

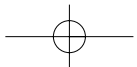
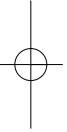
B8. Recursos hídrics, dinàmica hidrològica i canvi climàtic

Josep Mas-Pla

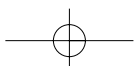
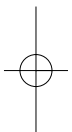
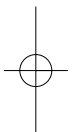
Unitat de Geodinàmica Externa i d'Hidrogeologia. Departament de Geologia.
Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals (ICTA)
Universitat Autònoma de Barcelona (UAB)

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	493
B8.2.2. Efectes en les relacions entre els components del cicle hidrològic	494
B8.3. Les aigües superficials	495
B8.3.1. Les aportacions dels rius	496
B8.3.2. El cas de l'Alt Cardener a l'embassament de la Llosa de Cavall	500
B8.3.3. Influència de canvis d'ús del sòl a la conca de l'Ebre	501
B8.4. Les aigües subterrànies	501
B8.4.1. Exemple d'un aqüífer al·luvial; el cas del riu Daró	502
B8.4.2. El cas de les zones de muntanya	504
B8.4.3. La problemàtica a les zones litorals	505
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	506
B8.5.2. Impactes en la qualitat dels recursos	509
B8.5.3. Impactes sobre el medi natural	510
B8.5.4. Riscos associats al canvi climàtic	510
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

Recursos hídrics, dinàmica hidrològica i canvi climàtic Josep Mas-Pla

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 (citat 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-

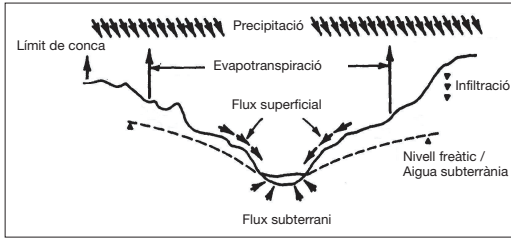


Figura B8.1. Esquema general del cicle hidrològic en una conca hidrogràfica. A escala de conca s'aprecia, a més dels diferents components del balanç hídric, la relació entre aigües superficials i subterrànies. Font: modificat d'un original de Domenico i Schwartz, 1998.

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 aquífers.

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 cicle hidrològic en el context del canvi climàtic

El cicle hidrològic estableix el balanç d'aigua en un àmbit geogràfic definit, habitualment la conca

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)

