

B6. Residus

Dra. Teresa Vicent

Departament d'Enginyeria Química i Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals. Universitat Autònoma de Barcelona.

Dr. Xavier Gabarrell

Departament d'Enginyeria Química i Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals. Universitat Autònoma de Barcelona.

Teresa Vicent i Huguet (Borriana, la Plana Baixa, 1953) és llicenciada en Ciències Químiques (Química Industrial) per la Universitat de València i doctora en Ciències Químiques per la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB). Ha estat professora al Col·legi Universitari de Girona i actualment és professora titular d'Enginyeria Química a la UAB i investigadora de l'Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals (ICTA) de la mateixa universitat.

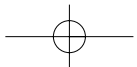
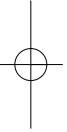
S'ha especialitzat en docència i en recerca en l'àmbit de l'enginyeria ambiental. Va realitzar la seva tesi doctoral sobre depuració d'efluents industrials per digestió aneròbia (any 1984) i ha continuat la recerca en depuració biològica d'efluents industrials (digestió anaeròbia, tractament d'aigües residuals tòxiques, etc.), gestió i tractament de residus i en ecologia industrial.

És investigadora principal en diversos projectes de recerca i forma part del Centre de Referència en Biotecnologia de la Generalitat de Catalunya. Ha assessorat diverses administracions i empreses sobre planificació i gestió de residus.

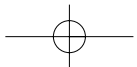
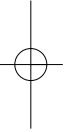
Xavier Gabarrell Durany (Barcelona, 1965) és llicenciat en Ciències Químiques (Química Industrial) per la Universitat Autònoma de Barcelona i doctor pel Programa de Biotecnologia de la mateixa universitat (any 1995). Actualment és professor titular d'Enginyeria Química i director de l'Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals (ICTA) de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB).

S'ha especialitzat en docència i recerca en l'àmbit de l'enginyeria ambiental, en el marc de les titulacions de Ciències Ambientals i d'Enginyeria Química, així com en els programes de doctorat de qualitat de Tecnologia i Ciències Ambientals de la UAB i de la IGSO. La seva recerca al Departament d'Enginyeria Química i a l'ICTA de la UAB durant els darrers 10 anys s'ha centrat en la biotecnologia ambiental (tractament de residus mitjançant fongs, etc.), així com en la gestió de residus i l'avaluació ambiental a l'empresa.

És coordinador de la Xarxa Temàtica d'Ecologia Industrial i forma part del Centre de Referència en Biotecnologia de la Generalitat de Catalunya.



Síntesi	417
B6.1. Introducció	419
B6.2. Abocadors	420
B6.2.1. Emissions generades	423
B6.2.2. Quantificació a Catalunya	424
B6.2.3. Accions de mitigació	425
B6.3. Digestió anaeròbia	427
B6.3.1. Processos anaerobis i producció de biogàs	427
B6.3.2. Quantificació de la producció i consum de biogàs a Catalunya	433
B6.3.3. Accions de mitigació	434
B6.4. El compostatge	434
B6.5. Les aigües residuals	434
B6.5.1. Emissions generades	436
B6.5.2. Quantificació de les emissions de les EDAR a Catalunya	437
B6.5.3. Accions de mitigació	437
B6.6. Residus ramaders	438
B6.7. Conclusions i escenaris	439
B6.7.1. Generació de RSU i objectius del PROGEMIC els anys 2003 i 2006	440
B6.7.2. Purins	444
Referències bibliogràfiques	445
Pàgines web	446



Síntesi

De tots els residus generats a Catalunya, els que contenen una part més important de matèria orgànica són els residus sòlids urbans (RSU) i els ramaders, dels quals es generen 3,5 i 13 milions de tones anuals, respectivament. En el cas dels RSU, és a dir, el conjunt de residus produïts a les llars, als comerços, a les oficines i al sector serveis, així com els procedents de la neteja de carrers, parcs i jardins, la seva producció ha augmentat un 50% durant l'última dècada.

El destí dels diferents tipus de residus generats a Catalunya són els abocadors, les estacions depuradores d'aigües residuals (EDAR), les plantes de metanització, les plantes incineradores i les plantes de compostatge. Pel que fa als residus sòlids urbans, actualment l'abocament controlat és la via més utilitzada. Actualment hi ha més de 32 dipòsits en funcionament al llarg de la geografia catalana.

A l'abocador, la matèria orgànica que no ha estat estabilitzada prèviament sofreix una descomposició anaeròbia, molt lenta, que genera biogàs i un lixiviats. El biogàs està constituït, a grans trets, per CO_2 (40%) i CH_4 (60%).

El volum de gasos amb efecte d'hivernacle emesos pels residus dels abocadors es pot estimar a través de diverses metodologies i a partir de dos criteris diferents:

- a) Emissions totals de CO_2 i CH_4 aportades pels residus durant tot el període d'estada a l'abocador, comptabilitzades o imputades en el moment d'introduir el residu a l'abocador. Aquestes emissions segueixen la mateixa evolució que la quantitat de residus que s'introdueix a l'abocador.
- b) Emissions de CO_2 i CH_4 generades pels residus dipositats a l'abocador i que evolucionen durant 10-20 anys, com també ho fan els resi-

duos. S'ha estimat l'evolució de les emissions generades pels abocadors en el període 1998-2002 a partir de les entrades de residus des de l'any 1992, segons el model triangular i segons el model LandGen.

Aquestes dues metodologies s'han utilitzat per preveure l'escenari futur fixat pel Programa de Gestió de Residus Municipals 2003-2006 (PROGEMIC).

Els residus que més contribueixen a les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle són els RSU que es gestionen a través d'abocador (75% de les emissions totals dels residus), els RSU que es gestionen a través d'incineració (23%) i les aigües residuals tractades en EDAR (2%). Cal esperar que la normativa europea i la planificació del PROGEMIC contribueixin, en el futur, a fer disminuir aquestes emissions.

Les mesures de mitigació proposades fàcilment s'aplicaran als abocadors de nova construcció, però s'haurà de fer un esforç suplementari per aplicar-les als abocadors als que ja els queda poc temps de vida útil. De la mateixa manera, caldrà fer un seguiment acurat dels abocadors que s'han anat tancant en aquests darrers anys.

Els purins són un altre grup de residus que, en el futur, experimentaran canvis en el seu model de gestió. Per aquest motiu, en aquest capítol s'ha analitzat un escenari teòric, en què tots els purins serien gestionats mitjançant tractament anaerobi, i s'ha comparat amb les previsions que l'Institut Català d'Energia (ICAEN) fa per a aquest mateix tipus de residu en l'horitzó de l'any 2010.

Utilitzant les dades de producció de residus a partir de les quals es podria obtenir biogàs, es pot estimar la «producció màxima» d'aquest producte que es podria obtenir a Catalunya a

partir d'aquests substrats. Les previsions de cara a l'any 2010 suposen menys d'un 10% del que es podria aprofitar.

Les projeccions futures apunten un increment moderat de la generació de residus, que anirà acompanyat d'un fort augment de la seva valorització material i, per tant, es pot produir una disminució en la quantitat i la concentració de matèria orgànica que es diposita als abocadors. Al mateix temps, es millorarà la gestió de les deixalles i, molt especialment, les plantes de tractament i disposició final.

Finalment, la implantació de la metanització permetrà reduir considerablement els efectes de les emissions de CH₄. Malgrat això, aquestes millores només generaran reduccions a un termini mitjà, i si es recull el biogàs generat als abocadors (tant els actuals com els que es construeixin de cara al futur) se'n recuperarà una part. L'any 2006 només es valoritzarà el 55% de la matèria orgànica i, per tant, encara hi haurà una fracció molt important que tindrà com a destí final l'abocador.

El temps necessari per implantar les noves instal·lacions i millorar les actuals fa preveure que les principals reduccions es produiran a partir de l'any 2006. La planificació del PROGEMIC és adequada per reduir les emissions, encara que podria arribar a plantejar objectius més ambiciosos pel que fa a instal·lacions. Ara bé, no

està clar que aquests objectius s'assoleixin l'any 2006.

Per reduir les emissions, la millor alternativa (descartada la no generació) seria la producció de biogàs amb aprofitament energètic d'aquest.

Finalment, s'apunten algunes propostes per tal de reduir la contribució dels residus a les emissions totals de gasos amb efecte d'hivernacle. Són les següents:

- Requerir obligatòriament l'aprofitament del biogàs generat als abocadors, digestors de fangs en EDAR i plantes de metanització.
- Afavorir la implantació de plantes de metanització de RSU, de purins, de fangs de depuradora, etc., i aconseguir percentatges més elevats de valorització de matèria orgànica.
- Incloure com un dels criteris per a la planificació de la gestió dels fangs d'EDAR les emissions generades en el tractament d'aquests, i aprofundir en l'estudi de la seva producció i d'alternatives de gestió.
- Millorar la recollida selectiva de matèria orgànica, ja que a partir dels percentatges de recollida actual es preveu que sigui difícil complir els objectius del PROGEMIC. D'altra banda, però, uns objectius més ambiciosos que els fixats actualment en aquest programa permetrien reduir substancialment les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle generades pels residus.

B6.1. Introducció

L'anàlisi de la contribució dels residus al canvi climàtic s'ha fet dins un marc conceptual reduït. S'ha considerat només les emissions que els residus poden generar o generaran fins arribar a la seva descomposició i, al mateix temps, només es considera els principals gasos que contribueixen al canvi climàtic. Per tant, no es té en compte la possible contribució anterior al fet d'esdevenir un producte o una substància en residu; ni tampoc es tindrà en compte les emissions generades per substàncies i productes el posseïdor dels quals se'n desprèn però que no són gestionades com a residus

En un sistema com l'actual, un producte és el resultat d'un procés en el qual intervenen tot un seguit de matèries primeres i d'energia. Per obtenir aquestes matèries primeres i la mateixa energia s'ha requerit un conjunt d'operacions que han generat emissions, però que queden fora de l'abast d'aquest apartat. Al mateix temps, una vegada es té el producte, aquest és utilitzat i, finalment, esdevé un residu. Convertit ja en residu (o classificat com a tal) és gestionat fins que, amb el temps, es degrada. És aquesta darrera etapa la que ha estat objecte d'anàlisi en aquest capítol: les emissions generades pel residu i la seva contribució al canvi climàtic.

L'anàlisi s'ha dut a terme en funció del tractament que rep el residu i, més concretament, l'estudi s'ha centrat en els tres processos que poden

tenir més incidència en el canvi climàtic: la deposició en abocadors, la metanització i el tractament biològic d'aigües residuals.

Els dos gasos que més contribueixen a l'efecte d'hivernacle són el CO₂ i el CH₄, l'emissió dels quals es produeix, principalment, en degradar-se la matèria orgànica. Un altre factor important, que no s'analitza en aquest capítol, és la contribució generada pel transport dels residus, que depèn molt de l'emplaçament de les diferents infraestructures de gestió de residus (abocadors, incineradors, plantes de transferència, etc.).

Per entendre bé l'origen i el causant de les emissions que contribueixen al canvi climàtic, s'han de conèixer els processos que poden experimentar els residus, com la digestió anaeròbia, que és el procés natural de degradació de la matèria orgànica.

El tractament de la matèria orgànica es pot dur a terme per diferents vies:

1) Degradació biològica

- a) **Aeròbia.** En oxidar-se la matèria orgànica s'obté, finalment, CO₂ i aigua. Pel que fa al nitrogen es poden produir diferents òxids de nitrogen en els processos de nitrificació.
- b) **Anaeròbia.** La metanització dels compostos de carboni genera, principalment, CO₂ i CH₄, a més de COV i H₂S. Pel que fa al nitrogen es

poden produir diferents processos de desnitrificació i es poden generar òxids de nitrogen en petites quantitats. De la mateixa manera, caldria tenir en compte possibles processos d'amonificació de matèria nitrogenada complexa, que posteriorment podrien arribar a la desnitrificació.

2) Processos físico-químics

Addició de reactius específics per produir un precipitat. En general no hi ha una contribució rellevant al canvi climàtic.

3) Processos tèrmics

En oxidar-se la matèria orgànica s'obté, finalment, CO₂ i aigua. Pel que fa al nitrogen es poden produir diferents processos de generació d'òxids de nitrogen. Bàsicament s'han descrit dues rutes per a la formació dels NO_x: NO_x del combustible i NO_x tèrmic. En la primera, els NO_x formats procedeixen de la combustió del nitrogen que hi hauria en els aliments. En la segona es produeix una reacció en la fase gasosa entre el nitrogen i l'oxigen i, per tant, els NO_x produïts estan relacionats amb les concentracions d'oxigen i de nitrogen en la zona de combustió de més temperatura. De forma empírica, s'ha determinat que entre un 10 i un 60% del nitrogen present als aliments pot convertir-se en òxids de nitrogen.

