: Té sentit/utilitat definir objectius d'emissió de gasos hivernacle per a la regió metropolitana de Barcelona [extensa]?

RESPOSTES:

- «Sí, perquè és clar que hi ha nivells d'actuació que es poden decidir des del municipi o el govern autonòmic».
- «Sí, però per a ésser eficaços, han d'integrar-se en uns objectius d'àmbit mundial».
- «Sí, sempre que sigui de forma col·legiada a nivell europeu com a mínim».
- «És imprescindible, aquí i a tot arreu, fixar-se objectius de reducció unilaterals (independentment del que facin els altres) per tal de trencar el bloqueig i empènyer les negociacions multilaterals cap a resultats reals. A més, si es transforma el repte ambiental

9. Aquest model era un dels més avançats en el seu moment i utilitzat, encara que de manera no oficial, en negociacions internacionals. L'obtenció de cada escenari suposava més de 48 hores de funcionament en un superordinador de gran capacitat.

en una oportunitat, es pot treure avantatge d'haver estat els primers a desenvolupar noves tecnologies, etc.»

- «Tindria sentit si es quantifiquessin els costos, s'expliciten el mitjans per fer-ho i, sobretot, si es garanteix el seguiment (amb sancions corresponents)».

- «Sí».

- «No crec que tingui la dimensió suficient, però qualsevol actuació és positiva».

Pregunta: Si ha contestat 'sí' a l'anterior qüestió, qui i com hauria de definir aquests objectius d'emissió per a la regió?

RESPOSTES:

- «Crec que no es pot separar la regió metropolitana de Barcelona de la resta de Catalunya i que, per tant, hauria de ser la Generalitat qui fes la primera proposta de planificació per a la reducció, comptant amb els municipis per posar-ho en pràctica. En tot cas és bàsic tenir en compte tots els sectors socials implicats».

- «L'Administració i les institucions públiques, establint les mesures a adoptar, avaluant el seu cost i la forma d'avaluació».

- «A nivell de les diferents administracions i seguint el marc de les seves pròpies competències, la forma hauria d'ésser emmarcada en una política a nivell global».

- «Tots els nivells de l'Administració, amb una visió 'federalista' o de subsidiarietat: ajuntaments / diputacions provincials, entitat metropolitana / consells comarcals, Generalitat de Catalunya, Estat espanyol, UE».

- «La Generalitat de Catalunya (el Parlament i el Govern) amb la col·laboració – coordinació – acceptació de les responsabilitats precises de l'administració local (consells comarcals, més que la dispersió heterogènia dels municipis, [ja que] el 50 per cent

dels quals a Catalunya no arriben a 500 habitants i el 80 per cent no arriben als 2.000 habitants i que, per tant, [compten] amb poca capacitat tècnica)».

- «D'un compromís conjunt dels ens implicats en la regió; administracions (Generalitat, ajuntaments a les associacions municipals), grans empreses energètiques, i agents socials (associacions empresarials o indirectes)».

- «A nivell de la UE».

Pregunta: Quins nivells d'emissió a la regió proposaria vostè per a l'any 2010 (en termes de percentatge en relació a l'emissió actual [o en un altre moment]?)

RESPOSTES:

- «Disminuir un 2 per cent anual a partir d'ara. I considerant que pot haver-hi actuacions concretes que facin millorar més ràpid, com pot ser la clausura d'abocadors. Aquest tipus de mesures caldria prioritzar-les, independentment de la reducció fixa anual proposada».

- «Un nivell assumible tècnicament i econòmicament seria un 1 per cent anual».

- «Més important que el percentatge/canvi d'emissions respecte als nivells actuals, és establir els límits acceptables des del punt de vista de la sostenibilitat».

- «L'objectiu ja adoptat per Barcelona és una reducció del 20 per cent pel 2005 respecte el 1987. L'increment que s'ha produït implica ja de fet una reducció (respecte 1998) aproximadament del 40 per cent. Pel 2010 s'hauria d'anar pensant en reduccions superiors. Però al final es tracta de fixar objectius per càpita».

- «1 per cent de reducció anual, és a dir, un 10 per cent a l'horitzó del 2010».

- «Sembla que la rebaixa d'un 1 per cent anual seria prou significativa de l'ordre de magnitud dels compromisos assolibles políticament i econòmicament».

- «?» [respon posant un interrogant]

Finalment, tot just a tres quarts d'hora de l'acabament de la trobada, es va passar el darrer qüestionari, que pretenia reflectir les discussions portades a terme fins aleshores amb relació als sectors a intervenir, les mesures a aplicar i la seva acceptabilitat per part del públic. Tot i que el debat estava força centrat a l'àrea metropolitana de Barcelona, la majoria dels comentaris que es van fer al llarg de la trobada es referien, implícitament, al conjunt de Catalunya. Heus ací les qüestions:

Pregunta: En quines àrees (sectors econòmics, activitats humanes, fonts d'emissió) seria més adequat intervenir a nivell regional [metropolità de Barcelona] per reduir les emissions de gasos d'efecte hivernacle?

RESPOSTES:

- «Indústria, transport, construcció, ordenació del territori, residus, agrícola-forestal, i en tots els casos en el sector de formació i educació».
- «Transports; generacions d'energia elèctrica; sector residencial. Millora de l'eficiència dels aparells que consumeixen energia».
- «De forma immediata, certs focus emissors concentrats lligats a la gestió de residus: recuperació del metà de l'abocador del Garraf i altres abocadors, i dels purins de les granges ramaderes. A mig termini, aturar el creixement de les emissions del transport, amb mesures dissuasòries normatives i fiscals, i amb una aposta forta pel ferrocarril (no el TGV!); a mig i llarg termini, intervenir en el canvi de model energètic, a les fonts generadores i als usos finals?».
- «Seria adequat intervenir de manera conjunta sobre tots aquells sectors que tinguessin alguna incidència en l'emissió de gasos, independentment del grau d'incidència».
- «Energia, ordenació del territori, especialment transports, construcció, la resta d'activitats econò-

miques: indústria, agricultura, pesca, mineria i, fins i tot, turisme».