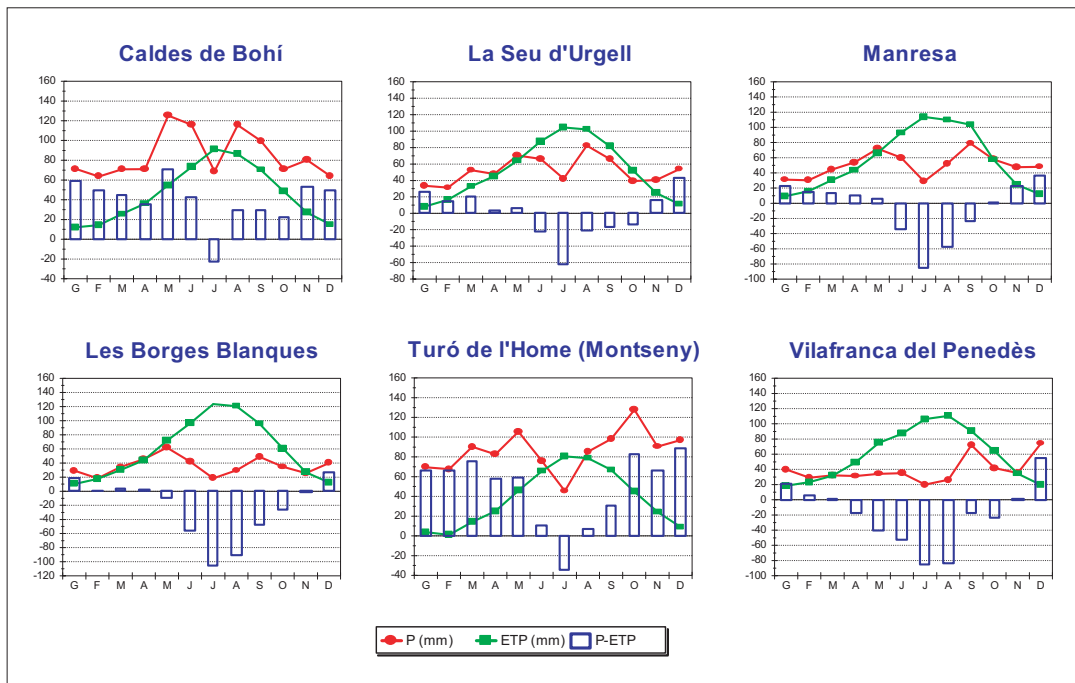


Figura B8.2. Diagrames climàtics de distintes àrees de Catalunya. Indiquen el déficit d'aigua generalitzat arreu del país, excepte a les àrees de muntanya (representades pels observatoris de Caldes de Boí i Montseny), i la distribució estacional d'aquest déficit. Font: elaboració pròpia amb dades de León Llamazares, 1989.

És obvi, doncs, que la modificació dels paràmetres climàtics (P, ET) condiona 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 (Sophocleos, 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

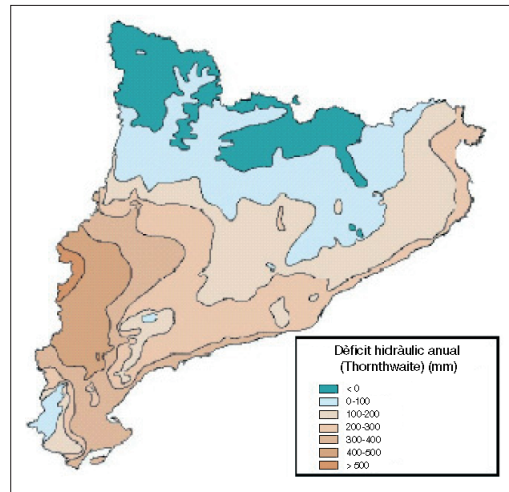


Figura B8.3. Mapa de dèficit hídric a Catalunya.
Font: extret de CADS, 2003.

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 actuant, a la seva gran variabilitat espacial i temporal i, igualment important, a la incidència antròpica 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 condiciona 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 aquífers 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 aquífers 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 aquífers 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'explotació 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 aquífers, la penetració de la falca marina depèn de l'alçada del nivell freàtic respecte al nivell del mar (*lleï 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 minicentrals 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