Tipus de residu	Milions de tones generades
Industrials	5,6
Municipals	3,5
Runes	5,5
Ramaders	13,0
Aigües residuals urbanes	> 400
Aigües residuals industrials	> 125

Taula B6.1. Els residus generats a Catalunya l'any 2000
Font: Elaboració pròpia a partir de dades de l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA) i l'Agència de Residus de Catalunya (ARC).

Per poder valorar l'efecte de les emissions dels residus sobre l'efecte d'hivernacle cal conèixer la quantitat de residus que es generen. La taula B6.1 presenta la quantificació dels residus del 2000, que és l'any que es pren com a referència en tot el capítol.

Dels residus generats a Catalunya (taula B6.1) els que contenen la major part de matèria orgànica són els residus municipals i els ramaders. Els industrials inclouen una sèrie de fraccions valoritzables (60%), una part de matèria inorgànica (sals, cendres, salmorres, etc.) i una petita part de matèria orgànica (que es pot estimar en un 20%), que en darrer terme anirà a disposició final en dipòsit controlat, després d'haver estat sotmesa a diferents operacions d'estabilització. No es tindrà en compte, però, la contribució de les runes, ja que són material inert.

A Catalunya, els residus d'origen ramaders tenen una gran importància. Tot i això, actualment aquests residus no acostumen a gestionar-se com a tals, i la pràctica més usual és la seva dispersió en els camps. Així doncs, la major part dels purins s'aboca als sòls. Aquesta és una gestió inadequada per a moltes zones de Catalunya, que compten amb uns sòls contaminats i molt castigats, justament, per aquests abocaments. En el futur immediat, i per tal de complir la normativa actual, una part d'aquests purins hauran d'anar a plantes de tractament. En aquest capítol no s'han quantificat les emissions generades per aquests residus, ja que actualment no es gestionen com a tal. En el cas dels escenaris, es tindrà en compte, la possible gestió en plantes de tractament.

El destí dels residus produïts a Catalunya són els abocadors, les plantes depuradores d'aigües residuals (EDAR), les plantes de metanització, les plantes incineradores i les plantes de compostatge.

B6.2. Abocadors

Actualment, l'abocament controlat dels residus municipals és la via més utilitzada per aquest ti-

pus de residu: l'any 2000, el 65,3% dels residus municipals generats a Catalunya van acabar en aquest tipus de dipòsits controlats (n'hi ha més de 32 en funcionament al llarg de la geografia catalana).

Els abocadors són instal·lacions industrials dissenyades per a la recepció de residus i la seva disposició final de forma controlada. La *Directiva 1999/31/CE del Consell, de 26 d'abril de 1999, relativa a l'abocament de residus*¹ els defineix com un emplaçament d'eliminació de residus que es destina al dipòsit dels residus en superfície o subterrani. Per tal que aquestes instal·lacions funcionin correctament, han de complir unes normes tècniques relacionades amb el residu que poden rebre.

Segons la normativa catalana els abocadors es classifiquen en:

- 1) Dipòsits controlats de classe I (per a residus inerts).
- 2) Dipòsits controlats de classe II (per a residus no especials).
- 3) Dipòsits controlats de classe III (per a residus especials).

A l'abocador, la matèria orgànica que no ha estat estabilitzada prèviament experimenta una descomposició anaeròbia que genera biogàs (constituït principalment per metà i diòxid de carboni) i un lixiviat. Aquesta descomposició és lenta i pot durar dècades, per la qual cosa en l'explotació de l'abocador cal preveure que la seva gestió ha de continuar durant un període de temps suficient després, fins i tot, de la clausura de l'abocador.

Els requisits tècnics mínims que ha de complir cada una d'aquestes instal·lacions són, entre altres, els següents: criteris d'impermeabilització del vas, drenatge de lixiviats i segellament del dipòsit controlat; captació i recollida del biogàs;

1. DOCE núm. L 182, de 16 de juliol de 1999.

Component	Valor típic (% vol)	Màxim valor observat (% vol)
Metà	63,8	88,0
Diòxid de carboni	33,6	89,3
Oxigen	0,16	20,9
Nitrogen	2,4	87,0
Hidrogen	0,05	21,1
Monòxid de carboni	0,001	0,09
Età	0,005	0,0139
Etè	0,018	-
Acetaldehid	0,005	-
Propà	0,002	0,0171
Butà	0,003	0,023
Heli	0,00005	-
Hidrocarburs insaturats	0,009	0,048
Compostos halogenats	0,00002	0,032
Àcid sulfhídric	0,00002	35,0
Organosulfurs	0,00001	0,028
Alcohols	0,00001	0,127
Altres	0,00005	0,023

Taula B6.2. Composició típica del biogàs generat en un abocador
Font: Williams, 1998.

procediments de manteniment i control posteriors a la clausura dels dipòsits controlats.

D'aquests productes, el que pot contribuir al canvi climàtic, si no es recull o no es crema, és el biogàs. A la taula B6.2 es presenta la composició típica del biogàs generat en un abocador. La concentració de metà en el biogàs no només depèn de la fase en què es trobi la degradació. Diferents substrats originen diferents concentracions dels components del biogàs. Malgrat això,

Residus Teresa Vicent i Xavier Gabarrell

com que els residus són dipositats en capes superposades i més o menys homogènies, el biogàs recuperat a la superfície és barreja dels gasos produïts per residus que van ser abocats en èpoques diferents. En aquesta barreja té més pes relatiu el gas generat pels residus que es troben a la fase metanogènica, ja que en aquesta etapa els cabals de gasos generats són més elevats i tenen una durada més elevada. No obstant això, el biogàs que es recull a la superfície té una composició més o menys constant.

La presència dels components minoritaris com els recollits a la taula B6.2 pot originar problemes de corrosió en les canonades de recollida del biogàs i els seus equips. Els principals responsables d'aquest fet són els compostos orgànics halogenats, el sulfur d'hidrogen i els organosulfurats.

El material que arriba a l'abocador depèn del tipus d'abocador. Està constituït per residus sòlids urbans (RSU) i residus industrials. Els residus sòlids urbans són el conjunt de residus produïts a les llars, comerços, oficines, serveis i també els procedents de la neteja de carrers, parcs i jardins. A Catalunya, la producció de RSU ha augmentat un 50% durant l'última dècada, dels quals se n'han generat més de 3,4 milions de tones l'any 2000 (que corresponen a una mitjana d'1,57 kg per habitant i dia). Bona part d'aquests residus, igual com havia succeït en anys anterior, va ser gestionada com a rebuig.

A la taula B6.3 es presenta la gestió que va tenir el rebuig en el període 1993-2001.

La composició de les escombraries depèn de factors socioeconòmics que influeixen en el tipus d'alimentació i del clima. L'alimentació mediterrània és rica en verdures i fruites, i això fa que en aquesta zona es generin els residus amb més proporció de matèria orgànica fresca de tota la Unió Europea. En xifres absolutes, s'estan generant uns 600 grams per persona i dia, i representa el 45% en pes del total dels residus produïts. Pel que fa a les altres fraccions, el conjunt de les inorgàniques, el paper i el cartró constitueixen la segona fracció dels residus municipals en importància (pel que fa a la quantitat generada), ja que representa entre un 20 i un 25% en pes i experimenta una tendència creixent. La fracció del vidre representa un 8% en pes, la dels metalls al voltant del 4%, on predominen els fèrrics (llautó i acer) sobre els no fèrrics (principalment alumini), i la dels plàstics un 7%, el que equival a un percentatge de 30% en volum, a causa de la seva baixa densitat. La figura B6.1 mostra la proporció en què es troben els diferents residus en una bossa d'escombraries estàndard:

Aquesta composició ha canviat, i segons els estudis de l'Entitat Metropolitana de Serveis Hidràulic i Transport, a l'àrea metropolitana de Barcelona la matèria orgànica (MO) representa un 39 % del residus totals generats. Paradoxalment, però, només una ínfima part (un 5%) rep

Tm	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Abocament controlat	1.482.723	1.603.141	1.911.855	2.009.856	2.035.022	2.127.000	2.275.626	2.277.546	2.285.026
Incineració	504.896	560.815	658.763	675.620	670.228	658.187	687.703	712.609	694.854
No controlada	292.955	214.205	93.938	10.389	6.682				
Total (Tm)	2.280.574	2.378.161	2.664.556	2.695.865	2.711.932	2.785.187	2.963.329	2.990.155	2.979.880

Taula B6.3. Gestió del rebuig a Catalunya (període 1993-2001)

Font: Agència de Residus de Catalunya.

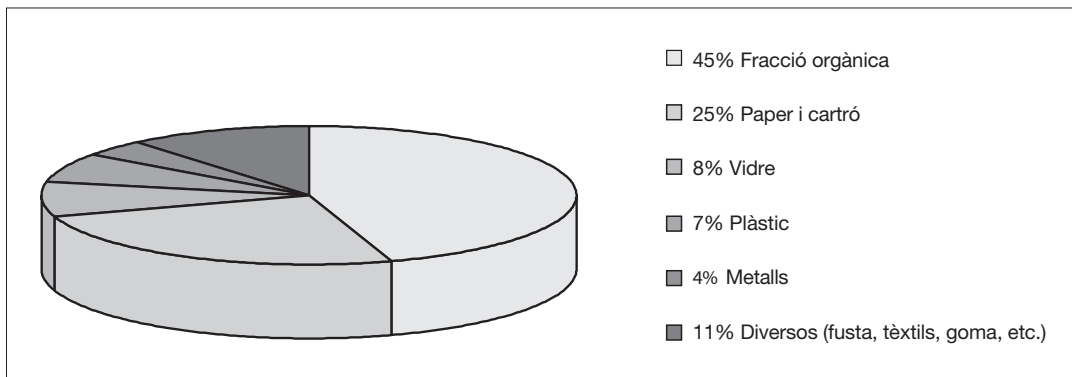


Figura B6.1. Composició (en % en pes) de la bossa d'escombraries a Catalunya l'any 1995.
Font: pàgina web de l'Agència de Residus de Catalunya.

un tractament final adequat, mentre que la resta queda acumulada en abocadors (67%) o es crema (28%), amb què s'originen problemes des del punt de vista ambiental i es malbarata un recurs valuós.

Un estudi encarregat pel Ministeri de Medi Ambient estimava la composició dels residus municipals a Catalunya per zones. La mitjana de Catalunya evidenciava una disminució de la matèria orgànica (estimada en un 38%) i un augment dels plàstics (que representen un 16% dels residus).

L'actual Programa de Gestió dels Residus a Catalunya (PROGEMIC) fixa els següents objectius de valorització material:

	Any 2003	Any 2006
Matèria orgànica	40%	55%
Vidre	60%	75%
Paper i cartró	60%	75%
Envasos lleugers	15%	25%

Si s'aconseguien aquests objectius, la quantitat de matèria orgànica que arribaria als abocadors disminuiria notablement. A més, s'aconseguiria aprofitar una part d'aquesta matèria orgànica

(procés de metanització) i les seves emissions.

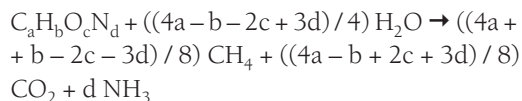
B6.2.1. Emissions generades

Segons l'*Environmental Protection Agency* dels Estats Units d'Amèrica, les emissions de metà en abocadors suposen entre un 6% i un 13% de les emissions totals a escala mundial (naturals i antropogèniques). L'any 1992, el Grup Intergovernamental d'Experts sobre Canvi Climàtic (IPCC) situava aquest interval entre un 8% i un 20%.

El volum de gasos emesos en abocadors es pot estimar per mitjà de diferents metodologies, entre les quals cal destacar el mètode Tchobanoglous (Tchobanoglous, 1994) i el model LandGEM.

1) El Mètode Tchobanoglous

Una de les formes senzilles i simplificades de fer aquesta estimació és suposar que els constituents orgànics individuals trobats en la fracció orgànica dels residus urbans (amb l'excepció dels plàstics) es representen, de forma generalitzada, amb la fórmula $C_aH_bO_cN_d$ (Tchobanoglous, 1994). Per fer l'estimació es pot utilitzar la següent equació, suposant la conversió completa dels residus biodegradables a CO_2 i CH_4 :



Les taxes de descomposició dels materials ràpidament degradables (RD) –que requereixen un màxim de cinc anys per a la seva degradació– i els elements lentament degradables (LD) –de cinc a cinquanta anys per a la seva degradació– segueixen un model triangular de producció de gas on la taxa punta de generació de biogàs es dóna el primer i cinquè any després de l'inici de la producció del gas, respectivament. Se suposa que la producció del biogàs s'inicia a finals del primer any de posada en marxa de l'abocador. L'àrea de treball sota el triangle representa la quantitat total de biogàs procedent dels residus col·locats durant un dels anys d'explotació de l'abocador. Segons aquest model triangular es pot determinar la quantitat total de gas que produirà un abocador que s'exploti durant n anys sumant gràficament el gas produït per les porcions de RSU biodegradables ràpidament i lentament que han estat dipositades cada any.

