



L'AIGUA A CATALUNYA

SECCIÓ DE CIÈNCIES I TECNOLOGIA - SECCIÓ DE CIÈNCIES BIOLÒGIQUES

20

sèrie jornades científiques



20

sèrie jornades científiques

Jornades Científiques de l'Institut d'Estudis Catalans

SECCIÓ DE CIÈNCIES I TECNOLOGIA
SECCIÓ DE CIÈNCIES BIOLÒGIQUES

L'aigua a Catalunya

Coordinador científic

Damià Barceló

Barcelona, 1 de desembre de 2006

Institut d'Estudis Catalans. Jornades Científiques (2006)

L'Aigua a Catalunya : Jornades Científiques de l'Institut d'Estudis Catalans, Secció de Ciències i Tecnologia, Secció de Ciències Biològiques. — (Sèrie jornades científiques ; 20)

Bibliografia. — Text en català, resums en català i anglès

ISBN 9788492583539

I. Barceló i Cullerés, Damià, dir. II. Títol III. Col·lecció: Sèrie jornades científiques ; 20

1. Aigua — Qualitat — Catalunya — Congressos 2. Aigua — Reutilització — Catalunya — Congressos 3. Aigua — Microbiologia — Catalunya — Congressos
628.1(467.1)(061.3)

Disseny gràfic: Maria Casassas

© dels autors de les ponències

© 2009, Institut d'Estudis Catalans, per a aquesta edició

Carrer del Carme, 47. 08001 Barcelona

Primera edició: juliol de 2009

Tiratge: 450 exemplars

Text revisat lingüísticament per la Unitat de Correcció del Servei Editorial de l'IEC

Compost per Anglofort, SA

Carrer del Rosselló, 33. 08029 Barcelona

Imprès a Limpergraf, SL

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

ISBN: 978-84-92583-53-9

Dipòsit Legal: B. 24533-2009

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

Sumari

<i>Introducció</i>	
Damià Barceló	7
<i>Qualitat química de l'aigua: presència i eliminació de contaminants emergents en el medi ambient a Catalunya</i>	
Damià Barceló, Mira Petrovic, Maria José López de Alda, Meritxell Gros, Susana González, Jelena Radjenovic i Marina Kuster	9
<i>Qualitat i quantitat de l'aigua en la definició de l'estat ecològic dels sistemes fluvials</i>	
Sergi Sabater	31
<i>Aspectes científicotècnics de la reutilització d'aigües residuals</i>	
Miquel Salgot i Montserrat Folch	43
<i>Microbiologia de les aigües superficials, residuals i de boca</i>	
Joan Jofre Torroella	61

Introducció

Damià Barceló

Membre de la Secció de Ciències i Tecnologia de l'Institut d'Estudis Catalans

La Secció de Ciències i Tecnologia de l'Institut d'Estudis Catalans (IEC), en el marc de les seves activitats, va realitzar, el mes de desembre de 2006, unes jornades científiques sobre «L'aigua a Catalunya». Aquestes jornades foren una continuació de les realitzades el mes de desembre de 2003, en col·laboració amb la Secció de Ciències Biològiques, sobre «L'aigua, un recurs fonamental», que es van publicar l'any 2006, volum 19 de la «Sèrie Jornades Científiques». Les contribucions que s'apleguen en aquest volum en donen una bona mostra. Aquest volum que ara es presenta és el reflex d'aquelles jornades, i una mostra que indica l'interès científic que l'aigua genera al nostre país i, alhora, un resum de l'experiència acumulada a Catalunya sobre aquest tema.