- «A curt termini: transports, vector energètic, residus; a llarg termini: educació».
- «Transports».

Pregunta: Segons la seva opinió, quins instruments o mesures serien les més adients/útils/efectives per aconseguir aquests objectius?

RESPOSTES:

- «Com a mesura bàsica, la sensibilització social i la promoció de canvi d'hàbits, i com a mesures secundàries i de reforç, les que fan referència a la fiscalitat».
- «Renovar les instal·lacions per altres més eficients i menys contaminants; promoure el transport públic; millorar la xarxa viària; informació i formació dels ciutadans».
- «Un pla ambiciós d'aprofitament del biogàs generat per la fermentació anaeròbica de residus (municipal i ramaders); ecotaxes i mesures viàries dissuasòries de l'ús del transport privat, sobretot a les ciutats, i incentivadores dels transport col·lectius. Canvi de la despesa pública en infraestructures; foment de l'eficiència energètica en els usos finals i de les energies alternatives a les fonts de generació».
- «Les mesures haurien d'afavorir i compensar totes aquelles actuacions personals, empresarials o col·lectives encaminades a reduir l'emissió de gasos a l'atmosfera, sempre emmarcada dins d'estratègies més globals».
- «Planificar i actuar sobre l'ocupació del territori; recerca i operacions pilot en temes d'energia, transports i construcció; reglamentació i avantatges de diversa índole a la resta d'activitats (els reglaments han de ser cumulables i controlables)».
- «Adequar els preus als costos reals, incloent-hi l'impacte ambiental; una adequada planificació territorial».

- «Regulació i control».

Pregunta: Segons la seva opinió, quins d'aquests instruments o mesures la població de la regió metropolitana de Barcelona probablement acceptaria més?

RESPOSTES:

- «Crec que es poden arribar a acceptar gairebé tot tipus de mesures si prèviament s'ha conscienciat la gent i si van acompanyades de la suficient transparència en la seva aplicació i s'observen resultats».

- «Podrien ser acceptades totes elles».

- «Les que no afectessin directament la seva vida quotidiana, com per exemple, l'aprofitament del biogàs o canvis a les plantes generadores d'energia que no tinguessin un impacte ambiental local problemàtic, serien menys conflictives que les mesures de dissuasió de l'automòbil o el transport de mercaderies per carretera».

- «Millores en l'eficiència dels sistemes energètics, tant industrials com d'ús domèstic».

- «Energies més netes sense sobre costos; plans territorials entenedors; aplicació de mesures en el transport públic i l'eliminació de residus; propostes «imaginatives» i no merament «policials» per als sectors productius: suport a la recerca».

- «Amb una adequada informació, crec que tots».

- «Incorporació en pressupostos».

Pregunta: Qui hauria de decidir sobre les mesures regionals a prendre? Qui hauria de prendre una major responsabilitat (govern, ONG, empreses, centres de recerca, la població, etc.)

RESPOSTES:

- «La major responsabilitat és dels governs, però és bàsic l'incentiu i els acords que es puguin fer des de la resta dels sectors socials».

- «Govern; la responsabilitat hauria d'ésser assumida per totes les parts».

- «Caldria arribar a un pla d'acció del clima a llarg termini que tingués un gran consens, de manera que no estigués a mercè de canvis de cicle electoral curt. Aquest pla d'acció es pot concretar a tots els nivells (Estat espanyol, UE, comunitats autònomes, municipis) i sempre incloent actors socials (empreses, sindicats, ONG, associacions de veïns i consumidors, ecologistes, universitats, etc.)».

- «La decisió correspondria als poders públics, després d'escoltar les recomanacions de tècnics i experts».

- «Generalitat de Catalunya (Govern i Parlament); la pròpia Generalitat i el sector local, procurant atraure les empreses, incentivant els centres de recerca, acceptant la col·laboració de les ONG i convenent i escoltant els ciutadans».

- «El conjunt de la societat a través dels seus òrgans de representació (de tot tipus)».

- «Govern».

Per tant, i a partir del conjunt d'aquestes respostes, es poden treure algunes conclusions i contrastos que poden ser d'interès com a elements de reflexió. Així, els experts i agents implicats consultats presentaven, al principi de la trobada, una opinió força polaritzada i mostraven divergències en les seves avaluacions sobre la gravetat o les conseqüències del canvi climàtic. Les persones que creien en l'existència o rellevància de l'escalfament global, percebien el canvi climàtic probablement com el problema ambiental més greu¹⁰. Altrament, els participants del grup d'experts es resistien a avaluar els impactes del canvi climàtic a nivell de la regió metropolitana de

10. Això contrasta amb el resultat quantitatiu obtingut del públic general ja que, tal i com mostren en els sondeigs de la secció C3.1, el canvi climàtic obté una posició relativament poc prominent si es compara amb altres problemes ambientals globals.

Barcelona i, per exemple, el seu possible efecte sobre l'abastament d'aigua no fou ni tant sols esmentat.

Tanmateix, els experts i els agents rellevants consultats mostraren un grau d'escepticisme força elevat pel que fa als models climàtics mostrats al llarg de la reunió, exhibint una actitud de certa desconfiança que fou més palesa que la que mostrada pel públic en general, el qual estava més inclinats a reconèixer les seves limitacions per 'entendre' els diferents escenaris. Per una altra banda, ningú trobà insensat (sinó més aviat al contrari) la fixació d'objectius de canvi climàtic a escala de l'àrea metropolitana de Barcelona. En particular, cinc de les set persones presents estaven d'acord en fixar nivells de reducció anual de l'ordre de l'1%, mentre que una persona no es mostrava prou capacitada per contestar, i una altra apuntava que calia determinar els objectius climàtics en funció de criteris més amplis de sostenibilitat, sense especificar-los.