2) Model LandGEM

El model *Landfill Gas Emission Model* de l'*Environmental Protection Agency* dels Estats Units d'Amèrica, recollit en el programari LandGEM, s'utilitza per estimar directament les emissions de biogàs a partir de dades recollides en un gran nombre de dipòsits controlats d'aquest país. A partir del model *Scholl Canyon* (elaborat per Emcon Associates) es parteix d'una simple equació cinètica de primer ordre:

$$\text{Emissions} = L_0 * k * t$$

On:

t : temps

L_0 : capacitat potencial de generació de metà dels RSU

k : velocitat de generació de metà

Com més gran és el valor de k , més ràpidament s'incrementa la producció de gas durant l'abocament i més ràpidament s'exhaureix. El coeficient k és funció de diferents factors (la humitat del residu, la disponibilitat de nutrients per al procés anaerobi, el pH i la temperatura) i el seu va-

lor és més gran en climes humits. La influència de la velocitat de degradació és notòria: el residu emet la mateixa quantitat de gas, però la producció es pot prolongar durant un període de temps més llarg. El valor de la capacitat potencial de generació de metà (L_0) depèn únicament del tipus de residus presents a l'abocador. Així, si el contingut en cel·lulosa és més elevat també ho serà el valor d' L_0 . Els valors d' L_0 reals i màxims oscil·len entre 6,2 i 270 m³/Mg de residu.

El *Pla de Sanejament Atmosfèric de la Regió I de Catalunya*, elaborat pel Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya, utilitza el model LandGEM (versió 2.0) per estimar les emissions de metà i diòxid de carboni. S'ha suposat que la relació entre el metà i el diòxid de carboni emesos és del 60 i del 40%, respectivament. Parteix de les dades d'obertura dels abocadors en aquesta zona de Catalunya, les tones dipositades a final de l'any 1999, el percentatge de matèria orgànica que componen els residus (segons els estudis del *Programa de Gestió de Residus Municipals de Catalunya 1995-2000* o l'estudi realitzat pel Ministeri de Medi Ambient), l'assimilació de la matèria orgànica a cel·lulosa i l'eficiència de la reacció, que només és del 80%. En el *Pla de Sanejament Atmosfèric de la Regió I de Catalunya* s'han considerat uns valors estàndard representatius a partir de les dades facilitades pels abocadors de Vacarisses i del Garraf. Aquest pla aporta les dades d'emissions de CH₄ i CO₂ per a cada abocador de la Regió I de Catalunya, que es presenten a la taula B6.4.

Les emissions generades en els abocadors i les incineradores, procedents dels RSU, es presenten a la taula B6.5 (expressades en tones equivalents de CO₂).

B6.2.2. Quantificació a Catalunya

Es poden aplicar les metodologies descrites anteriorment per estimar les emissions globals de Catalunya, partint de la hipòtesi que tots els abocadors tenen unes mateixes característiques o, dit d'una altra manera, suposant que tota la

Abocador	Emissió de CH ₄ (m ³ /any)	Emissió de CO ₂ (m ³ /any)	Emissió total de gasos (m ³ /any)
Garraf	30.830.000	20.560.000	51.390.000
Rubí	637.500	425.400	1.062.500
Vacarisses	15.110.000	10.080.000	25.190.000
Sta. M. Palautordera	2.317.000	1.545.000	3.862.000
Manresa I (clausurat)	3.044.000	2.029.000	5.073.000
Manresa II *	256.300	170.900	427.200
Hostalets de Pierola	10.040.000	6.693.000	16.733.000

* Dades corresponents a les emissions de l'any 2000 a causa de l'entrada de deixalles l'any 1999.

Taula B6.4. Dades d'emissions d'abocadors segons el Pla de Sanejament Atmosfèric de la Regió I
Font: dades subministrades als autors per la Direcció General de Qualitat Ambiental del Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya.

brossa s'ha gestionat en el mateix abocador, i també considerant que en termes mitjans el biogàs dels abocadors està compost per un 60% de metà i un 40% de diòxid de carboni.

Les emissions s'han estimat utilitzant el model triangular i a partir del model de LandGEM, en el qual s'ha utilitzat els valors estàndard de k i L₀ segons la simulació CAA i AP-42. En fer aquestes estimacions no s'ha tingut en compte les generacions de biogàs procedents dels residus acumulats en els abocadors abans de l'any 1993. Per tant, només s'han considerat els residus de l'any 1993 i posteriors, fins l'any 2001. És per això que només es poden considerar com a significatives les dades d'emissions estimades dels anys 2000, 2001 i 2002.

Les estimacions fetes a partir del model triangular s'han basat en l'adaptació d'un programari específic (Utrera, 2001), dissenyat per a un sol abocador i tenint en compte les suposicions següents:

- Del 27,1% (pes sec) de matèria degradable ràpidament, es pot suposar que un 75% està disponible per a la degradació.

- Del 9,19% (pes sec) de la matèria biodegradable lentament es pot suposar que n'està disponible el 50%.
- Pel que fa a la composició, s'ha considerat la que es mostra a la taula B6.6, elaborada a partir de les dades de composició general i de recollida selectiva.

Les dades de partida són les presentades a la taula B6.3. Els resultats que s'obtenen es presenten a la taula B6.7.

B6.2.3. Accions de mitigació

Tal com s'ha explicat anteriorment, el vas d'un abocador és un gran digestor anaerobi que genera biogàs. Actualment, la major part d'aquest

	Abocadors (2,32 tones equiv CO ₂ / tona RSU)	Incineradores (1,67 tones CO ₂ / tona RSU)
Any 1999	5.275.336,663	1.148.465,012
Any 2000	5.279.206,400	1.653.253,340

Taula B6.5. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a Catalunya durant els anys 1999 i 2000 (en tones de CO₂ equivalent)
Font: Departament de Medi Ambient i Habitatge.

Residus Teresa Vicent i Xavier Gabarrell

Constituents orgànics ràpidament degradables		Constituents orgànics lentament degradables		Components inerts	
Restes de menjar	12,70 %	Tèxtils	4,28 %	Plàstics	17,56 %
Paper	15,40 %	Goma	0,50 %	Vidre	6,29 %
Cartró	2,70 %	Cuir	0,50 %	Metalls fèrrics	4,04 %
Restes de jardí	15,70 %	Restes de jardí	10,40 %	Metalls no fèrrics	2,86 %
		Fusta	0,24 %	Altres	7,15 %
Total	46,50 %	Total	15,92 %	Total	37,90 %

Taula B6.6. Composició dels constituents dels residus sòlids urbans (RSU).
Font: elaboració pròpia.

biogàs es desaprofita, s'emet a l'atmosfera i contribueix al canvi climàtic. Ara bé, aquest biogàs pot ser recollit i se'n pot aprofitar el potencial energètic. Per tant, les accions de mitigació de l'impacte del biogàs hauran d'anar dirigides cap a l'aprofitament del biogàs i a millorar-ne la captació.

La Directiva 1999/31/CE del Consell, de 26 d'abril de 1999, sobre abocament de residus estableix dues directrius bàsiques: la limitació de l'abocament de residus biodegradables i l'establiment de requisits sobre control dels gasos emesos en els dipòsits controlats. El PROGEMIC també estableix objectius per recollida de la matèria or-

Any		1998	1999	2000	2001	2002	2003
Model triangular	Biogàs (m ³)	282.965.000	303.410.000	324.682.000	340.702.000	352.922.000	237.637.000
	Biogàs (tones)	339.557	364.092	389.618	408.843	423.506	285.164
	CO ₂ (tones equiv.)	2.790.937	2.992.595	3.202.401	3.360.413	3.480.940	2.343.862
LandGEM CAA	CH ₄ (m ³)	48.250.000	63.980.000	80.200.000	95.650.000	110.400.000	105.000.000
	CH ₄ (tones)	46.900	56.670	66.820	76.470	85.700	81.520
	CO ₂ (tones)	85.790	10.370	122.200	139.900	156.800	149.100
	CO ₂ (tones equiv.)	107.0690	1.293.770	1.525.420	1.745.770	1.956.500	1.861.020
LandGEM AP-42	CH ₄ (m ³)	33.670.000	40.850.000	48.350.000	55.570.000	62.530.000	60.080.000
	CH ₄ (tones)	22.460	27.260	32.260	37.070	41.720	40.080
	CO ₂ (tones)	41.080	49.850	59.010	67.810	76.310	73.310
	CO ₂ (tones equiv.)	512.740	622.310	736.470	846.280	952.430	914.990

Taula B6.7. Estimació de les emissions dels abocadors (període 1998-2003).
Font: elaboració pròpia.

gànica. La normativa actual ja requereix que els abocadors disposin d'una xarxa de recollida del biogàs. El següent pas és el seu aprofitament per obtenir energia, enlloc de cremar-lo en una torxa. De cara al futur, és important que les xarxes de recollida estiguin ben dissenyades per minimitzar les emissions no recollides.

Actualment, a Catalunya hi ha pocs abocadors que aprofitin aquest biogàs. Els abocadors de Vacarisses, Can Mata (Hostalets de Pierola), Garraf i les Valls (Santa Maria de Palautordera) disposen de motors de cogeneració per l'aprofitament del biogàs resultant de la fermentació dels residus. El primer en instal·lar l'equip necessari per aprofitar el biogàs va ser el de Vacarisses, que disposa de dos motors d'1 MW. A Can Mata es disposa d'un motor d'1 KW. L'any 2002, l'Entitat Metropolitana de Medi Ambient va obrir un concurs públic per l'aprofitament del biogàs de l'abocador del Garraf, amb una producció final d'electricitat prevista de 12 MW. Actualment ja s'aprofita una petita fracció del biogàs format en aquest abocador.

B6.3. Digestió anaeròbia

La utilització de sistemes biològics per eliminar la contaminació present en aigües residuals i residus és un dels processos més coneguts per a la millora del medi ambient. La seva utilització es molt antiga i s'han desenvolupat diverses tecnologies d'eliminació, en funció de les característiques de l'efluent (Henze, M. 1997).

En els tractaments biològics de depuració, els microorganismes utilitzen la matèria orgànica com aliment per portar a terme les reaccions metabòliques (energètiques i de síntesi), i se n'obtenen com a productes finals compostos gasosos (CO_2 , H_2O , CH_4 , N_2 , etc.) i nous microorganismes.

La classificació bàsica dels processos biològics de depuració es fa en funció de la necessitat o no d'aportacions d'oxigen (consum energètic), fet que porta implícit comportaments biològics totalment diferenciats.

	Condicions aeròbies	Condicions anaeròbies
Balanç de carboni	50% passa a biomassa 50% passa a CO_2	5% passa a biomassa 95% passa a biogàs
Balanç d'energia	60% passa a cèl·lules 40% es perd	5-7% passa a cèl·lules 3-5% es perd 90% es recupera en biogàs

Taula B6.8. Balanços de matèria (font de carboni) i energia en els processos de degradació aeròbia i anaeròbia

Font: Vicent, 1995.

El tractament aerobi consisteix en transformar la càrrega orgànica contaminant, principalment en material sòlid biològic (llots) i CO_2 , i necessita la transferència d'oxigen gas al medi de cultiu.

El tractament anaerobi transforma la major part de la càrrega orgànica contaminant en CH_4 i CO_2 i només una petita part en llots, i necessita un ambient reductor, lliure d'oxigen o altres oxidants forts.

En el tractament aerobi, com que els microorganismes obtenen molta energia del procés de respiració, el seu creixement és ràpid i una part important del residu orgànic es converteix en noves cèl·lules. En canvi, en el procés anaerobi la major part de la font de carboni del substrat passa a biogàs (taula B6.8).

B6.3.1. Processos anaerobis i producció de biogàs

La digestió anaeròbia és un procés que en absència d'oxigen permet que els microorganismes transformin la matèria orgànica en CH_4 i CO_2 . El pas d'un substrat complex a CH_4 és caracteritzat per un conjunt de reaccions associades al metabolisme de nombrosos microorganismes, que actuen d'intermediaris per transformar la matèria orgànica complexa en substrats assimilables pels bacteris metanògens (figura B6.2).