L'aigua és un recurs natural escàs, indispensable per a la vida humana i la sostenibilitat del medi ambient. Com a conseqüència del ràpid desenvolupament industrial i el creixement de la població, ha sofert una alarmant deterioració. Les mesures legislatives que progressivament s'han anat adoptant per tal de prevenir la contaminació química de l'aigua i els riscos que se'n deriven són una eina indispensable i útil per a pal·liar i controlar aquesta situació. Malgrat això, el descobriment continuat de nous contaminants deixa clara la necessitat de seguir investigant en aquest camp, especialment en el coneixement de la presència i distribució d'aquests compostos en el medi, així com dels riscos que comporten per a la salut humana i dels organismes.

En el capítol de propostes concretes es va insistir en allò que caldria tenir en compte per a una millor qualitat de l'aigua, tant des del punt de vista químic com ecològic, que es pot resumir en una millor depuració de les aigües residuals urbanes, així com la garantia d'una màxima reutilització de l'aigua industrial, per mitjà de circuits tancats i autodepurats. Es demana implementar la qualitat integral de les aigües tot promovent programes de vigilància ambiental especialment per als contaminants emergents, de manera que es garanteixi la conservació del medi aquàtic natural, així com la gestió integral dels recursos hídrics, de manera que es pugui implementar i complir la Directiva marc de l'aigua en els diferents aspectes. En aquest sentit un aspecte positiu és que es respectin els cabals ecológicoambientals dels rius i que fins i tot es legislin, com la proposta feta pel Parlament de Catalunya en el cas de l'Ebre, de 7.000-12.000 hm³ anuals, però que resultarà difícil de dur a terme amb els diferents projectes que estan en marxa,

com el canal Segarra-Garrigues o bé les reserves fetes en l'Estatut d'Aragó, que demanen fins a 6.000 hm³ anuals per al seu ús. Queda bastant palès que ens cal una millor coordinació entre administracions, incloent-hi les de l'Estat espanyol i les autonòmiques.

Aquests temes indicats abans, així com els que esmentaré després, es van discutir en una taula rodona al final de les xerrades. Un tema rellevant fou la discussió del Pla AGUA, que tira endavant el Ministeri de Medi Ambient i que va substituir el Pla Hidrològic Nacional. Aquest nou Pla preveu molt especialment la construcció de dessalinitzadores. En aquest sentit la que ens afecta de més a prop és la de Barcelona al Baix Llobregat, que subministrarà uns 60 hm³ anuals a Barcelona i que, barrejada amb l'aigua del riu Llobregat degudament tractada, ens ha de donar una millor qualitat de l'aigua de boca a Barcelona. L'aigua de mar, l'any 2009, representarà el 31 % del cabal que distribueix Aigües de Barcelona (Agbar) als vint-i-tres municipis metropolitans o el 17 % del consum de tota la regió hidràulica que distribueix Aigües Ter Llobregat (ATLL). En aquest sentit cal indicar que les inversions de l'Estat espanyol dins del programa AGUA representen 4.000 milions d'euros, dels quals 3.000 són destinats només a la construcció de plantes dessalinitzadores. Així, mentre que el 2004 només es produïren 140 hm³ d'aigua de dessalinitzadora, es calcula que a finals de 2009 les plantes dessalinitzadores proporcionaran uns 1.000 hm³ d'aigua a tot l'Estat espanyol, que és la mateixa quantitat que es volia transvasar en el derogat Pla Hidrològic Nacional.

Un altre tema de debat en la taula rodona fou el consum de l'aigua, i en especial el cas agrícola. Pensem que aquí, a Catalunya, el consum per a ús domèstic és d'uns 573 hm³ anuals, mentre que el consum agrícola és de 2.267 hm³ anuals. Així, l'agricultura representa un 73 % del total, un percentatge similar al que hi ha a tot Espanya, que és del 66 %. Quan es fan aquestes comparacions entre els diferents consums, el que es veu és que l'agricultura no paga l'aigua al seu preu real. Així, segons dades del Ministeri de Medi Ambient, el preu mitjà de l'aigua per a ús agrícola en tot l'Estat espanyol és de 0,03 euros per metre cúbic, mentre que per a consum humà és superior a 1 euro per metre cúbic.