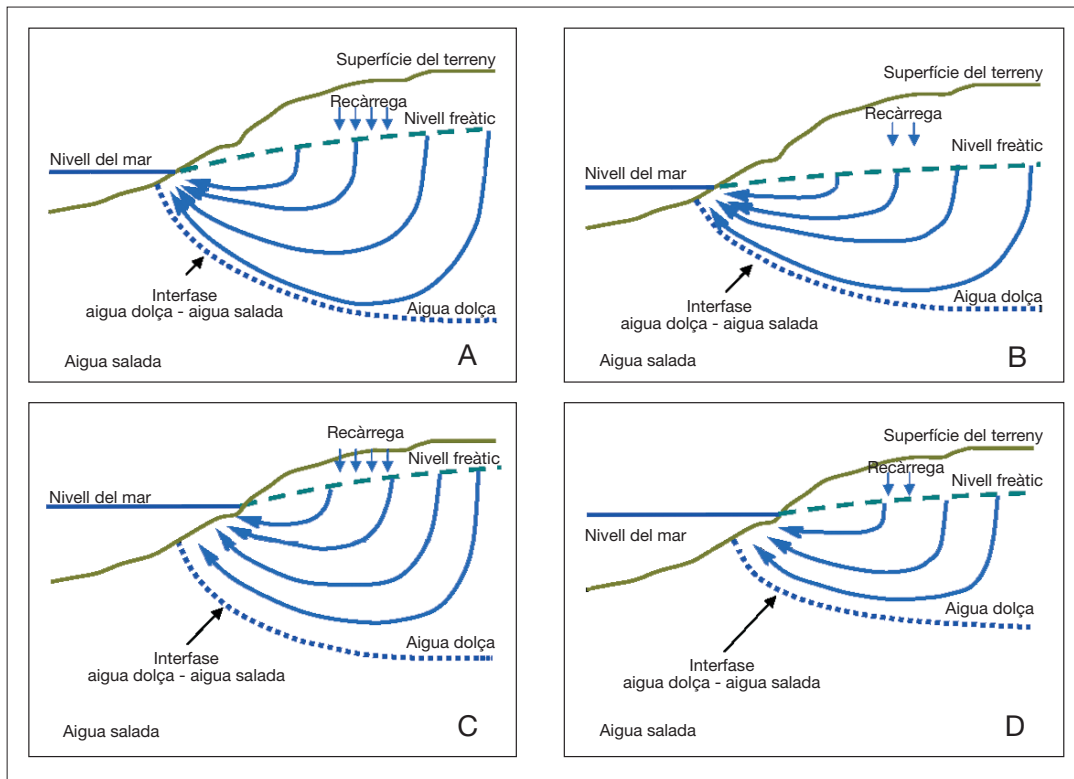


Figura B8.4. Modificació de la dinàmica hidrològica a les zones litorals com a conseqüència de les tendències climàtiques. L'esquema A mostra la situació actual, amb un gradient hidràulic i una falca marina establerts. El gràfic B mostra les conseqüències resultants de la disminució de la recàrrega per 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-

El canvi climàtic a Catalunya Recursos hídrics, dinàmica hidrològica i canvi climàtic

Rius i afluents	Superfície (km ²)	Estació d'aforament	Anys	Aigua aportada (període 1910-1999)						Any 1998/99
				tardor	hivern	primavera	estiu	Total (hm ³)	Total (hm ³)	
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	
Francolí	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).