Els sectors sobre els quals consideraven més important actuar coincidien en part amb els apuntats pels grups no experts, tot i que aquí la planificació del territori prenia més protagonisme i s'hi afegien el turisme i alguns sectors primaris, com l'agricultura, la ramaderia o la pesca. Pel que fa a l'acceptabilitat de les mesures, es remarca la importància de considerar els costos corresponents, al mateix temps que donaven a entendre que l'acceptabilitat d'aquestes polítiques depèn en un grau molt elevat de la comprensió i de l'educació de la població sobre la necessitat d'implementar-les dins d'un marc d'actuació internacional. Finalment, la distribució de responsabilitats es repartia força equitativament entre les diverses Administracions, destacant la necessitat de consulta i de diàleg social a l'hora de triar i d'implementar les diverses mesures.

C3.3. El tractament del canvi climàtic a la premsa de Catalunya en el període 1990-2002

C3.3.1. Anàlisi de l'evolució del nombre d'articles sobre el canvi climàtic publicats als principals diaris de Catalunya

La percepció de la societat amb relació al canvi climàtic està relacionada, de forma notable, amb la cobertura que en fan els mitjans de comunicació. En el cas del Regne Unit, per exemple, s'ha arribat a demostrar (C. Lacey i D. Longman, 1997) que hi ha una certa correlació –que no és el mateix que una relació de causalitat– entre la presència del canvi climàtic a la premsa i la percepció que en té el públic (mesurada a través de sondeigs). En altres paraules, l'atenció pública sobre l'escalfament global de la Terra augmenta quan creix el nombre de notícies sobre aquest fenomen aparegudes a la premsa i a l'inrevés. És per aquest motiu que l'observació de les tendències i dels continguts dels missatges retransmesos per la premsa diària pot donar una idea força aproximada dels cicles i de l'evolució de la percepció pública en aquest àmbit.

Per altra banda, en l'àmbit de les ciències socials ja es disposa d'un notable volum de referències bibliogràfiques dedicades exclusivament a l'estudi de la cobertura del canvi climàtic per part dels mitjans de comunicació. Alguns resultats obtinguts fins ara ens ajuden a interpretar el paper d'aquests actors, així com les seves potencialitats o limitacions amb relació a aquest fenomen. Així, William Clark et al. (2001) i Miranda Schreurs et al. (2001) portaren a terme una de les comparacions internacionals més extenses pel que fa a la cobertura a la premsa de tres problemes ambientals (canvi climàtic, afebliment de la capa d'ozó i pluja àcida), tot estudiant-ne l'evolució en vuit països. Els seus resultats apunten que el canvi climàtic ha estat el darrer d'aquests problemes a l'hora de captar l'atenció per part de la premsa (la pluja àcida va ser el primer).

Segons aquests autors, els mitjans de comunicació no han estat mai el mecanisme responsable



Figura C3.7. El canvi climàtic a la premsa catalana. Font: diari Avui (edició del dia 30 de maig de 2002).

per identificar, seleccionar o estimar la gravetat dels problemes ambientals globals a escala internacional –paper que més aviat ha correspost als científics–, sinó que només han actuat com a amplificadors o reductors de l'atenció pública sobre aquests temes, tant a escala local com regional. Més concretament, la cobertura del canvi climàtic era pràcticament inexistent abans de finals dels anys vuitanta (1988), però es va incrementar de manera molt pronunciada a partir de llavors i mantingué encara la seva presència fins a principis dels noranta, fins i tot quan les notícies entorn la capa d'ozó començaven a declinar¹¹.

11. No és aquest el lloc per fer una revisió exhaustiva de la literatura social al respecte. Com a exemples, cal apuntar que per a Bell (1994a), la informació proporcionada per aquests mitjans beneficia el coneixement de l'audiència sobre el canvi climàtic només si prèviament ja es disposa de cert coneixement sobre aquest fenomen; o que per a Mazur (1998) la preocupació sobre els problemes de canvi ambiental global, tot i que està molt lligada a la seva inclusió la prem-

Aquest recull es limita a mostrar l'evolució de la cobertura del canvi climàtic per part de la premsa catalana durant el període 1990-2002 i a relacionar-la amb els esdeveniments i continguts que han captat l'atenció dels periodistes i dels articles en cada cas. Els resultats obtinguts es mostren a les taules C3.10 i C3.11 i a les figures C3.8, C3.9 i C3.10.

Com es pot veure a la taula C3.10, relativament hi ha poques diferències en la cobertura portada a terme pels tres diaris, i la mitjana d'articles no supera els 2,3 articles mensuals en cap d'ells, tot i que el nombre d'articles s'ha doblat, anualment, durant la darrera dècada. També s'observa com, en general, els tres diaris analitzats tendeixen a incrementar o a disminuir la seva cobertura del canvi climàtic al mateix temps. Com també passa en altres fenòmens i problemes de caràcter social o ambiental, la cobertura del canvi climàtic als mitjans de comunicació està subjecte a cicles. L'aparició d'articles a la premsa sobre el canvi climàtic a Catalunya és força dependent del context internacional. En gran mesura, està en funció dels discursos pronunciats per científics rellevants o per caps d'estat, de la celebració de Conferències de les Parts (CoP, en anglès) o de la publicació d'informes per part de Grup Intergovernamental d'Experts sobre el canvi climàtic (IPPC, en anglès). El màxim d'articles s'assoleix l'any 1997, en què es produeix la negociació del Protocol de Kyoto.

C3.3.2. Anàlisi dels acudits publicats per la premsa

Finalment cal parar atenció, encara que sigui breument, a la manera com la mateixa premsa escrita ha recollit el problema i la política del canvi climàtic a través dels acudits, un element que cada cop més es considera com un dels més

sa, no manté una relació proporcional amb el nombre de notícies que hi apareixen sobre aquest fenomen, excepte en el cas de la desaparició de la capa d'ozó i les avaluacions que n'oferien els científics. Els lectors interessats en altres treballs rellevants sobre aquest tema, vegeu Bell (1994b), Trumbo (1996), Stamm et al. (2000) i Weigart et al. (2000).

representatius i interessants a l'hora d'intentar acostar-se a l'anàlisi de les inquietuds, les visions i el coneixement del públic en general sobre determinades matèries complexes.