Aquestes jornades varen posar en evidència que els problemes d'escassetat i baixa qualitat de l'aigua s'han de començar a plantejar i que ens calen solucions avui mateix; dins d'uns anys potser ja serà massa tard. En aquest sentit, Catalunya ha començat a engegar una sèrie d'iniciatives en el camp de l'aigua, com per exemple la creació del Centre Tecnològic de l'Aigua (CETaqua), una col·laboració entre Agbar, la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) i el Consell Superior d'Investigacions Científiques (CSIC); l'Institut Català de Recerca de l'Aigua (ICRA), que és un institut de recerca de la Generalitat de Catalunya creat a Girona, i l'Institut de Diagnòstic Ambiental i Estudis de l'Aigua (IDAEA), creat pel CSIC a Barcelona. Potser ha arribat el moment que totes aquestes noves iniciatives col·laborin en la gestió dels temes de recerca i tecnologia referents a la quantitat i qualitat de l'aigua, i que Catalunya sigui capdavantera, així com un referent, en aquests temes a l'Estat espanyol i a Europa.

Barcelona, 27 d'octubre de 2007

Qualitat química de l'aigua: presència i eliminació de contaminants emergents en el medi ambient a Catalunya

Damià Barceló, Mira Petrovic, Maria José López de Alda, Meritxell Gros,
Susana González, Jelena Radjenovic i Marina Kuster
Departament de Química Ambiental,
Institut d'Investigacions Químiques i Ambientals de Barcelona,
Consell Superior d'Investigacions Científiques

Resum

La qualitat de l'aigua s'ha vist amenaçada en els darrers anys com a conseqüència de l'augment de l'activitat industrial i el creixement de la població. Durant dècades, la comunitat científica ha centrat els seus esforços en l'estudi de compostos químics regulats en les diferents legislacions, coneguts com a *contaminants prioritaris*, a causa de les seves propietats tòxiques, mutàgenes i cancerígenes. En canvi, en els darrers anys, l'atenció s'ha dirigit cap a l'estudi de nous contaminants, coneguts com a *emergents*, els quals inclouen productes d'ús diari com ara els detergents industrials o domèstics, fàrmacs, productes per a la cura o la higiene personal, additius de la gasolina, plastificants, etc. L'estudi dels factors i compostos que alteren la qualitat de l'aigua, així com l'avaluació dels possibles riscos ecotoxicològics que comporta la presència d'una àmplia varietat de contaminants, és essencial per a poder garantir-ne un bon estat.

El següent article mostra alguns exemples d'estudis realitzats sobre la presència dels contaminants emergents de major interès des del punt de vista mediambiental, ressaltant la seva ubiqüitat en el medi aquàtic. Aquests resultats demostren que la inclusió d'aquestes substàncies en la legislació ambiental és imprescindible per tal de garantir un bon estat químic i biològic de l'aigua.

Paraules clau: contaminants emergents, aigua, medi ambient, Catalunya, legislació.

Abstract

In the last years the water quality has been threatened by both industrial activity and population growth. During decades the scientific community has focused its efforts on the study of the chemical compounds regulated in the various legislations, known as *priority* pollutants, due to their toxicity, carcinogenic and mutagenic effects. In contrast, in the last years, attention has been shifted towards the study of new contaminants, known as *emerging* contaminants, which include daily use products such as industrial and

domestic detergents, pharmaceuticals and personal care products, gasoline additives, plasticizers, etc. The study of the factors and compounds that alter the quality of water, and the evaluation of the potential ecotoxicologic risks associated to the presence of a wide variety of contaminants, is essential to be able to warrant a good status of the water resources.

This paper shows some examples about the presence of the emerging contaminants of highest concern from the environmental point of view, highlighting their ubiquity in the aquatic media. Results obtained confirm that it is essential to include these substances in the environmental legislation in order to ensure a good water chemical and biological status.