ríode 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

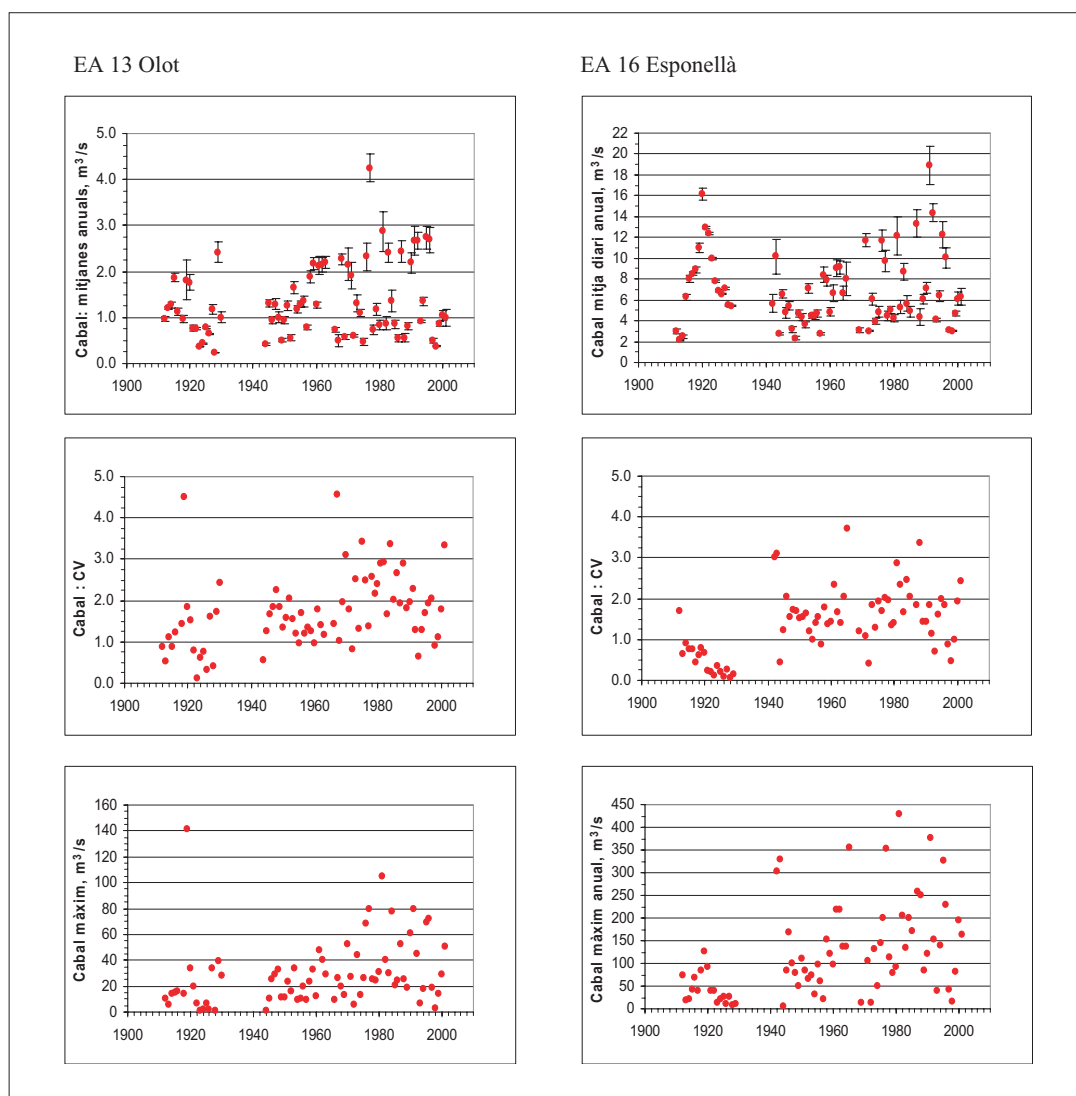


Figura B8.5. Anàlisi dels cabals mitjans diaris a les estacions d'aforament d'Olot i Esponellà a la conca del riu Fluvià.
Font: elaboració pròpia a partir de dades de l'Agència Catalana de l'Aigua.

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 $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ i el segon en cabals superiors $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$, amb absència de cabals en el rang intermedi ($1,5\text{-}2,0 \text{ m}^3/\text{s}$). A Esponellà es manté l'agrupació d'anys amb cabal "baix" ($< 7 \text{ m}^3/\text{s}$) i anys amb cabal "alt" ($> 9 \text{ m}^3/\text{s}$). 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</i> (μ)	1,334	6,921
<i>Desv. Std.</i> (σ)	3,059	13,080
<i>Error</i> = σ/\sqrt{n}	0,019	0,081
<i>CV</i> = σ/μ	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.

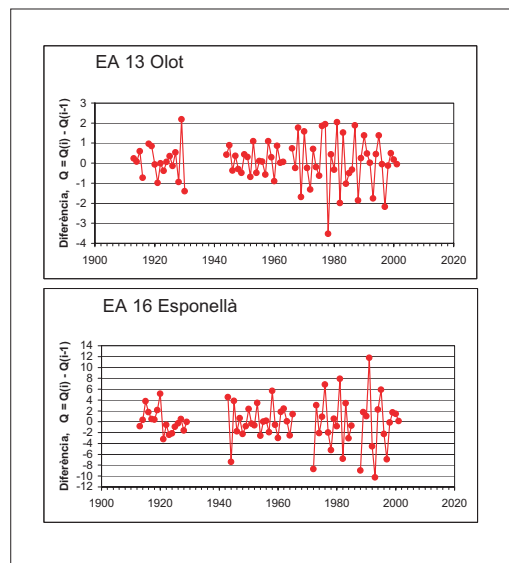


Figura B8.6. Diferència de cabals mitjans diaris entre anys consecutius a les estacions d'aforament d'Olot i Esponellà, a la conca del riu Fluvià.