Residus Teresa Vicent i Xavier Gabarrell

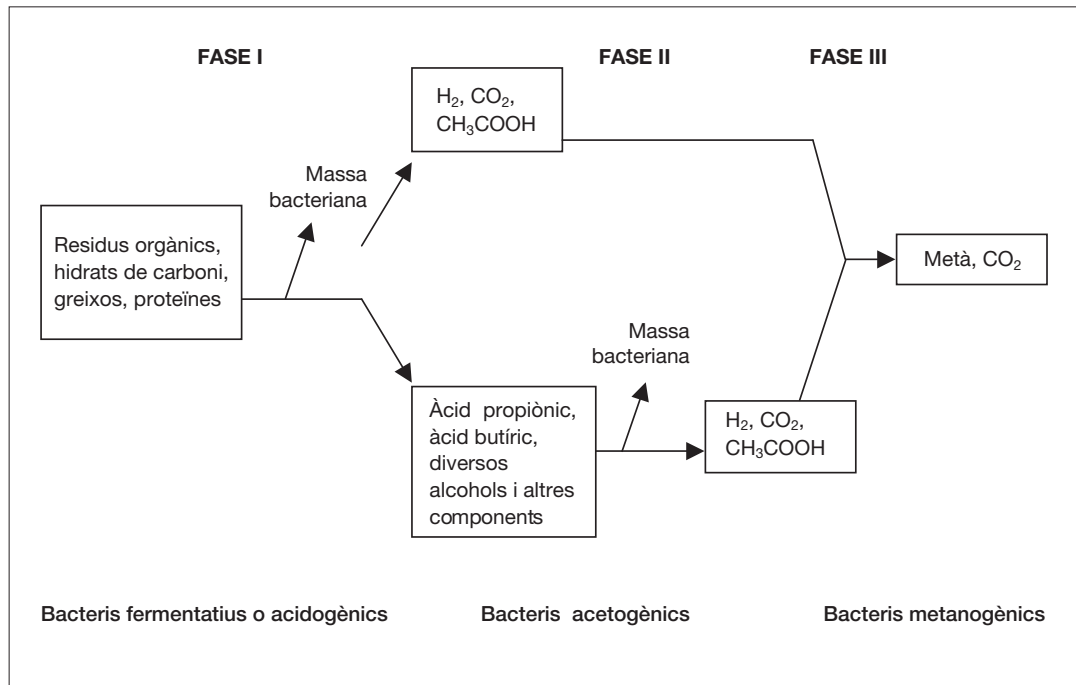


Figura B6.2. Fases de la digestió anaeròbia.
Font: elaboració pròpia.

En el procés global de digestió es poden diferenciar tres fases principals:

1) Fase hidrolítica–acidogènica. En aquesta primera fase la matèria orgànica complexa és hidrolitzada i convertida en molècules més senzilles i solubles, i aquestes són fermentades a àcids orgànics, alcohols, amoníac, hidrogen i diòxid de carboni. Per tant, aquesta fase es podria esquematitzar com la de degradació de la matèria orgànica en àcids grassos volàtils (AGV), alcohols i noves cèl·lules, i en ella l'eliminació de DQO és mínima.

En aquesta etapa actuen els anomenats bacteris hidrolítics, associats a altres espècies bacterianes, que realitzen una fermentació clàssica (làctica, propiònica, etc.). Una característica important d'aquests bacteris és la seva ràpida velocitat de creixement (el temps mínim de doblatge és de 30 minuts).

2) Fase acetogènica. Els compostos intermedis, àcids orgànics (AGV), alcohols, etc. són transformats en acetat pels bacteris acetogènics, productors d'hidrogen, que simultàniament és metabolitzat pels bacteris metanògens consumidors d'hidrogen.

Les reaccions de transformació dels AGV en acetat són termodinàmicament possibles a pressions parcials d'hidrogen baixes. El metabolisme acetogènic es caracteritza per una absoluta dependència de l'eliminació d'hidrogen per part dels bacteris que l'utilitzen, com poden ser els bacteris metanògens hidrogenòfils o els bacteris sulfatoreductors en presència de sulfats.

3) Fase metanogènica. Constitueix la fase final del procés i, en ella, l'acetat, l'H₂-CO₂, el formiat, el metanol i les metilamines són fermentats a metà per part dels bacteris metanògens.

Aquests microorganismes són anaerobis estrictes. En general, els bacteris metanògens han estat trobats en gran quantitat en aquells llocs on el potencial redox presenta valors inferiors a -300mV .

Així doncs, en el procés de digestió anaeròbia actuen diferents grups bacterians en associació sintròfica, per la qual cosa és molt important aconseguir una flora bacteriana variada i equilibrada per portar a terme un procés estable.

Aproximadament el 70% del metà produït s'obté a través de la degradació de l'àcid acètic per part dels bacteris metanògens acetoclàstics i el seu temps mínim de doblatge és de 2 a 3 dies. Aquest temps tant lent respecte als bacteris formadors d'àcids influeix en l'estabilitat del procés.

La cinètica de les principals etapes difereix segons el tipus de residu a tractar. En el cas de residus amb una càrrega orgànica molt soluble, l'etapa limitant del procés acostuma a ser la metanogènica, que és, a més, la més sensible a l'efecte dels tòxics i a les variacions ambientals. En cas de produir-se una inhibició de l'etapa metanogènica es produirà l'acumulació de productes intermedis en el medi, com els àcids grassos volàtils (AGV) i l'hidrogen (que ràpidament passa

a la fase gasosa), i es produeix la desestabilització del procés.

Així doncs, en cas que el procés no fos estable o es veiés interromput per algun factor es podrien produir emissions d'alguns gasos que podrien contribuir al canvi climàtic, com els compostos orgànics volàtils i l'hidrogen.

Els principals productes de la digestió anaeròbia d'un residu són un residu digerit, amb un contingut en matèria orgànica baix, i el biogàs, un gas format bàsicament per metà (CH_4) i diòxid de carboni (CO_2) i que conté traces d'hidrogen (H_2), nitrogen (N_2) i sulfur d'hidrogen (H_2S). Algunes de les característiques principals del biogàs es resumeixen a la taula B6.9, on s'assumeix una composició típica del 60% de CH_4 i el 40% de CO_2 .

La qualitat del biogàs ve determinada sobretot pel contingut en metà (CH_4), combustible i en diòxid de carboni (CO_2), sense cap utilitat des del punt de vista energètic. El diòxid de carboni dilueix el biogàs i fa augmentar els costos, a causa sobretot de l'emmagatzematge del biogàs. És per això que es busca obtenir el contingut més elevat en metà i més baix en diòxid de carboni possible.

Característiques	CH_4	CO_2	H_2	H_2S	Composició (60% CH_4 /40% CO_2)
Fracció (%v/v)	55-70	27-44	1	3	100
Valor calorífic (MJ/m^3)	35,8	-	10,8	22,8	21,5
Rang d'ignició (%volum a l'aire)	5-15	-	4-80	4-45	6-12
Temperatura d'ignició ($^{\circ}\text{C}$)	650-750	-	585	-	650-750
Pressió crítica (MPa)	4,7	7,5	1,2	8,9	7,5-8,9
Densitat normal (g/l)	162	468	61	349	320
Densitat biogàs/ Densitat aire	0,55	2,5	0,07	1,2	0,83

Taula B6.9. Composició i característiques del biogàs
Font: Arimon, 2002.

La composició del biogàs que s'obté d'un residu es pot calcular si s'esquemmatitza la transformació en dues reaccions, una de reducció a metà i l'altra d'oxidació a CO_2 (Lema, J. 1992). A partir de les reaccions es pot trobar la relació entre el metà i CO_2 produïts, en funció del número d'oxidació mitjà:

$$\frac{\text{CH}_4}{\text{CO}_2} = \frac{4 - N_{\text{ox.Mitjà}}}{4 + N_{\text{ox.Mitjà}}}$$

On $N_{\text{ox.Mitjà}}$ significa número d'oxidació mitjà

A la pràctica, és difícil avaluar el $N_{\text{ox.Mitjà}}$ dels residus a causa de la seva complexitat, però es pot calcular a partir de paràmetres fàcilment mesurables experimentalment com la Demanda Química de Oxígen (DQO) i el Carboni Orgànic Total (COT), segons l'equació:

$$N_{\text{ox.Mitjà}} = 4 - \left(\frac{3}{2}\right) \left(\frac{\text{DQO}}{\text{COT}}\right)$$

La composició típica del biogàs produït en el tractament de residus complexos està al voltant dels percentatges esmentats: 60% metà i 40% CO_2 .

La quantitat de biogàs obtinguda a partir del substrat pels diferents temps de retenció en el reactor és coneix com a producció de biogàs. Com que s'han de tenir en compte els diferents continguts en aigua del residu, no es pot expressar en cap cas en funció del volum, com per exemple m^3 de reactor o els m^3 de substrat fresc, sinó que és millor expressar-la en funció de la quantitat de sòlids volàtils en el residu que entra al reactor (influent) o de la seva DQO.

La quantitat de metà produït pot calcular-se a partir d'un balanç de DQO del procés (Lema, J. 1992):

$$\text{DQO}_{\text{influent}} = \text{DQO}_{\text{effluent}} + \text{DQO}_{\text{creixement microorganismes}} + \text{DQO}_{\text{biogàs}} + \text{DQO}_{\text{acumulada}}$$

On:

$\text{DQO}_{\text{effluent}}$ = part de la DQO d'entrada que no ha pogut ser degradada.

$\text{DQO}_{\text{creixement microorganismes}}$ = part de la DQO d'entrada que utilitzen els microorganismes per al seu creixement.

$\text{DQO}_{\text{biogàs}}$ = part de la DQO d'entrada que es transforma en biogàs (com que dels components del biogàs només el metà presenta DQO, la DQO del biogàs equival a la DQO del metà).

$\text{DQO}_{\text{acumulada}}$ = DQO acumulada positivament o negativament en el reactor.

Si se suposa que el reactor està en estat estacionari i que el creixement cel·lular és menyspreable, aleshores:

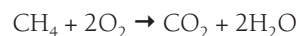
$$\text{DQO}_{\text{creixement microorganismes}} = 0$$

$$\text{DQO}_{\text{acumulada}} = 0$$

Per la qual cosa l'equació de balanç queda de la manera següent:

$$\text{DQO}_{\text{influent}} = \text{DQO}_{\text{effluent}} + \text{DQO}_{\text{metà}}$$

Si es calcula la DQO teòrica del metà a partir de la reacció d'oxidació següent:



Aleshores:

I d'aquí es dedueix que:

$$\text{DQO} = \frac{2\text{MO}_2}{\text{MCH}_4} = \frac{64}{16} = 4$$

$\text{DQO}_{\text{metà}} = 4 \text{ g DQO/g metà}$ o $64 \text{ g DQO/mol de CH}_4$

En condicions estàndard de pressió i temperatura, 1 mol de gas ocupa 22,4 l. Per tant, 1 mol de

CH₄, que equival a 0,064 kg DQO, ocupa 22,4 l, o 1 kg DQO metà ocupa 350 l (0,35 m³).

Del balanç:

$$DQO_{\text{influent}} - DQO_{\text{efluent}} = DQO_{\text{metà}}$$

És a dir, que 1 kg DQO eliminat és igual a 1 kg DQO metà i és igual a 0,35 m³ de metà, i considerant el reactor a 30°C, s'obté **0,38 m³ de metà / kg DQO eliminat**.

La taula B6.10 mostra alguns resultats mitjans de producció de biogàs obtinguts en el tracta-

ment de residus de la indústria agroalimentària, llots de depuradora i fracció orgànica de residus municipals (FORM).

El biogàs té un alt contingut en energia i pot ser utilitzat de moltes maneres amb un elevat rendiment, sobretot per a la producció d'electricitat, per cuinar, escalfar, assecat, etc. El contingut d'energia del biogàs depèn de la quantitat de metà que conté, i presenta uns valors d'entre 5,5 i 7,0 KWh/m³, amb un valor mitjà d'uns 6 KWh/m³. A la taula B6.11 es comparen algunes propietats del biogàs amb les d'altres gasos combustibles amb elevat contingut energètic. Es pot

Tipus	Contingut orgànic	Sòlids volàtils (%)	Producció de biogàs (m ³ /tona de residu)
Intestins + continguts	HC, proteïnes, lípids	15-20	50-70
Fangs de flotació	65-70% proteïnes 30-50% lípids		
Olis de peix	30-50% lípids	80-85	350-600
SÈRUM	75-80% lactosa 20-25% proteïnes	7-10	40-55
SÈRUM concentrat	75-80% lactosa 20-25% proteïnes	18-22	100-130
Hidrolitzats de carn i ossos	70% proteïnes 30% lípids	10-15	70-100
Melmelades	90% sucres, àcids orgànics	50	300
Oli de soja / margarines	90% olis vegetals	90	800-1000
Begudes alcohòliques	40% alcohol	40	240
Llots residuals	HC, lípids, proteïnes	3-4	17-22
Llots residuals concentrats	HC, lípids, proteïnes	15-20	85-110
FORM separada en origen	HC, lípids, proteïnes	20-30	150-240
Residus ramaders + residus indústria agroalimentària			40
Residus ramaders			10-27

Taula B6.10. Producció de biogàs d'alguns residus orgànics.
Font: Flotats, 2001.

Residus Teresa Vicent i Xavier Gabarrell

observar que el biogàs té un contingut d'energia en relació al volum considerablement més baix que el gas natural, propà i metà, però el doble que el de l'hidrogen.