Keywords: emerging contaminants, water, environment, Catalonia, legislation.

1. Introducció

L'aigua és un recurs natural indispensable que cal que tinguem disponible no solament en la quantitat necessària, sinó també en la qualitat adequada. Tanmateix, la seva qualitat s'ha vist amenaçada en els darrers anys com a conseqüència de l'augment de l'activitat industrial i el creixement de la població. El desenvolupament industrial ha significat prosperitat per a la societat però també ha deixat com a llegat la contaminació del medi ambient, afectant els recursos hídrics i, en última instància, el benestar de l'ésser humà.¹ Durant dècades, la comunitat científica ha centrat els seus esforços en l'estudi de compostos químics regulats en les diferents legislacions, coneguts com a contaminants prioritaris, els quals inclouen diferents grups de compostos apolars, que són tòxics, persistents i bioacumulables, com els hidrocarburs aromàtics policíclics, els policlorobifenils (PCB) o les dioxines. Per aquest motiu, ja es té un ampli coneixement sobre la seva presència, destí i persistència en el medi ambient. Nogensmenys, en els darrers anys, l'atenció de la comunitat científica s'ha centrat en l'estudi de nous contaminants, anomenats *emergents*, els quals inclouen productes d'ús diari com ara els fàrmacs, productes per a la cura o la higiene personal, additius de la gasolina, compostos perfluorats, etc. Aquestes substàncies, a diferència dels contaminants prioritaris, com els hidrocarburs aromàtics policíclics, plaguicides, diclorodifeniltricloroetà (DDT), policlorobifenils (PCB), etc., encara no estan inclosos en la legislació vigent, però són candidats potencials per a ser afegits en futures directives. Els riscos que comporta la contaminació de l'aigua són difícils de precisar ja que, a part de tenir en compte els efectes de certs compostos individualment, també cal avaluar els problemes que comporta la presència simultània de diversos contaminants. Tenint en compte tots aquests factors, és de vital importància destinar esforços a conèixer els con-

1. D. BARCELÓ, M. PETROVIC, E. ELJARRAT, M. J. LÓPEZ DE ALDA i A. KAMPIOTI (2004), «Environmental analysis», a E. HEFTMANN (ed.), *Chromatography 6th edition*, Amsterdam, Elsevier, col·l. «Journal of Chromatography Library», núm. 69, part B, p. 987.

taminants presents en l'aigua i avaluar els riscos que comporten, amb la finalitat d'incloure'ls en directives, per tal de garantir i preservar una millor qualitat de l'aigua, que és un recurs fonamental i no reemplaçable.

2. Fonts de contaminació: cicle de l'aigua

L'aparició dels contaminants en l'aigua es pot explicar mitjançant el denominat *cicle de l'aigua* (vegeu la figura 1). En alguna part d'aquest cicle, en què conflueixen diferents compartiments ambientals i activitats humanes, es produeix la contaminació de l'aigua, o més ben dit, l'alteració de la seva qualitat. D'acord amb aquest cicle, les principals vies d'entrada de contaminants emergents en el medi ambient són les aigües residuals, entre les quals s'inclouen les urbanes, les industrials i les d'origen agrícola o ramader. S'ha observat que els tractaments que tenen lloc en les estacions depuradores d'aigües residuals (EDAR) no eliminen totalment alguns d'aquests compostos, i fan possible, d'aquesta manera, que entrin a les aigües superficials i, d'aquí, a les aigües de beguda.²