Els acudits acostumen a proliferar com més greu o més important es percep públicament un determinat problema o situació social o ambiental¹². Quan són de qualitat, els acudits desvetllen, transmeten i plasmen de manera molt sintètica un conjunt de realitats i de veritats que solen estar latents o contingudes en l'imaginari i la consciència col·lectives, però que per raons diverses no sembla correcte, possible o oportú de fer-les explícites de manera oberta. De forma freqüent, constitueixen indicadors clau del que tothom creu però que la majoria de gent no s'atreveix a expressar de forma tan directa o clara com ho fan els seus autors. Per la seva economia de recursos (amb poques paraules i tracs concentren i transmeten una gran informació) constitueixen un mitjà molt vàlid i significatiu a l'hora d'interpretar de forma integral les percepcions sobre processos complexos, i això els fa especialment atractius quan es vol analitzar problemes ambientals.

Pel que fa a l'examen de percepcions sobre el canvi climàtic a través dels acudits, i per motius de brevetat, l'anàlisi se centra en només dos diaris (*El País* i *El Periódico*) i abasta un període curt de la dècada dels anys noranta, encara que dels més significatius pel que fa a la comunicació pública sobre aquest fenomen: el període de la negociació del Protocol de Kyoto.

12. A l'Estat espanyol hi ha alguns exemples a tenir en compte, com els efectes de la crisi del *Prestige* o la guerra d'Iraq. Els lectors interessats en obtenir més informació sobre l'anàlisi sociològic mitjançant acudits de temes tan seriosos com la política a l'Orient mitjà, poden trobar-la a Gamsom (1992).

ANY	Avui	El Periódico	La Vanguardia	Total anual
1990	17	31	19	67
1991	8	8	7	23
1992	23	41	34	98
1993	6	6	13	25
1994	12	4	9	25
1995	38	32	21	91
1996	10	15	13	38
1997	40	43	46	129
1998	26	36	21	83
1999	17	24	21	62
2000	27	47	33	107
2001	37	40	28	105
2002	30	28	30	88
TOTAL	291	355	295	941
Mitjana d'articles mensuals i desviació estàndard	1,87 (2,43)	2,28 (2,90)	1,88 (2,74)	6,03 (7,35)

Taula C3.10. Nombre d'articles sobre canvi climàtic apareguts als diaris *Avui*, *El Periódico* i *La Vanguardia* durant el període 1990-2002

Font: elaboració pròpia.

Com és ben sabut, la importància de la Conferència de les Parts on s'aprovà el text d'aquest protocol, celebrada el mes de desembre de 1997, radica en el fet d'haver constituït el primer esforç per establir un règim d'obligacions a escala internacional pel que fa al compliment de compromisos de reducció de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. Fou un període (també a Catalunya) d'una certa activitat política i, fins i tot, d'una certa mobilització social per part d'organitzacions ecologistes que demanaven, com fou el cas de Barcelona, el compliment del compromís de reduir un 20% les emissions d'aquests gasos a la ciutat adoptat per l'Ajuntament de Barcelona.

ANY	PRINCIPALS ESDEVENIMENTS COBERTS	ALTRES ESDEVENIMENTS RELLEVANTS (Selecció)
1990	Conferència de Ginebra sobre el clima (octubre–novembre)	Primer informe de l'IPPC
1991	Impacte del transport en les emissions de CO ₂	Conferència dels països en desenvolupament a Beijing
1992	Conferència de Rio de Janeiro (mes de juny)	Es signa el Conveni Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic (en el marc de la Cimera de Rio de Janeiro)
1993	Ratificació per part del Conveni Marc sobre el Canvi Climàtic i possible impost sobre el CO ₂	-
1994	Polítiques de canvi climàtic a la UE, Estat espanyol, Catalunya i Barcelona	Entra en vigor el Conveni Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic
1995	CoP-1 a Berlín (març-abril). Impactes del canvi climàtic i impost de la UE sobre el CO ₂	Segon informe de l'IPPC
1996	CoP-2 a Ginebra (juliol)	-
1997	Rio + 5 (juny); CoP-3 a Kyoto (desembre)	La Unió Europea adopta el mecanisme d'aplicació conjunta i fixa els compromisos de reducció per estats
1998	CoP-4 a Buenos Aires (novembre)	-
1999	CoP-5 a Bonn (Octubre)	-
2000	CoP-6 a La Haia (novembre)	-
2001	Consell europeu de Gotèborg (juny); CoP-6 a Bonn (juliol); CoP-7 a Marràqueix (novembre)	Tercer informe de l'IPPC. Programa Europeu del Canvi Climàtic
2002	Rio + 10 a Johannesburg (agost-setembre)	Inventari de l'Agència Europea del Medi Ambient (AEMA) sobre emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. L'Estat espanyol és el que menys compleix els acords de reducció d'emissions en el marc de la Unió Europea

Taula C3.11. Principals esdeveniments coberts per la premsa a Catalunya i relació amb altres esdeveniments rellevants sobre el canvi climàtic a escala internacional.

Font: elaboració pròpia

Així doncs, els cinc acudits seleccionats –que es reproduïxen a continuació– són una breu mostra de tot un conjunt de creences (amb molta probabilitat es podria afirmar tant sols com una hipòtesi a causa de les poques dades disponibles) que són força esteses entre la població general. Cadascun d'ells poden interpretar-se de maneres diverses, encara que alguns dels seus missatges són prou unívocs i directes, i reflecteixen crítiques i concepcions del problema que sovint es veuen com a realitats denunciades i que corresponen a les situacions següents:

1. **Acudit 1:** Tracta la ineficàcia dels processos ambientals internacionals –en particular l'aplicació del Protocol de Kyoto– pel que fa a la contenció de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i, especialment, l'actitud dels Estats Units d'Amèrica davant els esforços i compromisos de la comunitat internacional. (El Roto. *El País*, 14.XII.97)

2. **Acudit 2:** Aborda la manipulació i/o la posició falsament objectiva de determinats mitjans de comunicació i/o de suposats experts a l'hora d'a-