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 diferents 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 aquífers. 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, consegüentment, 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 aiguamolls, 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 aquitard 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 plurianual 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 fluviodeltaïques 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-

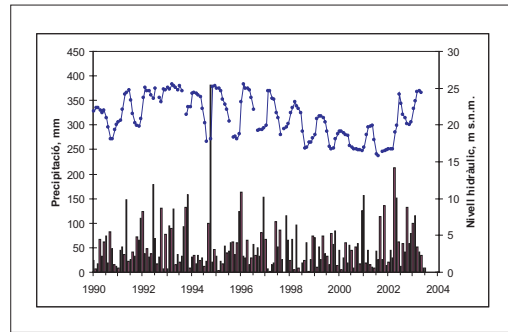


Figura B8.7. Evolució piezomètrica de l'aqüífer al·luvial del Daró i del registre pluviomètric durant el període 1990-2003 (segons dades de l'Agència Catalana de l'Aigua i del Servei Català de Meteorologia, respectivament). Hi destaca el període de sequera comprès entre els anys 1996 i 2001 i la recuperació 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 dóna 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 llargs 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 cinquanta anys”. Com a tantes altres zones de Catalunya, aquest fet ha estat observat al massís del

Montserrat (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 esorrentia 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 previsibles 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'altres 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 significatiu, 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.

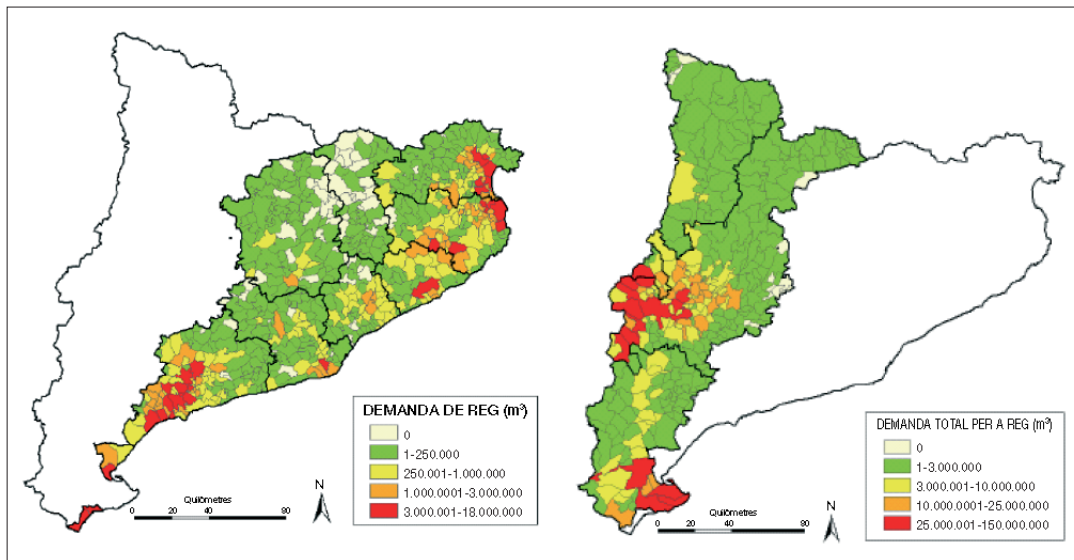


Figura B8.8. Distribució de la demanda de reg a Catalunya: conques internes i conques de l'Ebre.

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 metropolitananes 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 permetin 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-aquífer, 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 contemplan 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 dependent 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 capdavall, 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>

El canvi climàtic a Catalunya Recursos hídrics, dinàmica hidrològica i canvi climàtic

Recursos		Demanda	
Opció	Comentaris	Opció	Comentaris
1. Proveïment domèstic		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. Increment 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 efluent abocats a l'eres on pràcticament no hi ha dilució per manca de cabal natural.
1.3. Transvasaments o augment dels cabals trasvassats	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 l'eficiència.	Mitjançant l'ús de tecnologia o d'una política de preus.
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.	2.2. 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. Foment de la reutilització.	Depèn del procés industrial.
3.1. Ús d'aigua de menys qualitat i/o reutilització.	Viable.	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 efluents 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 represes 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 efectua 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 88.4. 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'Inunecat. Conques Internes de Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient. <www.gencat.net/aca/cat/planificacio/inunecat/>

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).