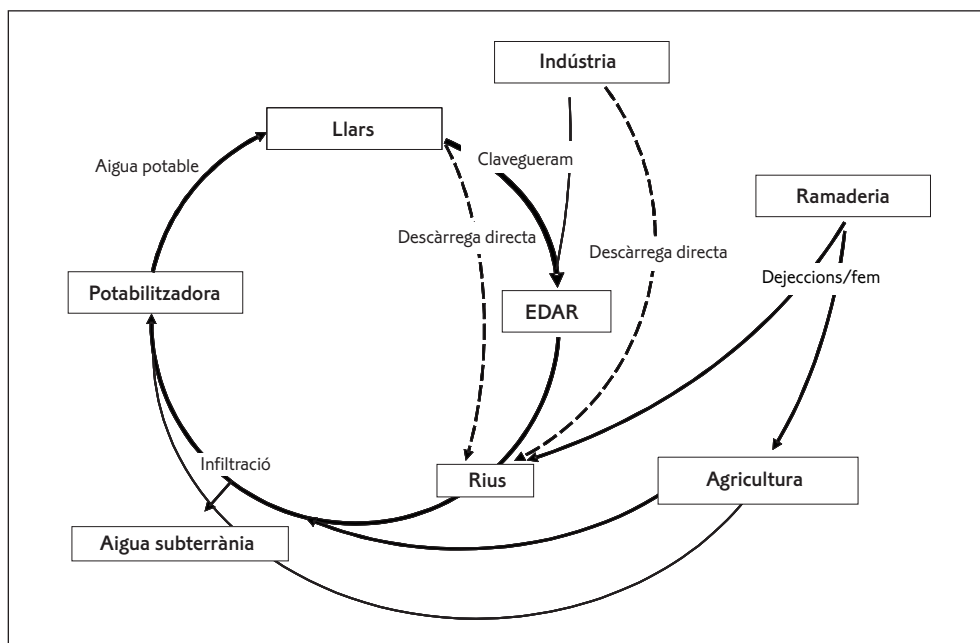


FIGURA 1. Cicle de l'aigua.

2. M. PETROVIC, S. GONZÁLEZ i D. BARCELÓ (2003), «Analysis and removal of emerging contaminants in wastewater and drinking water», *TrAC-Trends Anal. Chem.*, núm. 22, p. 685-696.

3. Legislació ambiental

Des de la publicació de la Llei d'aigües, de 2 d'agost de 1985, que va derogar la de 1879, han estat moltes les mesures legislatives que s'han anat adoptant progressivament amb la finalitat de protegir els recursos hídrics existents.

Actualment, l'eina legislativa en l'àmbit europeu, en matèria d'aigües, és la Directiva marc de l'aigua 2000/60/CE,³ la qual té com a principal fita establir un marc comunitari d'acció per a la protecció de les aigües superficials continentals, de transició, costaneres i subterrànies, per tal de prevenir-ne o reduir-ne la contaminació, garantir-ne el bon estat químic i ecològic, reduir-ne la contaminació per vessaments i emissions de substàncies perilloses i promoure'n un ús sostenible en tots els estats membre de la Unió Europea.

Per tal d'aplicar l'esmentada Directiva, els estats membre han de determinar totes les conques hidrogràfiques incloses dins del seu territori i incloure-les en les corresponents demarcacions hidrogràfiques. Igualment, han de designar l'autoritat competent apropiada per a l'aplicació de les normes de la Directiva en cada demarcació hidrogràfica ubicada en el seu territori. Si es tracta de conques que abasten el territori de més d'un estat membre, en aquest cas els esmentats estats han de vetllar perquè s'incloguin en una demarcació internacional.

Passats quatre anys des de l'entrada en vigor de la present Directiva, els estats membre hauran de fer una anàlisi de les característiques de cada districte hidrogràfic, un estudi de la incidència de l'activitat humana sobre les aigües, una anàlisi econòmica del seu ús i un registre de les zones que necessiten una protecció especial. Passats nou anys de l'entrada en vigor de la Directiva, s'haurà d'elaborar un pla de gestió i un programa de mesures en cada districte geogràfic tenint en compte els resultats de les anàlisis i dels estudis descrits anteriorment. D'aquesta manera, es preveu aconseguir un bon estat de les aigües per a finals de 2015. L'aigua deixa de ser considerada exclusivament com un recurs i es contempla com un element bàsic dels ecosistemes hídrics i una part fonamental per al sosteniment d'una bona qualitat ambiental.