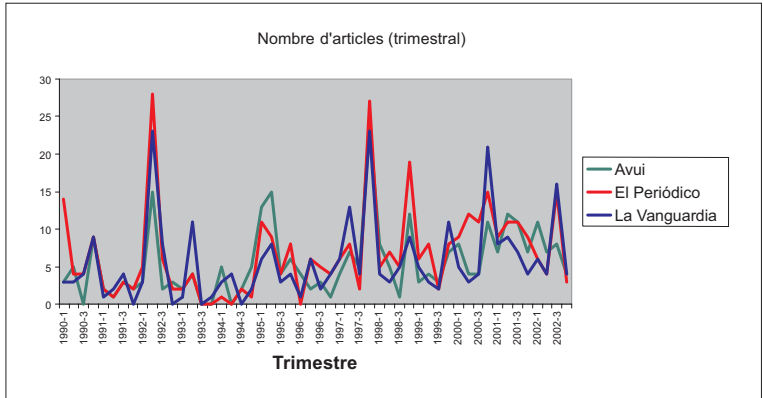


Figura C3.8. Nombre trimestral d'articles sobre canvi climàtic i escalfament global de la terra apareguts a Catalunya als diaris Avui, El Periódico i La Vanguardia durant els anys 1990-2002.
Font: elaboració pròpia.

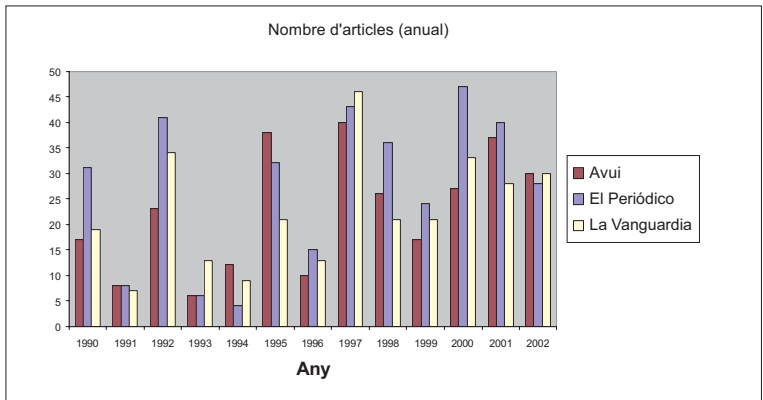


Figura C3.9. Nombre anual d'articles sobre canvi climàtic i escalfament global de la Terra apareguts als diaris Avui, El Periódico i La Vanguardia durant els anys 1990-2002.
Font: elaboració pròpia.

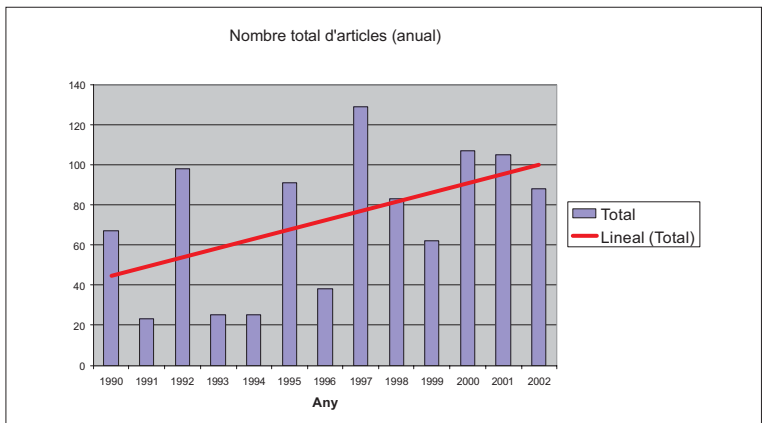


Figura C3.10. Evolució experimentada per la cobertura del canvi climàtic per part dels diaris Avui, El Periódico i La Vanguardia durant el període 1990-2002.
Font: elaboració pròpia.

valuar o de comunicar la gravetat del canvi climàtic. (El Roto. *El País*, 7.XII.97).

3. **Acudit 3:** Denuncia la posició absolutament desinteressada d'algunes empreses davant la problemàtica de canvi climàtic. (José Luis Martín. *El Periódico*, 12-XII-97).

4. **Acudit 4:** Demostra la percepció que hi ha de poca capacitat de transformació política per part de la ciutadania global davant d'interessos tan potents com els dels Estats Units d'Amèrica. (Nando. *El Periódico*, 11-XII-97).

5. **Acudit 5:** Aglutina molts dels anteriors elements de reflexió, introduint-hi la idea dels límits de seguir fent el mateix indefinidament (el *business as usual*), així com les desastroses conseqüències que això comporta. Inclou també la idea del perjudici ideològic, on els defensors de la política del clima són d'esquerres (Ferrerres. *El Periódico*, 3-XII-97).

Per tant, sembla poc probable que aquestes percepcions i creences, plasmades en acudits de la premsa present a Catalunya, hagin variat gaire en els darrers temps. Es podria afirmar que en bona part continuen essent vàlides per entendre de manera més qualitativa i aprofundida com és aquesta problemàtica i com es perceben els actors i les responsabilitats corresponents en aquest àmbit.

C3.4. Conclusions

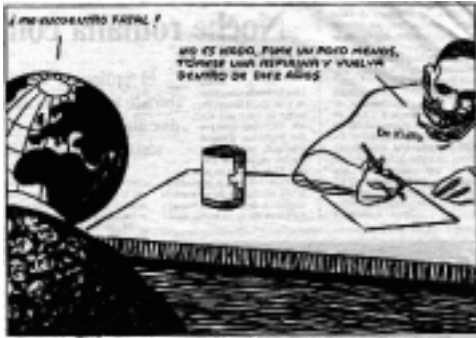
L'exploració de les percepcions públiques amb relació a qualsevol objecte relativament complex de la realitat socioambiental requereix la interpretació de diversos llenguatges i manifestacions expressives, moltes de les quals provenen de fonts molt diverses. Les diferents concepcions del món afecten la forma d'entendre un determinat problema i s'estructuren, tant en les seves causes com en les seves conseqüències, en funció de processos multidimensionals. D'aquesta manera, encara que en aquest capítol s'han mostrat algunes dades quantitatives que poden po-

sar de manifest l'estabilitat, o fins i tot un relatiu increment de la consciència i la comunicació del canvi climàtic a Catalunya, s'ha pretès fer èmfasi en mostrar la diversitat de respostes que tenen els ciutadans (tant experts com no experts) davant d'aquest fenomen. En qualsevol cas, es tracta d'un material empíric qualitatiu, generat a Catalunya, i que prové tant de reaccions a informacions complexes produïdes per models de simulació per ordinador com d'articles de diari publicats a Catalunya.