Amb una densitat d'1,2 kg/m³, el biogàs és una mica més lleuger que l'aire. Aquest fet és molt important, ja que és per això que no es pot concentrar al terra o a profunditats com el propà. En agafar alçada es barreja molt més amb l'aire, per la qual cosa el perill d'incendi o explosió disminueix. La temperatura d'ignició és de 700°C (relativament elevada) i això és favorable des del punt de vista de les mesures de seguretat.

Amb una velocitat màxima de combustió a l'aire de 0,25 m/s, es fa evident l'elevat contingut en elements combustibles, determinat per la quantitat de CO₂. El biogàs té uns límits de combustió molt estrets. Això vol dir que només crema quan el contingut en gas a la barreja de gas i aire es troba entre el 6-12%. En comparació, el propà i, sobretot, l'hidrogen tenen límits de combustió considerablement més amplis, que comporta un risc d'explosió i incendi més elevat.

La necessitat teòrica d'aire per a una combustió completa (contingut estequiomètric) és d'uns 5,7 m³ d'aire per cada m³ de biogàs. A la pràctica, es necessita entre un 20 i un 30% d'excés d'aire, ja que una barreja ideal de gas i aire al

cremador o al motor és pràcticament impossible.

En comparació amb l'energia solar i eòlica, el biogàs té l'avantatge de ser una forma d'energia que flueix d'una forma relativament regular i, per tant, que es pot emmagatzemar.

Al contrari, quan es recull el biogàs en un contenidor hermètic, l'energia química continguda als enllaços es pot guardar durant molt de temps i pot ser utilitzada posteriorment sense pèrdues. Un altre avantatge en relació als combustibles consistents o fluids és l'elevat contingut del metà (CH₄) en hidrogen, les quatre molècules del qual reaccionen amb l'oxigen de l'aire per donar aigua (H₂O), mentre només una molècula de carboni reacciona per donar diòxid de carboni (CO₂). L'inconvenient principal del biogàs és la quantitat d'energia relativament baixa que conté en relació al seu volum. Així, el contingut d'energia d'1m³ de biogàs equival només al de 0,6-0,7 litres de fuel – oil. Per això es requereix un dipòsit d'emmagatzematge de gran volum per poder guardar el gas sense pressió.

El gas que s'obté del sistema de fermentació ha de ser condicionat pel seu ús per tal de permetre una operació automàtica i segura de l'equipament implicat. Tot i que tots els passos del condicionament no sempre són necessaris, sempre

	Unitats	Biogàs	Gas natural	Propà	Metà	Hidrogen
Contingut energètic	KWh/m ³	6	10	26	10	3
Densitat	kg/ m ³	1,2	0,7	2,01	0,72	0,09
Densitat gas/ densitat aire		0,9	0,54	1,51	0,55	0,07
Temperatura d'ignició	°C	700	650	470	650	585
Límit d'ignició del gas a l'aire	%	6-12	5-15	2-10	5-15	4-80

Taula B6.11. Dades tècniques de la combustió del biogàs (Composició: 60% metà, 38% diòxid de carboni, 2% altres gasos) en comparació amb altres gasos combustibles.
Font: Arimon, 2002.

s'han d'incloure provisions per al drenatge de condensats.

El procés de digestió anaeròbia permet tractar un gran nombre de residus: agrícoles i ramaders, industrials orgànics, aigües residuals urbanes i industrials, fangs d'estacions depuradores i la fracció orgànica dels residus sòlids urbans.

La quantitat i qualitat del biogàs produït depèn de la quantitat i la composició del substrat a descompondre. Així, amb material ric en hidrats de carboni i proteïnes, la producció de gas és notablement baixa comparada amb substrats rics en greixos. Les proteïnes i els greixos comporten un elevat contingut en metà al gas final. Amb substrats rics en hidrats de carboni, com els fems de vaca, el blat de moro, etc., la qualitat del gas obtingut és pitjor.

B6.3.2. Quantificació de la producció i consum de biogàs a Catalunya

A Catalunya actualment es produeix i s'utilitza biogàs (entenen com a utilització també la presència de motors de cogeneració amb aquest fi, tot i que no es trobin en funcionament) a dues plantes de metanització de purins, dues instal·lacions de tractament de fangs de depuradora i un ecoparc, a més dels abocadors ja esmentats en l'apartat anterior.

A les depuradores o estacions depuradores d'aigües residuals (EDAR) de Girona i de Reus també es fa digestió anaeròbia dels fangs i s'aprofita el biogàs. En el moment de tancar la redacció d'aquest capítol, estan en construcció les instal·lacions per a l'aprofitament del biogàs a les EDAR de Lleida, Manresa, Gavà i Montornès, i se'n preveu la construcció a les EDAR d'Igualada i de Vilafranca del Penedès.

L'Ecoparc I de la Zona Franca de Barcelona és el primer dels quatre ecoparc previstos a Catalunya per al tractament integral dels residus i, bàsicament, de la matèria orgànica obtinguda a través de la recollida selectiva. Els seus objectius

són maximitzar la producció de biogàs mitjançant la digestió anaeròbia dels residus orgànics i elaborar compost d'alta qualitat amb el material digerit, per tal de retornar la matèria orgànica al sòl i respectar el seu cicle natural. L'etapa de la digestió anaeròbia es va posar en funcionament a finals de l'any 2001 tractant 1.000 t/d, i els motors de cogeneració treballen des del gener de 2002, a una potència inferior a la dissenyada. L'Ecoparc I està dissenyat per tractar 300.000 t/any de residus orgànics en 4 digestors, 18 túnels de compostatge i diferents línies de selecció dels materials. Cada digestor té una capacitat de 6.700 m³ de capacitat i produirà 14 milions de m³ de biogàs, que els motors de cogeneració transformaran en 22 milions de kWh. El compostatge del material fermentat, juntament amb el compostatge de la matèria orgànica recollida selectivament, permetrà obtenir 55.000 tones anuals de compost. Finalment, quan la instal·lació estigui a ple rendiment s'hi obtindran unes 150.000 tones (50% de l'entrada) d'impropis (materials de rebuig). Durant alguns mesos del primer semestre de l'any 2002 s'ha superat el 50% de rebuig.

Només hi ha tres plantes de tractament de purins amb digestió anaeròbia i aprofitament del biogàs a Catalunya: Mas el Cros (la Garrotxa), Juneda I i Juneda II (Urgell). Mas el Cros és una planta individual de tractament de purins mitjançant digestió anaeròbia, on el biogàs es crema en una caldera per obtenir aigua calenta que es fa servir per escalfar les naus de la granja de porcs. Juneda I, en canvi, és una planta centralitzada de tractament de purins on el biogàs obtingut es barreja amb una quantitat molt important de gas natural per tal d'obtenir electricitat i calor als motors de cogeneració que té instal·lats. La planta de Juneda II és de les mateixes característiques que Juneda I.

Els avantatges de la tecnologia de producció de biogàs no són només la generació d'una energia neutral des del punt de vista d'emissions de CO₂, sinó també la disminució de les olors que

es desprenen del material fermentat, així com l'eliminació de les emissions de metà i d'òxid de nitrogen, la reducció dels patògens, l'estalvi de fertilitzants, la reducció de l'àrea destinada a l'abocament de residus i la protecció de les aigües subterrànies i de l'aire.

B6.3.3 Accions de mitigació

El biogàs dóna energia barata i fàcilment disponible en forma de calor i electricitat, utilitzant residus orgànics que, d'altra banda, i tal com s'ha vist, podrien generar emissions no desitjables a l'atmosfera. Les accions de millora han d'anar dirigides a garantir l'aprofitament del biogàs, molt especialment les EDAR que encara estan cremant (sense aprofitament energètic) el biogàs dels digestors de fangs.

B6.4. El compostatge

El compostatge és un procés aerobi que dóna com a producte final un adob: el compost. Es tracta de la descomposició biològica aeròbica de residus orgànics en condicions controlades, que dóna com a resultats una reducció en el contingut orgànic del material residual i una reducció del seu volum. És important apuntar que la reducció en volum està al voltant del 50%, i la reducció en pes del 40%. Això vol dir que una part important de la matèria orgànica inicial passa a emissions de CO₂, tal com s'ha indicat a la taula B6.8.

El compost és el producte final que resulta de la descomposició aeròbica dels residus orgànics per l'activitat de multitud d'organismes en condicions controlades d'aire, d'humitat i de temperatura. Aquest producte es caracteritza per ser un material ric en humus, semblant a la terra negra del bosc, higienitzat, solt, porós, amb capacitat de retenir la humitat i l'ús del qual pot resultar beneficiós per al sòl i el desenvolupament de les plantes.

En el moment de tancar la redacció d'aquest capítol, a Catalunya hi ha un total de catorze plantes de compostatge, incloent-hi les que estan en fase de construcció (finals de l'any 2000) i

5 més en tràmit. A finals del 2000, la capacitat de les plantes de compostatge era de 123.000 tones (molt superior a la matèria orgànica recollida selectivament aquell mateix any, que fou només de 32.303 tones). Les previsions del PROGEMIC eren que a finals de l'any 2003 la capacitat de tractament s'hagués duplicat i que el 2006 arribés a les 342.000 tones, sense comptar la part de compostatge que també hi ha als ecoparcs de Barcelona. És per això que la valorització de la matèria orgànica mitjançant el compostatge esdevindrà el procés més important en els propers anys si es compleixen les previsions.

Des del punt de vista de les emissions, el compostatge és un procés generador d'emissions de CO₂ en menor quantitat que els abocadors i les incineradores, tot i que presenta altres avantatges ambientals. En el futur, aquest procés anirà en augment a mesura que s'incrementi la recollida separada de la matèria orgànica.

B6.5. Les aigües residuals

La fracció líquida dels residus generats per un nucli de població es coneix amb el nom d'aigües residuals. Aquestes aigües residuals provenen dels diferents usos de l'aigua: domèstic o urbà i industrial. El creixement de la població i la industrialització han generat un augment de la demanda d'aigua, així com un augment del seu abocament un cop utilitzada. Per poder abastar tot el subministrament necessari i protegir el medi ambient dels abocaments d'aigües residuals, cal fer-ne un tractament adequat, partint de la premissa d'un ús més racional de l'aigua, tant domèstica com industrial.

Actualment, l'objectiu principal d'un tractament o d'una depuració d'aigües residuals és l'obtenció d'un efluent que no provoqui impactes greus sobre el medi receptor (un riu, un aquífer o el litoral), encara que amb la perspectiva del desenvolupament sostenible caldria depurar-les per poder-les reutilitzar i, d'aquesta manera, disminuir l'ús dissipatiu d'un bé escàs.

La responsabilitat dels països rics en la preservació dels recursos és essencial, tant des del punt de vista de la quantitat com de la qualitat. La reglamentació europea fixa unes normes mínimes de tractament que obligaran, a partir de l'any 2005, que tots els municipis de més de 2.000 habitants tractin les seves aigües residuals en una planta depuradora. Per sota d'aquest nombre d'habitants només s'exigirà un tractament «adequat».

Les fonts de contaminació de l'aigua són moltes. Les aigües residuals tenen constituents químics, orgànics i inorgànics, així com constituents biològics, en diferents concentracions en funció del seu origen. Els contaminants més importants són:

- Sòlids en suspensió.
- Matèria orgànica biodegradable, constituïda principalment per carbohidrats, proteïnes i lípids.
- Matèria orgànica no biodegradable, constituïda per productes sintetitzats en l'activitat industrial, com tensioactius, fenols, pesticides, etc.
- Microorganismes patògens, com els presents en els residus d'origen fecal o en alguns residus industrials, que poden causar malalties.
- Contaminants tòxics, que afecten l'activitat biològica, com poden ser metalls, colorants industrials, productes cancerígens, etc.
- Metalls pesats, que procedeixen de l'activitat industrial.
- Nutrients, principalment nitrogen i fòsfor, que són necessaris per als microorganismes i per a la vida de qualsevol ecosistema, però que en quantitats excessives alteren l'equilibri del medi aquàtic.

Per aconseguir el grau adequat d'eliminació d'aquests contaminants, a les EDAR es realitzen una sèrie d'operacions i processos, que es poden classificar en:

- 1) Les **operacions bàsiques**: són els tractaments aplicats a l'aigua que es fonamenten en

principis o lleis físiques, com són la sedimentació, la filtració, l'adsorció, entre altres.

- 2) Els **processos químics**: són els tractaments en què la qualitat de l'aigua es modifica per efecte d'una reacció química; suposen afegir-hi un o més d'un reactiu químic. És el cas de la precipitació, la coagulació, la desinfecció, entre altres.
- 3) Els **processos biològics**: són els tractaments realitzats per microorganismes mitjançant reaccions bioquímiques, com són els tractaments aerobis (per exemple, llots activats) i anaerobis.