La Directiva ordena a la Comissió presentar una proposta que contingui la llista de substàncies prioritàries que, una vegada aprovada pel Parlament Europeu i el Consell, s'integrarà a la Directiva 2000/60/CE com a annex 10 (Decisió núm. 2455/2001/CE). En compliment d'aquest mandat, la Comissió presenta una *llista de substàncies contaminants prioritàries* (vegeu la taula 1), definides com a perilloses perquè constitueixen un risc important per al medi ambient aquàtic. Al mateix temps, s'indiquen mesures de control i normes de qualitat per al control d'aquestes substàncies, les quals tenen com a objectiu reduir o suprimir els vessaments, emissions i fugues de les esmentades substàncies perilloses. A part del control dels compostos inclosos en aquesta

3. www.europa.eu/scadplus.

TAULA 1
Llista de substàncies prioritàries

	Número CAS	Número UE	Nom
(1)	15972-60-8	240-110-8	Alaclor
(2)	120-12-7	204-371-1	Antracè
(3)	1912-24-9	217-617-8	Atrazina
(4)	71-43-2	200-753-7	Benzè
(5)	n. a.	n. a.	Difenilèters bromats
(6)	7440-43-9	231-152-8	Cadmi i els seus compostos
(7)	85535-84-8	287-476-5	C ₁₀₋₁₃ -cloroalcans
(8)	470-90-6	207-432-0	Clorofeninfos
(9)	2921-88-2	220-864-4	Cloropirifos
(10)	75-09-2	200-838-9	Diclorometà
(11)	107-06-2	203-458-1	1,2-dicloroetà
(12)	117-81-7	204-211-0	Di(2-etilhexil)ftalat (DEHP)
(13)	330-54-1	206-354-4	Diuron
(14)	115-29-7	204-079-4	Endosulfan
	959-98-8	n. a.	(alfa-endosulfan)
(15)	206-44-0	205-912-4	Fluorantè
(16)	118-74-1	204-273-9	Hexaclorobenzè
(17)	87-68-3	201-765-5	Hexaclorobutadiè
(18)	608-73-1	210-158-9	Hexaclorociclohexà
	58-89-9	200-401-2	(gamma-isòmer, lindane)
(19)	34123-59-6	251-835-4	Isoproturon
(20)	7439-92-1	231-100-4	Plom i els seus compostos
(21)	7439-97-6	231-106-7	Mercuri i els seus compostos
(22)	91-20-3	202-049-5	Naftalè
(23)	7440-02-0	231-111-4	Níquel i els seus compostos
(24)	25154-52-3	246-672-0	Nonilfenols
	104-40-5	203-199-4	(4-(para)-nonilfenol)
(25)	1806-26-4	217-302-5	Octilfenols
	140-66-9	n. a.	(para-ter-octilfenol)
(26)	608-93-5	210-172-5	Pentaclorobenzè
(27)	87-86-5	201-778-6	Pentaclorofenol
(28)	n. a.	n. a.	Hidrocarburs poliaromàtics
	50-32-8	200-028-5	Benzo(a)pirè
	205-99-2	205-911-9	Benzo(b)fluorantè
	191-24-2	205-883-8	Benzo(g,h,i)perilè
	207-08-9	205-916-6	Benzo(k)fluorantè
	193-39-5	205-893-2	Indeno(1,2,3-c,d)pirè
(29)	122-34-9	204-535-2	Simazina
(30)	688-73-3	211-704-4	Compostos del tributilestany
	36643-28-4	n. a.	(catiò de tributilestany)
(31)	12002-48-1	234-413-4	Triclorobenzens
	120-82-1	204-428-0	(1,2,4-triclorobenzè)
(32)	67-66-3	200-663-8	Triclorometà (cloroform)
(33)	1582-09-8	216-428-8	Trifluralina

l·lista (Decisió núm. 2455/2001/CE), que és dinàmica i es revisa cada quatre anys, els aspectes biològics i hidromorfològics prenen rellevància en la diagnosi integrada de la qualitat.