Des del punt de vista estrictament sociològic, a partir de la recerca portada a terme seria fútil intentar derivar tot un seguit de prescripcions normatives sobre *el què s'hauria de fer* en matèria de canvi climàtic a Catalunya. El salt, per altra banda prou freqüent entre alguns científics, entre el coneixement obtingut científicament sobre *com és la realitat i com aquesta hauria de conformar-se políticament* pren el nom de *fal·làcia naturalista*. Per evitar caure en aquest error, cal advertir els lectors que en cap moment s'ha volgut aportar una mena de manual per donar suport a les complexes i difícils decisions que s'hauran de prendre en aquest camp.

Les causes i les conseqüències del canvi climàtic no són únicament un aspecte científic o tècnic sinó que, sobretot, tenen un conjunt de dimensions polítiques i socials, les propostes de les quals requereixen un marc deliberatiu i participatiu molt més ampli, que no es limiti a una exploració més o menys aprofundida, rigorosa o integrada per part d'una única recerca feta des d'una disciplina o conjunt de disciplines científiques.

Dit això, però, és evident que els resultats mostrats en aquest capítol permeten aportar alguns elements de reflexió que, a més de tenir un contingut acadèmic, pretenen ser políticament rellevants, però només en la mesura que no diuen què s'ha de fer, sinó que només informen d'algunes reaccions, actituds i/o processos d'aprenentatge social que es podrien esperar alhora de prendre determinades decisions sobre el feno-



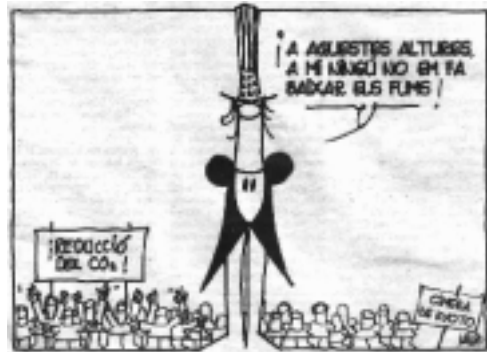
1.



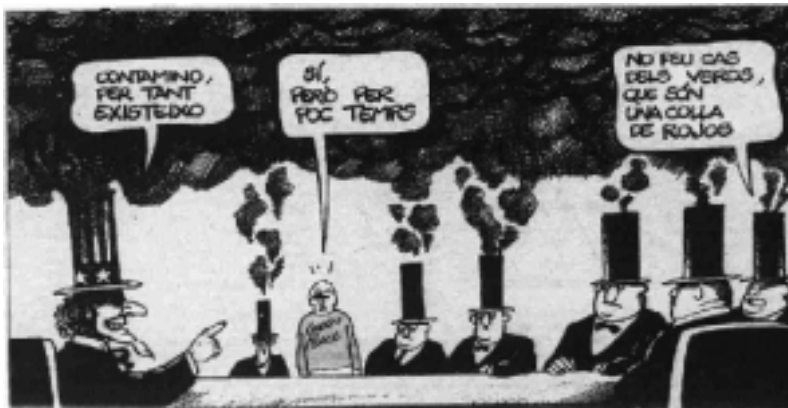
2.



3.



4.



5.

Figura C3.11. Acudits apareguts als diaris *El País* i *El Periódico* sobre el fenomen del canvi climàtic durant el període de negociació del Protocol de Kyoto (desembre de l'any 1997).

men del canvi climàtic. En aquest sentit, poden contribuir a delimitar alguns dels extrems on se situen les percepcions actuals per part del públic en general i d'alguns experts i agents implicats i, de manera més general, a emmarcar un debat més ampli sobre una possible política de canvi climàtic a Catalunya¹³.

D'aquesta manera, es constaten tot un seguit de resultats que tenen a veure amb les tres classes de fonts, metodologies i instruments utilitzats en aquesta investigació:

- 1) Segons dades quantitatives, el canvi climàtic no ha constituït (ni a mitjans dels anys noranta del segle xx ni actualment) el principal problema de preocupació ambiental global dels catalans. No obstant això, és possible que s'estigui generant més preocupació pels problemes ambientals globals *en general*, com a conseqüència d'altres processos de canvi ambiental global (com l'afebliment de la capa d'ozó).
- 2) Segons l'exploració integrada i de caràcter qualitatiu portada a terme amb ciutadans no experts de la regió metropolitana de Barcelona¹⁴, un procés deliberatiu dirigit a l'aprenentatge mutu sobre l'escalfament global de la Terra entre la població en general podria donar lloc a:
 - (a) Un increment del reconeixement de la incertesa sobre la seva existència o inexistència.
 - (b) Un augment del sentiment de la necessitat d'actuar.
 - (c) Més acceptació de la necessitat d'aplicar mesures econòmiques i legals al respecte

(les quals eren força rebutjades a l'inici del procés).

- (d) Més consciència sobre el fet que també és necessari reduir, en part, el consum en general per part de la població.

També se seguiria mantenint la percepció que les decisions relatives al canvi climàtic no haurien de seguir principalment criteris econòmics; que les prohibicions i mesures legals o econòmiques són menys preferibles que les educatives o voluntàries; i que, tot i així, seria preferible trobar fonts d'energia alternatives, reduir els residus i trobar noves formes de transport abans que reduir el propi consum (en general es prefereix canviar l'estructura de la producció d'energia que haver de disminuir el seu consum personal, malgrat que una contenció del consum d'energia *en conjunt* es veu de forma positiva). D'aquesta manera, els sectors on es creu que seria més adient actuar són l'energètic, el transport i els residus, juntament amb la planificació del territori.