Aquestes operacions i processos s'apliquen, de forma combinada, a les EDAR, on el tractament de les aigües residuals contempla les etapes següents:

1. **Pretractament**: elimina els sòlids més grans. Consta de les operacions de desbast, desarenat i, en alguns casos, eliminació de greixos.
2. **Tractament primari**: reté els sòlids en suspensió continguts a l'aigua. Es realitza per sedimentació, tant en fosses sèptiques com en llacunes, depuradores de fangs activats, etc.
3. **Tractament secundari**: elimina la matèria orgànica dissolta a l'aigua per mitjà de processos biològics. Per crear un ambient adequat per al desenvolupament d'aquests bacteris, s'ha d'aportar oxigen, per aeració mecànica en les depuradores amb fangs activats o a través de plantes aquàtiques, de manera similar a com es produeix la depuració natural.
4. **Tractament terciari**: elimina el nitrogen i fòsfor, a més d'altres contaminants, per aconseguir la qualitat final desitjada. Són tractaments complementaris per eliminar compostos de nitrogen fins a nitrogen gas, en diferents etapes, que inclouen la nitrificació i la posterior desnitrificació. El fòsfor no es pot transformar en gas, però pot precipitar-se químicament o acumular-se en els llots.

Amb el tractament convencional que rep l'aigua a les EDAR no n'hi ha prou per obtenir una qua-

litat higiènica suficient, és a dir, lliure de patògens. Per aconseguir aquesta qualitat, l'aigua ha de rebre un tractament complementari de desinfecció amb raigs ultraviolats, ozonització, cloració, llacunatge i filtres vegetals, entre altres.

B6.5.1. Emissions generades

La *Directiva 91/271/CEE del Consell, de 21 de maig, sobre el tractament de les aigües residuals* requereix que les aigües residuals siguin sotmeses a una depuració secundària abans de ser abocades al medi natural i que en les zones sensibles es realitzi un tractament terciari. Els processos biològics generen emissions, tal com s'ha explicat en apartats anteriors, però ara aplicat a les aigües. En el cas del procés aerobi, cal remarcar que en les EDAR l'objectiu és assolir degradacions de la matèria orgànica quasi totals, per la qual cosa tota la matèria orgànica s'oxidarà per donar CO_2 . Al mateix temps, els compostos més difícils de degradar generen emissions de COV.

L'aigua tractada torna al medi natural, però les EDAR també produeixen llots, el destí dels quals actualment és un problema per la gran producció que se'n fa. Un metre cúbic d'aigua tractada produeix entre 350 i 400 grams de llots, i aquesta quantitat s'incrementa en augmentar el tractament de les aigües residuals.

En les EDAR, els llots que es produeixen en el tractament secundari es digereixen anaeròbica-ment per reduir part de la seva càrrega orgànica i, principalment, per reduir el seu volum abans de realitzar un post-tractament que permetrà la seva gestió. Aquest post-tractament pot ser l'eliminació del contingut d'aigua per filtració o centrifugació o, en alguns casos, es pot realitzar un tractament tèrmic o biològic (compostatge) per convertir el llot en adob. En el pitjor dels casos, aquest llot anirà a parar a un abocador.

Encara que la majoria de les plantes depuradores tenen com a objectiu l'eliminació de la matèria orgànica, s'han d'adaptar a la nova normativa d'eliminació de nutrients, en especial el nitro-

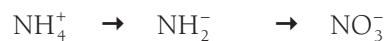
gen. En les aigües residuals el nitrogen pot trobar-se principalment en forma de:

- Nitrogen orgànic (present en aigües residuals urbanes en concentracions entre 10 i 20 mg/l)
- Nitrogen amoniacal (en concentracions entre 30 i 65 mg/l)
- Nitrogen nítric (en concentracions entre 0,5 i 1 mg/l).

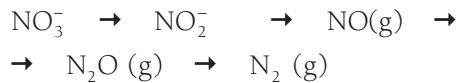
El nitrogen orgànic està constituït fonamentalment per urea i proteïnes. Les aigües residuals urbanes abans d'arribar a la planta depuradora són abocades a la xarxa de clavegueram i la descomposició bacteriana i la hidròlisi poden convertir aquest nitrogen orgànic en nitrogen amoniacal abans d'arribar a la planta depuradora.

Els compostos de nitrogen dissolts es troben majoritàriament en forma de nitrogen amoniacal. En el suposat que es donessin les condicions ambientals aeròbies, el nitrogen amoniacal passaria a nitrat, però aquesta transformació és improbable ja que la concentració d'oxigen és molt baixa com a conseqüència de l'elevada demanda per degradar la matèria orgànica. La quantitat de nitrat present en l'aigua residual a l'entrada de l'EDAR és menyspreable, ja que la xarxa de clavegueram pot ser utilitzada com acceptor d'electrons en absència d'oxigen. En condicions anaeròbies, el nitrogen amoniacal resta en solució.

A les EDAR, per eliminar el contingut en nitrogen de les aigües residuals es realitza un tractament biològic de nitrificació i desnitrificació (Henze, M., 1997). La nitrificació és la transformació de nitrogen amoniacal a nitrat. Els bacteris *Nitrosomonas* oxiden el nitrogen amoniacal a nitrit i, a continuació, els *Nitrobacter* oxiden aquest nitrit a nitrat. Aquests bacteris són els més habituals, però a la natura el procés de nitrificació es porta a terme de forma espontània i també s'han identificat altres gèneres de bacteris que la realitzen.



Els bacteris responsables del procés de desnitrificació utilitzen el nitrat en lloc de l'oxigen com acceptor d'electrons, transformant-lo en òxids de nitrogen i nitrogen gas.



L'òxid de nitrogen (N_2O) és un dels gasos que més contribueixen a l'efecte d'hivernacle. Està present en l'atmosfera a una concentració aproximada de 310 ppb i s'estima que és responsable del 5% de l'efecte d'hivernacle, a més de contribuir a la destrucció de l'ozó estratosfèric.

Els processos de tractament d'aigües residuals, amb eliminació de nitrogen, són una de les fonts antropogèniques de N_2O que poden tenir un efecte important en la generació del canvi climàtic, tenint en compte l'augment del nombre d'EDAR que utilitzaran els processos biològics de nitrificació-desnitrificació per complir les normes i obtenir efluent de qualitat.

El N_2O produït s'allibera en forma de gas (99,5%) o resta dissolt en l'aigua i posteriorment és reduït. Hi ha pocs treballs que quantifiquin acuradament l'emissió de N_2O per part de les EDAR. S'estima que les emissions de N_2O estan compreses en un rang que va dels 4,4 als 1.190 g N/m^3 d'aigua residual), que correspon a una conversió del nitrogen de l'aigua residual a $\text{N}-\text{N}_2\text{O}$ d'entre el 0,24 i el 55% (Itokawa, H. 1996). Per tant, les dades amb què es compta encara són poques i difícils de generalitzar. Aquests valors suggereixen, si es confirma de cara al futur, que les plantes de tractament d'aigües residuals amb eliminació de nitrogen contribuiran significativament a les emissions globals de N_2O .

B6.5.2. Quantificació de les emissions de les EDAR a Catalunya

El Pla de Sanejament Atmosfèric de la Regió I de Catalunya fa una estimació de les emissions de les EDARS en aquesta regió. En aquest estudi es tre-

Cabal d'aigua (m ³ /any)	Emissions (t/any)		
	CO ₂	CH ₄	NO _x
400.000.000	135.640	1.480	100

Taula B6.12. Emissions generades per les EDARs de Catalunya
Font: elaboració pròpia.

balla amb factors d'emissió, per la qual cosa s'ha disposat dels factors d'emissió de VOC i benzè estimats a partir d'una sèrie d'EDAR dels Estats Units d'Amèrica, així com dels de diòxid de carboni, d'òxid de dinitrogen i de metà de l'apartat B9101 de Corinair. Els factors d'emissió americans depenen del tipus de tractament de les EDAR, mentre que el Corinair no ho té en compte ja que es refereix a factors globals obtinguts en dades de depuradores holandeses de l'any 1993. En el cas de Catalunya es poden estimar les emissions considerant una generació de 400 milions de metres cúbic anuals d'aigües residuals urbanes, encara que la capacitat de tractament de les EDAR sigui més gran i aplicant els factors següents: 0,3391 Kg de CO_2/m^3 d'aigua tractada, 0,0037 kg de CH_4/m^3 d'aigua tractada i 0,00025 kg de $\text{N}_2\text{O}/\text{m}^3$ d'aigua tractada (valors per a EDAR amb tractament biològic sense eliminació de nutrients). Els resultats es presenten a la taula B6.12.

B6.5.3. Accions de mitigació

Les emissions procedents de les EDAR, si bé són importants, no són significatives en el context de les emissions generades per tots els residus. Així, representen menys del 3% de les emissions totals generades pels RSU. Malgrat això, es pot proposar mesures per tal de reduir-les, algunes de les quals són:

- Utilització de decantadors, separadors i, en alguns casos, reactors coberts i dissenyats acuradament.
- Reaprofitar les aigües i ajustar els nivells de tractament a les necessitats finals del nou ús.
- Disminuir el consum d'aigua.
- Donar un destí final adequat als llots biològics.

B6.6. Residus ramaders

Tradicionalment, els agricultors han estat els defensors del sòl i del camp, gràcies a una gestió prudent i integrada de l'agricultura, la ramaderia i els residus generats. No obstant això, en els darrers 60 anys les pràctiques agrícoles s'han modernitzat i, com a conseqüència de la política agrària comunitària, s'està afavorint una producció d'aliments elevada per tal que tinguin un preu més raonable. Aquesta política ha tingut efectes secundaris negatius en algunes regions per explotació excessiva i degradació dels recursos naturals. Els residus ramaders han contaminat cada cop més el sòl i, per filtració, les aigües subterrànies, i l'ús excessiu de fertilitzants, compostos de nitrogen i fòsfor, ha tingut com a conseqüència l'eutrofització de les aigües.

En un estudi realitzat l'any 1986 pel Ministeri d'Obres Públiques i Urbanisme (actualment Ministeri de Foment) del Govern espanyol es va detectar que un 20% dels municipis de l'Estat tenia problemes ambientals greus. Els problemes més greus dels municipis de menys de 20.000 habitants, que representen aproximadament el 97% dels municipis de tot l'Estat espanyol, eren els de les aigües residuals, la contaminació de les platges, els residus sòlids urbans i els derivats de les activitats ramaderes.

L'activitat principal que es desenvolupa en les zones rurals espanyoles se centra en el sector primari –agricultura i ramaderia–. En el cas de la província de Barcelona, fins i tot, on es realitzen moltes activitats centrades en els sectors secundari i terciari, hi ha més d'un 40% de municipis en què l'activitat principal està relacionada amb l'agricultura i la ramaderia, i que tenen menys de 20.000 habitants.

Fins a la dècada dels anys 70 del segle xx, l'activitat agrària va tenir poca influència sobre el medi ambient. De fet, els residus ramaders han estat, durant molts anys, molt preuats com a adob per al sòl. A partir dels anys 70, però, es trenca l'equilibri existent entre el nombre d'ani-

mals i la superfície agrícola, i s'ha produït la substitució de les granges de tipus familiar per grans explotacions ramaderes de caràcter intensiu. D'aquesta manera es concentra un gran nombre d'animals sense terreny agrícola i, com a conseqüència d'això, es produeix una acumulació de residus i de matèria orgànica contaminant, que afecta l'atmosfera, el sòl i les aigües (Vicent, 1993).

A Catalunya, el cas més greu d'impacte ambiental negatiu associat a la ramaderia està provocat pels purins de porc. A més d'haver passat de granges de tipus familiar a grans explotacions ramaderes, també han canviat els processos de producció o de funcionament d'aquestes instal·lacions. Un dels fets que més ha repercutit en el medi ambient és que els residus generats cada cop són més líquids, ja que això facilita la seva manipulació, transport, etc. i permet reduir el nombre de treballadors.

Entre les possibles opcions de tractament de purins, es pot destacar la depuració biològica (digestió anaeròbia per reduir la càrrega de nitrogen), obtenint biogàs, el tractament químic del purí per neutralitzar els possibles elements contaminants o l'assecatge tèrmic, amb l'ús posterior del purí sòlid obtingut com a adob en zones agrícoles deficitàries en nitrogen. La gestió dels purins comporta la seva reducció, aplicació directa al camp i el tractament de l'excedent.

S'estima que a Catalunya es generen 6.939.243 tones/any de fems i 12.507.217 m³/any de purins. Actualment tenen dos destins principals: l'adob dels conreus i el tractament en centres de recollida i processament dels excedents.

La planta de tractament de purins amb obtenció de biogàs Juneda I és un exemple de gestió i aprofitament dels residus amb benefici econòmic derivat de la venda de l'electricitat obtinguda al final del procés. La instal·lació, que funciona des de l'agost del 2001, tracta unes

100.000 tones anuals de purins, que són desarenats i conduïts, posteriorment, a uns tancs d'emmagatzematge fins al moment de la seva introducció a un dels dos digestors de què disposa la planta. La digestió anaeròbia de la matèria orgànica es produeix en un reactor continu de tanc agitat, amb un temps de residència d'uns 20 dies. La fracció líquida dels purins ja digerits pateix, en primer lloc, una extracció de les sals i, posteriorment, una evaporació, mentre la fracció sòlida se sotmet a un assecat i passa a ser un residu sòlid que té com a destí final l'abocador.

El biogàs obtingut (aproximadament 20 m³/m³ de purí tractat) presenta un contingut d'entre 65 i 70% de metà i només unes 2.000 ppm d'àcid sulfhídric. El gas és emmagatzemat en un tanc o portat als motors de cogeneració, on només representa el 6% del gas total, ja que el 94% restant és gas natural. Com a producte final de tot el procés s'obté vapor i electricitat, de la qual s'arriben a produir fins a 13,6 MW.

B6.7. Conclusions i escenaris

Els residus que més contribueixen a les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle són els RSU que es gestionen a través d'abocador (75% de les emissions totals dels residus), els RSU que es gestionen a través d'incineració (23%) i les aigües residuals tractades en EDAR (2%). Com que els RSU són els més importants, en aquest apartat s'analitza l'escenari de futur previst pel PROGEMIC.

La *Directiva 91/271/CEE del Consell, de 21 de maig, sobre el tractament de les aigües residuals* exigeix una depuració secundària de les aigües residuals abans d'abocar-les al medi natural i realitzar-ne un tractament terciari en les zones sensibles. Els processos biològics generen emissions. L'aigua tractada torna al medi natural, però les EDAR produeixen llots, el destí dels quals actualment és un problema per la seva gran producció. En les EDAR, els llots que es produeixen en el tractament secundari es dige-

reixen anaeròbicament per reduir part de la seva càrrega orgànica i, principalment, per reduir-ne el volum, abans de realitzar un post-tractament que permetrà la seva gestió última. Aquest post-tractament pot ser l'eliminació del contingut d'aigua per filtració o centrifugació o, en alguns casos, es pot realitzar un tractament tèrmic o biològic (compostatge) per convertir el llot en adob. En el pitjor dels casos aquest llot anirà a parar a un abocador.

El principal problema per quantificar les emissions generades per les aigües residuals és la manca de dades sobre els cabals tractats. Les EDAR són dissenyades tenint en compte la població equivalent, per poder donar resposta a puntes de cabals diàries i estacionals. Per tant, no es pot assimilar capacitat de tractament a aigua tractada, ja que les emissions les genera, precisament, l'aigua tractada. Les emissions s'han de quantificar treballant amb un cabal d'aigua tractada conservador, obtingut a partir de la població servida.

Les aigües residuals tractades en EDAR tenen una aportació petita a les emissions globals dels residus (2%). En aquest cas no s'analitza cap escenari, tot i que es poden treure conclusions importants:

- Es preveu un increment de les emissions generades en els propers anys.
- La posada en funcionament de l'EDAR del Baix Llobregat fa augmentar entre un 10 i un 15% les emissions respecte a l'any 2000, ja que amb aquesta depuradora augmenten considerablement les aigües tractades.
- L'adaptació del funcionament de nombroses EDAR per a l'eliminació de nutrients en els propers anys també farà augmentar lleugerament les emissions.

Els purins són un altre grup de residus que, en el futur, veuran com se'n canvia el model de gestió. Per tant, es preveu un escenari teòric on tots els purins serien gestionats mitjançant tractament

Residus Teresa Vicent i Xavier Gabarrell

anaerobi, i es compara les previsions que fa l'ICAEN per aquest mateix residu (en l'horitzó de l'any 2010).

Dels residus generats a Catalunya (taula B6.1), els que contenen la major part de matèria orgànica són els residus municipals i els ramaders. De RSU se'n generen 3,5 milions de tones i, de residus ramaders, més de 13 milions de tones.

El destí dels residus produïts a Catalunya són els abocadors, les plantes depuradores d'aigües residuals, les plantes de metanització, les plantes incineradores i les plantes de compostatge.

B6.7.1. Generació de RSU i objectius del PROGREMIC els anys 2003 i 2006

Els residus sòlids urbans (RSU) són el conjunt de residus produïts a les llars, als comerços, a les oficines i al sector dels serveis, així com també els procedents de la neteja de carrers, parcs i jardins. A partir de l'any 2003 s'intenta separar de la resta de RSU els generats per comerços i serveis per tal de poder millorar la resta de fraccions. A Catalunya, la producció de RSU ha augmentat un 50% durant l'última dècada.

L'alimentació mediterrània és abundant en verdures i fruites, i és la causa que en aquesta zona es generin els residus amb més proporció de matèria orgànica fresca de tota la Unió Europea. En xifres absolutes, la quantitat és d'uns 600 grams per persona i dia, i representa el 45% en pes del total dels residus produïts.

Actualment, l'abocament controlat dels residus municipals és la via més utilitzada per a aquest tipus de residu, que l'any 2000 va representar el 65,3% dels residus municipals generats. Hi ha més de 32 dipòsits en funcionament al llarg de la geografia catalana.

Als abocadors, la matèria orgànica que no ha estat estabilitzada prèviament experimenta una descomposició anaeròbia, que genera biogàs i

un lixiviat. Aquesta descomposició és lenta i pot durar dècades. El biogàs està format de CO₂ (40%) i CH₄ (60%), però la presència de components minoritaris pot ocasionar problemes de corrosió en les canonades de recollida del biogàs i els seus equips i en el seu aprofitament energètic.

El volum de gasos emesos en abocadors es pot estimar a través de diverses metodologies i a partir de dos criteris diferents:

- a) Emissions totals aportades pels residus durant tot el període d'estada en l'abocador, comptabilitzades o imputades en el moment d'introduir el residu a l'abocador. Aquesta és l'opció de l'IPPC. Aquestes emissions segueixen la mateixa evolució que la quantitat de residus que van a l'abocador i es presenta a la figura B6.3.
- b) Emissions generades per l'abocador a causa dels residus que conté i que, per tant, com que un residu evoluciona durant 10-20 anys també ho fan les emissions que genera. L'evolució de les emissions estimades generades pels abocadors en el període 1998-2002, segons el model triangular, es presenta a la figura B6.4.

Tal com s'ha vist, la normativa europea i la planificació del PROGREMIC ajudaran a fer disminuir les emissions en el futur. Les mesures de mitigació proposades s'implantaran fàcilment en els abocadors de nova construcció, però caldria fer un esforç suplementari per implantar-les en els abocadors als quals els resten pocs anys de vida. Igualment, caldrà fer un seguiment acurat dels abocadors que s'han anat tancant en aquests darrers anys.

El canvi més significatiu que suposarien les mesures proposades a l'apartat de mitigació (B6.2.3) és l'aprofitament energètic del biogàs. No n'hi ha prou amb recollir-lo, sinó que cal obtenir-ne energia per tal de poder substituir altres emissions. És a dir, convertir el biogàs en recurs, que

pot fer una aportació important al sector energètic.

Un altre problema pot ser l'efectivitat de les xarxes de recollida o captació del biogàs en el vas de l'abocador. Sovint s'és massa optimista i cal esperar rendiments baixos.

En el camp dels residus, és difícil fer previsions a partir de les planificacions fetes. Les dades amb què es compta sovint no són massa fiables fins després de dos o tres anys. La incertesa neix des de l'origen: no es disposa d'estudis periòdics i territorials sobre la composició de les deixalles.

Pel que fa a l'evolució dels RSU, les previsions que fa el PROGEMIC es presenten en la taula B6.13. Els objectius de valorització s'han presentat anteriorment, en l'apartat d'abocadors.

D'aquesta manera, la gestió dels residus municipals als anys 2003 i 2006 es duria a terme en les plantes planificades a tal fi, i els objectius específics queden recollits a la taula B6.14.

En aquest escenari del PROGEMIC, la valorització energètica es manté semblant a la que hi havia l'any 2000. La previsió de tones tractades de cara a l'any 2003 era de 704.000 tones, mentre que per a l'any 2006 era de 747.000. L'any 2000 se n'havien tractat 700.000. Per tant, es considera que les emissions objecte d'aquest estudi variaran poc.

L'abocament controlat disminuirà i es passarà dels 3 milions de tones de l'any 2000 a la meitat, l'any 2003, i a una tercera part de cara a l'any 2006. Per tant, les emissions també es veuran reduïdes. Ara bé, les emissions reals de diòxid de carboni i de metà generades als abocadors continuaran augmentant a causa de la matèria orgànica que encara hi ha als abocadors. Un altre factor que podria tenir incidència és la variació en la composició de la fracció de deixalles que aniran a l'abocador. Si la recollida selectiva s'acaba d'implantar i s'aplica correctament la *Directiva*

1999/31/CE, de 26 d'abril de 1999, relativa a l'abocament de residus, el contingut de matèria orgànica es reduirà.

D'aquesta manera, les emissions dels abocadors anirien augmentant i, per exemple, segons el model LanGEM (CAA) l'any 2007 s'emetrien 143,6 milions de metres cúbics de CH₄, que equivalen a un 95.790 tones d'aquest gas. És a dir, un 50% més que l'estimat amb el mateix model per a l'any 2002. Ara bé, si durant aquest període els abocadors en funcionament es condicionaven per a la recollida del biogàs i es duia a terme el seu aprofitament energètic, s'assoliria una reducció considerable. Aquesta reducció només dependria del grau o percentatge de recollida de biogàs en els abocadors, que es podria situar al voltant del

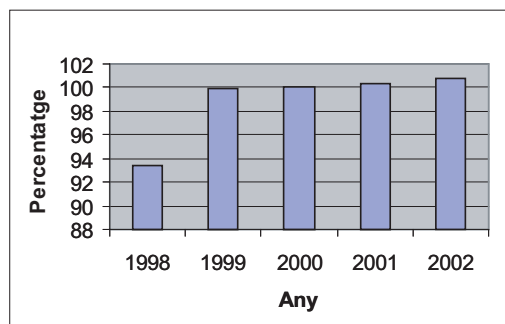


Figura B6.3. Evolució de les emissions generades pels residus dipositats en abocador durant el període 1998-2002 (respecte l'any 2000). Font: elaboració pròpia.

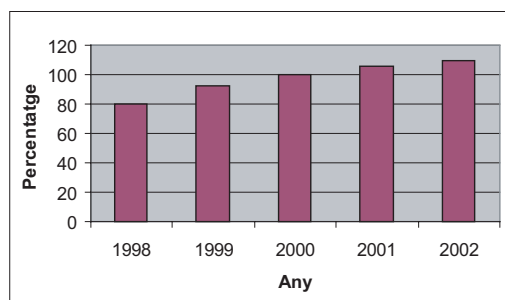


Figura B6.4. Evolució de les emissions generades pels residus dipositats en abocadors durant el període 1998-2002 (respecte l'any 2000) segons el model triangular. Font: elaboració pròpia.

Residus Teresa Vicent i Xavier Gabarrell

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
GENERACIÓ RMO (t)	3.185.241	3.155.584	3.221.462	3.287.838	3.354.714	3.422.088	3.489.962	3.557.885
Recollida residus comercials (% sobre res. municipal)	0	0	0	0	0	0	0	0
Recollida residus comercials (t)	0	0	72.483	147.953	251.604	333.654	418.795	533.683
Residus domèstics (t)	3.185.241	3.155.584	3.148.979	3.139.886	3.103.110	3.088.435	3.071.166	3.024.202
Població	6.143.384	6.155.000	6.185.800	6.216.600	6.247.400	6.278.200	6.309.000	6.339.000

Taula B6.13. Previsions de generació de residus pel període 2001-2006 segons el PROGEMIC
Font: PROGEMIC.

35%. La recollida del biogàs i la seva combustió en torxa ja suposa una reducció dels efectes de les emissions en un factor de 8 (respecte a la no recollida). Al mateix temps, si s'aprofita el biogàs per obtenir energia, el factor de reducció dels efectes és superior perquè s'ha de tenir en compte les possibles emissions que s'haurien generat en produir aquesta nova energia.

La matèria orgànica que no anirà als abocadors serà valoritzada a les plantes de compostatge, a

les plantes de metanització i als ecoparcs. Es preveu l'any 2003 que els ecoparcs tractin 310.000 tones de deixalles, mentre que 252.000 i 110.000 tones de matèria orgànica es podrien valoritzar a les plantes de compostatge i metanització, respectivament. De cara a l'any 2006 la valorització de la matèria orgànica ha d'arribar a les 744.000 tones.