- 3) La comunicació sobre el canvi climàtic en bona part de la premsa escrita catalana, ha estat molt baixa al llarg del període 1990-2002 i, en tot cas, ha estat subjecte a cicles, esdeveniments i conferències internacionals claus com la negociació del Protocol de Kyoto (any 1997). No obstant això, la cobertura de l'efecte d'hivernacle a Catalunya ha experimentat un cert increment al llarg de tot aquest període, la qual cosa ha tingut, probablement, conseqüències sobre l'opinió pública per la complexitat i la dependència informativa a la que estan subjectes aquestes qüestions.

Fins aquí s'han destacat alguns dels components i contorns sobre la multiplicitat d'elements que ha configurat la percepció del canvi climàtic a Catalunya. Es tracta, però, d'uns contorns relativament imprecisos i, fins i tot, una mica borrosos, per la dificultat de trobar dades o sèries de dades suficientment àmplies o que permetin ex-

13. Per a una discussió més àmplia sobre la utilitat i rellevància dels estudis de percepció ambiental, els lectors poden trobar més informació a Tàbara (2001).

14. Entesa durant les reunions del projecte *Ulysses* com una àrea que comprenia 4,3 milions dels habitants de Catalunya.

treure conclusions contundents sobre cadascun d'aquests elements. De manera anàloga a una de les tasques encomanades als participants en el projecte *Ulysses*, l'exploració d'aquestes percepcions s'ha fet mitjançant la composició d'una mena de *collage* de diferents formes expressives i de llenguatges. Cadascun dels instruments utilitzats en aquesta composició es igualment vàlid i rellevant, encara que també presenta els seus propis avantatges i limitacions.

En conseqüència, les limitacions dels sondeigs d'opinió –que es basen en el dubtós supòsit metodològic que l'opinió col·lectiva és la suma de les opinions individuals i aïllades en un moment determinat– han intentat ser compensades amb els resultats dels grups de discussió, que permeten la possibilitat de modificar les pròpies opinions com a conseqüència de la discussió i/o de l'aprenentatge mutu. Al mateix temps, els llenguatges no orals o no literats, com l'expressió corporal, els grafits o els *collages*, han estat suplementats a les dades sobre l'evolució de la presència del canvi climàtic a la premsa, en forma d'articles i d'acudits.

Tanmateix, cal reconèixer les limitacions de la recerca present, que encara deixa moltes qüestions obertes i sense resoldre. Per exemple, faria falta consultar sectors clau específics per tal d'avaluar l'aplicació i l'acceptabilitat de determinades mesures concretes aprovades en el marc del Programa Europeu del Canvi Climàtic, o explorar des d'un punt de vista social la capacitat d'innovació, d'adaptació o de mitigació de l'estructura social catalana davant la nova situació. En aquest punt, potser caldria subratllar la necessitat de canalitzar molts més recursos a fi d'institucionalitzar les ciències socials ambientals,

també en matèria de canvi climàtic¹⁵. En aquestes condicions, seria necessari dedicar més recursos a la tasca d'identificar més clarament aquells elements que, des del punt de vista de les ciències socials, podrien ser clau en la configuració de les estratègies dirigides a millorar la comprensió i la comunicació del canvi climàtic entre el públic en general i els experts implicats en la seva mitigació i adaptació a Catalunya.

Hi ha un altre aspecte relacionat amb les discussions relatives al paper de l'educació i de l'aprenentatge social respecte a problemes ambientals complexos (com el canvi climàtic) sobre el qual caldria insistir-hi. Tal i com es desprèn de les experiències mostrades a *Ulysses*, al final del procés els ciutadans no experts que havien participat en aquelles discussions feien més paleses i reconeixen de manera més oberta les seves incerteses i els límits al seu propi coneixement. Però, al mateix temps, aquella situació de més incertesa no els impedia (sinó més aviat al contrari els impulsava) a exigir la necessitat d'actuar i de prendre mesures al respecte. Aquesta és, precisament, una de la grans lliçons que caldria tenir en compte quan es parla d'educació sobre el canvi climàtic.

Pretendre una educació i una comunicació pública en un tema tan complex i amb tants interessos contraposats com l'escalfament global de la Terra té poc sentit si es basen en intentar transmetre certes indiscutibles sobre la seva existència i no es relaciona el coneixement sobre la seva naturalesa i/o sobre les mesures de mitigació o d'adaptació corresponents amb el context social, científic o polític del qual es parteix.

En efecte, aquesta mena d'aprenentatge no hauria de versar sols sobre el què se sap sinó també, i de manera molt important, sobre el què encara es desconeix. O, dit d'una altra manera, sobre què es pot fer en aquesta situació de gran incertesa, de necessitat urgent d'actuar (les decisions no poden posposar-se) i de possibles efectes negatius de gran magnitud d'aquestes decisions

15. Per altra banda, la manca de percepció del canvi climàtic com un problema polític podria explicar, també, la manca de resposta institucional i de mobilització ciutadana al respecte, tant a Catalunya com a l'Estat espanyol en general. En aquest últim cas, les dades d'emissions de l'any 2000 mostraven que l'Estat espanyol havia aconseguit els pitjors resultats d'actuació en matèria de canvi climàtic de tota la Unió Europea (Tàbara, 2004 i 2003).

(que podrien arribar, fins i tot, a ser catastròfiques per a les generacions futures). Com passa en altres camps del medi ambient global, l'aprenentatge social de la sostenibilitat suposa, en primer lloc, el reconeixement del desconeixement existent, que en cap cas, i aplicant ja un enfocament de precaució, pot ser la base per a defensar la inacció. Ben al contrari, la selecció concreta de mesures que permetin generar una política específica en aquest camp no pot dependre únicament dels productes aportats al debat per part de científics o de tècnics experts en aquests temes, sinó que haurien de considerar també altres fonts de valor i d'informació moral (i, fins i tot, estètica) a l'hora de conformar les decisions respectives. Davant d'aquesta nova situació, la precaució es fa peremptòria i, amb ella, es fa evident la necessitat d'integrar els múltiples llenguatges existents i la participació dels ciutadans, no només en la canalització de preferències polítiques, sinó sobretot, en la generació de coneixement.