A Catalunya, actualment hi ha catorze plantes de compostatge, incloent-hi les que estan en fase

	2003		2006	
	Objectius	ktona	Objectius	ktona
TOTAL Valorització material MO ⁽¹⁾	40%	510	55%	744
Capacitat de les plantes projectades				
Plantes de compostatge		252		342
Plantes de metanització		110		190
Ecoparcs		310		470
Total Valorització energètica	21%	704	21%	747
Deposició controlada. Rebuig	43%	1.451	31%	1.107
GENERACIÓ total de residus		3.355		3.558

1) La valorització de la matèria orgànica inclou compostatge i digestió anaeròbia.

Taula B6.14. Objectius de gestió de residus municipals pels anys 2003 i 2006 segons el PROGEMIC
Font: PROGEMIC.

de construcció (finals anys 2000), i 5 més en tràmit. A finals del 2000 la capacitat de les plantes de compostatge era de 123.000 tones (molt superior a la matèria orgànica recollida selectivament en aquell any, que fou només de 32.303 tones). Les previsions del PROGEMIC eren que, a finals del 2003, la capacitat de tractament s'hagués duplicat i que el 2006 aquesta arribés a les 342.000 tones. És per això que la valorització de la matèria orgànica mitjançant el compostatge esdevindrà el procés més important en els propers anys, de complir-se les previsions.

Des del punt de vista de les emissions, el compostatge és un procés que genera menys emissions de CO₂ que els abocadors i les incineradores, tot i que més que la metanització, encara que presenta altres avantatges ambientals. En el futur, aquest procés augmentarà a mesura que s'incrementi la recollida separada de la matèria orgànica.

Evidentment, les instal·lacions previstes tenen una capacitat de tractament superior als objectius de valorització fixats. Cadascun d'aquests processos representa millores, respecte als abocadors, pel que fa a emissions de CO₂ i CH₄.

Les projeccions futures, doncs, apunten a un increment moderat en la generació de residus, que anirà acompanyat d'un fort augment de la seva valorització material i, per tant, es produirà una disminució en la quantitat i concentració de matèria orgànica que es diposita als abocadors. Al mateix temps, es millorarà la gestió de les deixalles i, molt especialment, les plantes de tractament i abocament final. La implantació de la metanització permetrà reduir considerablement els efectes de les emissions del CH₄. Malgrat tot, aquestes millores només generaran reduccions reals a mitjà termini si es recull el biogàs dels actuals i futurs abocadors i se'n recupera una part. L'any 2006 només es valoritzarà el 55% de la matèria orgànica i, per tant, encara hi haurà una fracció molt important que tindrà com a destí final l'abocador.

Així, en els propers anys es podrien reduir les emissions equivalents de diòxid de carboni en percentatges elevats, ja que el punt de partida era el pitjor dels pitjors escenaris possibles: el 65% dels residus urbans l'any 2000 anaven a abocador i, de la resta, una part molt important anava a incineració. De cara al 2006, un 40% de la matèria orgànica s'ha de valoritzar mitjançant metanització (les emissions tenen efectes positius ja que substitueixen altres emissions per obtenir energia) i compostatge (redueixen els efectes de les emissions respecte a l'abocador unes 10 vegades), i ambdós processos suposaran reduccions globals considerables. Encara quedarà, però, una part important de matèria orgànica que anirà als abocadors. Per tal que els processos de metanització i, sobretot, el de compostatge, funcionin correctament és molt important dur a terme la recollida selectiva d'aquesta fracció de forma acurada. En aquest cas, la responsabilitat recau en la planificació i el comportament ciutadà. I per tal que els abocadors puguin reduir els efectes de les seves emissions cal que estiguin dissenyats i funcionin correctament i, molt especialment, que es recuperi adequadament el biogàs.

El temps necessari per implantar les instal·lacions noves i millorar les actuals fa preveure que les principals reduccions es produiran a partir del 2006. La planificació del PROGEMIC és adequada per reduir les emissions, tot i que podria plantejar, fins i tot, objectius més ambiciosos en quant a instal·lacions. Ara bé, no és clar que aquests objectius s'assoleixin el 2006.

El procés de digestió anaeròbia té un paper cabdal en la reducció de les emissions, ja sigui perquè es porta a terme als abocadors o perquè és un dels tractaments proposats per valoritzar la matèria orgànica.

El biogàs té un alt contingut en energia i pot ser utilitzat de moltes maneres, amb un elevat rendiment, sobretot per a la producció d'electricitat, per cuinar, escalfar, assecar, etc. El contingut d'energia del biogàs depèn de la quantitat de metà

que conté i presenta uns valors d'entre 5,5 i 7,0 kWh/m³, amb un valor mitjà d'uns 6 kWh/m³.

Mitjançant el procés de digestió anaeròbia es pot tractar un gran nombre de residus: agrícoles i ramaders, industrials orgànics, aigües residuals urbanes i industrials, fangs d'estacions depuradores i la fracció orgànica dels residus sòlids urbans.

A Catalunya actualment hi ha producció i utilització de biogàs (entenen com utilització també la presència de motors de cogeneració amb aquest fi) a dues plantes de metanització de purins i dues instal·lacions de tractament de fangs d'EDAR i un ecoparc, a més d'uns quants abocadors.

Els avantatges de la tecnologia de producció de biogàs no són només la generació d'energia neutral des del punt de vista d'emissions de CO₂ sinó també la disminució de les olors del material fermentat, així com l'eliminació de les emissions de metà i òxid de nitrogen, la reducció dels patògens, l'estalvi de fertilitzants, la reducció de l'àrea destinada a l'abocament de residus i la protecció de les aigües subterrànies, i l'aire.

Les mesures de mitigació proposades a l'apartat B6.3.3 són conegudes i fàcils d'implementar, tot i que no s'han aplicat pels seu cost econòmic.

B6.7.2. Purins

La metanització de residus orgànics és una tecnologia plenament comercial, però poc emprada a Catalunya. Tanmateix, per la seva important activitat ramadera i la disponibilitat de plans ambientals de gestió de la fracció orgànica dels residus sòlids urbans i de les aigües residuals, Catalunya pot planificar un ambiciós programa de generació de biogàs que podria arribar a proporcionar l'any 2010 fins a 230.000 tep, pivotant principalment sobre les infraestructures ambientals actuals i les previstes.

Considerant l'important presència del sector ramader a Catalunya i l'existència de plans de gestió de purins de porc a les comarques amb més

excedents, es proposa implantar plantes de metanització als centres de tractament de dejeccions ramaderes. A més, de cara al futur caldria considerar la codigestió de residus que maximitzarà la producció de biogàs.

Els residus ramaders tenen un elevat contingut en macro i micronutrients. Així, els fangs d'estació depuradora d'aigües residuals (EDAR), la fracció orgànica de residus sòlids urbans i els residus de la indústria alimentària són aptes per mesclar-los amb els residus ramaders en el reactor anaerobi. D'altra banda, els fangs d'EDAR tenen la relació C/N baixa comparada amb els FORSU, i els residus de la indústria alimentària i són menys indicats per a la codigestió amb els purins de porc. En canvi, amb la codigestió amb FORSU i residus de la indústria agroalimentària es produeix més biogàs que per si sols.

Del potencial de producció per bestiar boví o vacu, tant sols es podrà dur a terme amb residus que es trobin en forma pastosa, ja que el contingut en palla o altres residus lignocel·lulòsics de fem sòlid fan que aquest tipus de residu sigui més indicat per al compostatge.

És interessant fer un càlcul aproximat de la potencialitat energètica total del biogàs a Catalunya a partir de les quatre fonts de matèria orgànica bàsiques en què s'ha centrat el present estudi: els residus sòlids orgànics, els residus sòlids dels abocadors, els fangs de depuradora i els purins. Les dades de partida es mostren a les taules B6.15 i B6.16.

A partir de les dades de producció de residus potencials d'obtenció de biogàs es pot estimar la «producció màxima» de biogàs que es podria donar a Catalunya a partir d'aquests substrats. Així, s'ha pres com a valor energètic del biogàs 6 kWh/m³. La seva transformació a unitats tep (1 tep= 11.620 kWh) permet fer una comparació amb els objectius proposats per l'Institut Català de l'Energia (ICAEN) en l'horitzó del 2010. Els resultats obtinguts es presenten a la taula B6.17.

Cal remarcar que la potencialitat total calculada s'ha trobat en base a la producció de residus de l'any 2000, i que aquestes dades es comparen amb els objectius de producció de biogàs previstos per al 2010, de manera que no s'ha considerat que el potencial hauria de ser encara més gran que l'obtingut, amb l'augment de la producció de residus que es preveu en els propers anys.

Per tant, les previsions del 2010 suposen menys d'un 10% del que es podria aprofitar. L'escenari energètic 2010 de l'ICAEN reflecteix un increment en les emissions de CO₂ i metà generades pels purins excedents que no podran ser abocats en el sòl, i, per tant, hauran de ser tractats en plantes d'assecat tèrmic (amb generació d'emissions de CO₂ i COV), basses, depuradores amb eliminació de nutrients, etc. La millor alternativa per pal·liar el canvi climàtic (descartada la no generació) seria la producció de biogàs, amb aprofitament energètic d'aquest.

Finalment, cal apuntar que en el camp dels purins la planificació actual no és la més adient per reduir les emissions i que caldria fer un esforç per incorporar aquestes emissions com a criteri per planificar aquest sector.

Referències bibliogràfiques

ARIMON, Lorena. *El biogàs a Catalunya: informe sobre la producció a partir de residus orgànics, utilització actual i potencialitats*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona, 2002. (Memòria projecte fi de carrera de la Llicenciatura de Ciències Ambientals).

FLOTATS, Xavier; CAMPOS, Elena. «Hacia la gestión integrada y co-tratamiento de residuos orgánicos». I Encuentro internacional de gestión de residuos orgánicos en el ámbito rural mediterráneo. Navarra, 2001.

HENZE, Moes; HARREMOËS, Poul; JANSEN, Jes la Cour; ARVIN, Erik. *Wastewater treatment: biological and chemical processes*. 2a ed. Berlin: Springer-Verlag, 1997

ITOKAWA, Hiroki; HANAKI, Keisuke; MATSUO, Tomonori. «Nitrous oxide emission during nitrification and denitrification in a full-scale night soil treatment plant». *Water Science Technology* (London), vol. 34, núm. 1-2 (1996), p. 277-284.

Residu	m ³ biogàs/ tona
Fangs d'EDAR	764
RSU	100
FORM	300
Purins	410

Taula B6.15. Potencial de generació de biogàs dels residus
Font: web ICAEN i Arimon, 2002.

Residu	Producció (tones/any)	Font
Fangs d'EDAR	225.112,8	ACA, 2001
FORM total	1.740.000	Junta de Residus, 2000
Purins	12.507.217	ICAEN, 2001

Taula B6.16. Producció de residus a Catalunya
Font: Arimon, 2002.

Residu	Potencialitat total (ktep/any)	Previsions 2010 (ktep/any)
Fangs d'EDAR	888,05	93,8
FORM	269,53	
Purins excedentaris	2.647,83	143,7

Taula B6.17. Potencialitat màxima actual del biogàs i previsions pel 2010
Font: Arimon, 2002.

LEMA, Juan Manuel; MÉNDEZ, Ramon; SOTO, Manuel. «Bases cinéticas y microbiológicas en el diseño de digestores anaerobios». *Ingeniería Química* (Madrid), vol. 24, núm. 274 (1992), p. 191-201.

PRICE, E.; CHEREMISINOFF, N.P. *Biogas production and utilization*. Michigan: Ann Arbor Science Publishers, 1981

TCHOBANOGLIOUS, G., THEIXEN, H.; VIGIL, S. *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Barcelona: McGraw-Hill Inc., 1994

UTRERA, Patricia. *Adequació del funcionament del dipòsit controlat de residus sòlids de Castellnou de Seana a la nor-*

Residus Teresa Vicent i Xavier Gabarrell

mativa vigent i avaluació de la producció de lixiviat i biogàs. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona, 2001. (Projecte Final de Carrera de la Llicenciatura de Ciències Ambientals).

VICENT, Teresa. «Digestión Anaerobia de purines de cerdo». 5º Seminario de Depuración Anaerobia de Aguas Residuales. Valladolid, 1993.

VICENT, Teresa. «El procés de Digestió Anaeròbia». A: Flotats, Xavier. *Tractament anaerobi d'aigües residuals i residus de forta càrrega: paràmetres de disseny i tecnologies en ús.* Lleida: Paperkite, 1995.

WILLIAMS, Paul T. *Waste treatment and disposal.* John Wiley and sons, 1998

Pàgines web

Agència Catalana de l'Aigua (ACA): <<http://mediamb.gencat.net/aca>>.

Agència de Residus de Catalunya (ARC): <<http://www.arc-cat.net>>.

Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya: <<http://www.gencat.net/mediamb/>>.

Ecoparc de Barcelona: <<http://www.ecoparc.net/>>.

Institut català de l'energia (ICAEN): <<http://www.icaen.es>>.