Referències bibliogràfiques

- ALCAMO, J., (ed.) (1994). *IMAGE 2.0: Integrated Modeling of Global Climate Change*. Londres: Kluwer.
- BELL, A. (1994a). «Climate and Opinion: Public and Media Discourse on the Global Environment». *Discourse and Society*, núm. 5(1), p. 33-64.
- BELL, A. (1994b). «Media (mis)communication of the science of climate change». *Public Understanding of Science*, núm. 3, p. 259-275.
- CLARK, W.; JÄGER, J.; CAVENDER-BARES, J.; DICKSON, N. M. (2001). 'Acid Rain, Ozone Depletion, and Climate Change; a Historical Overview'. Publicat a SOCIAL LEARNING GROUP (2001). *Learning to Manage Global Environmental Risks: A Comparative History of Social Responses to Climate Change, Ozone Depletion and Acid Rain*. Clark, W. C.; J. Jäger, J. Van Eijndhoven, i N. Dickson (eds.). Cambridge, MA: MIT Press, p. 21-55.
- DEPARTAMENT DE MEDI AMBIENT (2001). *Estratègia d'investigació del Departament de Medi Ambient. Estudi 12.616*. Barcelona: Generalitat de Catalunya i Institut DEP.
- EUROPEAN COMMISSION (2001). *European Climate Change Programme (ECCP): Long Report* Brusel·les: Environment DG.
- GAMSOM, W. (1992). *Talking Politics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- KASEMIR, B.; DAHINDEN, U.; GERGER, A.; SCHIBLI, D.; SCHÜLE, R.; TÀBARA, D.; JAEGER, C. (2003). 'Collage processes and citizens' visions for the future'. A: KASEMIR, B.; JÄGER, J.; JAEGER, C.; GARDNER, M.T. (eds). *Public Participation in Sustainability Science. A handbook*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 81-104.
- KASEMIR, B.; JÄGER, J.; JAEGER, C.; GARDNER, M.T. (eds.). (2004). *Public Participation in Sustainability Science. A handbook*. Cambridge: Cambridge University Press. (Traducció al català coordinada i a cura de J. D. Tàbara [2005] *La participació del públic en la sostenibilitat*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge, en premsa).
- LACEY, C.; LONGMAN, D. (1997). *The Press as Public Educator. Cultures of Understanding, Cultures of Ignorance*. Luton: University of Luton Press.
- MAZUR, A. (1998). «Global Environmental Change in the News». *International Sociology*, núm. 13(4), p. 457-472.
- QUEROL, C.; GERGER, A.; KASEMIR, B.; TÀBARA, D. 2003. «'Citizens' reports on climate strategies». A: KASEMIR, B.; JÄGER, J.; JAEGER, C.; GARDNER, M.T. (eds.). *Public Participation in Sustainability Science. A handbook*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 126-152.
- ROTMANS, J.; DE VRIES, B. (eds.) (1997) *Perspectives on Global Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- SCHLUMPF, C., BEHRINGER, J., DÜRRENBARGER, G.; PAHL, C. (1999). «The Personal CO₂-calculator: A Modeling Tool for Participatory Integrated Assessment Methods». *Environmental Modeling and Assessment*, vol 4. p 1-12.
- SCHREURS, M.; CLARK, W.; DICKSON, N.; JÄGER, J. (2001). 'Issue Attention, Framing, and Actors, An Analysis of Patterns Across Arenas'. A: SOCIAL LEARNING GROUP. 2001. *Learning to Manage Global Environmental Risks: A Comparative History of Social Responses to Climate Change, Ozone Depletion and Acid Rain*. CLARK, W. C.; JÄGER, J.; VAN EIJDHOVEN, J.; DICKSON, N. (eds.). Cambridge, MA: MIT Press, p. 21-55.
- STAMM, K. R.; CLARK, F.; REYNOLDS EBLACAS, P. (2000). 'Mass communication and public understanding of Environmental Problems: the case of global warming'. *Public Understanding of Science*, 9 p. 219-237.
- STOCKHOLM ENVIRONMENT INSTITUTE (1996). *POLESTAR: System Manual*. POLESTAR Series Report No.2. Stockholm, Sweden.

TÀBARA, D. (2005). «Les Politiques de Canvi Climàtic: Una introducció a les diverses arenes, actors, funcions, sectors i mesures». A: TÀBARA, D.; COSTA, O. (2005). *Manual de gestió del canvi climàtic*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge. (En premsa).

TÀBARA, D. (2003). «Spain: words that succeed and climate policies that fail». *Climate Policy*. vol. 3, núm. 1, p. 19-30.

TÀBARA, D. (2001). «La medida de la percepción social del medio ambiente. Una revisión de las aportaciones realizadas por la sociología». *Revista Internacional de Sociología*, núm. 28, p. 125-168.

TÀBARA, D. (2000). «Parlem del clima: aportació de la sociologia qualitativa a l'Avaluació Integrada del canvi climàtic». *Revista Catalana de Sociologia*, p. 45-76. Disponible a: <http://www.iec.es/institucio/societats/ACSociologia/Publicacions/PDF/numero13_2000/15379.Joan%20David%20Tabara.pdf>.

TÀBARA, D. (1995). *Percepció Pública i Acció Social en Problemes de Medi Ambient*. Barcelona: Universitat de Barcelona, Departament de Sociologia i Metodologia de les Ciències Socials. (Tesi doctoral).

TÀBARA, D.; QUEROL, C. (1999). «Evaluación Integrada del cambio climático: experiencias de grupos de discusión en el área metropolitana de Barcelona». A: PARDO, M. (coord.) *Sociología y medio ambiente. Estado de la Cuestión*. Madrid: Fundación Fernando de los Rios – Universidad Pública de Navarra, p. 339-356.

TRUMBO, C. (1996). «Constructing Climate Change: Claims and Frames in US News Coverage of an Environmental Issue». *Public Understanding of Science*, núm. 5, p. 269-283.

WEINGART, P.; ENGELS, A.; PANSENGRAU, P. (2000). «Risks and Communication: Discourses on Climate Change in Science, Politics and the Mass Media». *Public Understanding of Science*, núm. 9, p. 261-283.