Com a complement d'aquesta Directiva, i per incorporar al dret intern la Directiva 98/83/CE, de 3 de novembre, s'ha adoptat recentment el Reial decret 140/2003, de 7 de febrer, en què s'estableixen els criteris sanitaris de la qualitat de l'aigua de consum humà. Tant en la Directiva marc com en l'esmentat Reial decret s'inclouen unes l·listes de compostos orgànics, inorgànics i metalls considerats peril·losos per a la salut humana i/o el medi ambient, i les corresponents concentracions màximes permeses. Molts d'aquests compostos, com els hidrocarburs aromàtics policíclics, els plaguicides i la major part dels metalls, han estat objecte d'estudi i regulació durant dècades. Uns altres, per contra, han estat inclosos a les l·listes de substàncies prioritàries recentment, com és el cas, per exemple, dels alquilfenols (productes de degradació de detergents de tipus alquilfenol etoxilat) i els difenilèters bromats (utilitzats fonamentalment com a retardants de flama), que fins fa poc es consideraven contaminants emergents. En canvi, els compostos farmacèutics i d'ús personal encara no estan inclosos dins d'aquesta l·lista.

La Directiva 2000/60/CE ha estat parcialment incorporada a l'ordenament jurídic estatal mitjançant l'article 129 de la Llei 62/2003, de 30 de desembre, de mesures fiscals, administratives i de l'ordre social, que modificava diversos preceptes del Decret legislatiu 1/2001, de 20 de juliol, pel qual s'aprova el text refós de la Llei d'aigües. L'àmbit territorial de les demarcacions hidrogràfiques corresponents a conques intercomunitàries i internacionals ha estat fixat mitjançant el Reial decret 125/2007, de 2 de febrer, mentre que les autoritats competents, que en el cas de les demarcacions corresponents a conques intercomunitàries i internacionals han adoptat la forma de Comitè d'Autoritats Competents, han estat regulades pel Reial decret 126/2007, de 2 de febrer. L'últim acte normatiu adoptat per l'Estat espanyol en compliment de la Directiva 2000/60/CE ha estat el Reial decret 907/2007, de 6 de juliol, pel qual s'aprova el Reglament de la planificació hidrològica.

Des de l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA), autoritat competent a efectes de la Directiva 2000/60/CE en l'àmbit del Districte de Conca Fluvial de Catalunya (conques internes de Catalunya), d'acord amb el Decret legislatiu 3/2003, de 4 de novembre, pel qual s'aprova el text refós de la legislació en matèria d'aigües de Catalunya, s'està treballant per a la implantació progressiva de la Directiva marc de l'aigua. Si bé inicialment s'han desenvolupat estudis a les conques internes de Catalunya, actualment s'està treballant per ampliar-los a tot l'àmbit del Principat (conques catalanes de l'Ebre, la Garona i el Xúquer). En aquest sentit, l'Agència Catalana de l'Aigua ha elaborat el document referent a la implantació de la Directiva marc de l'aigua a Catalunya, l'anàlisi de pressions i els impactes.

4. Contaminants emergents: exemples d'estudis realitzats a Catalunya i a l'Estat espanyol

4.1. Hormones sexuals femenines

Les hormones sexuals femenines són de gran interès com a contaminants emergents, a causa de les seves propietats disruptores endocrines. L'anàlisi d'aquests compostos se centra bàsicament en la determinació d'estrògens naturals (estradiol, estrona, estriol i els seus conjugats) i estrògens sintètics (etinilestradiol, mestranol i dietilestilbestrol), utilitzats, sobretot, com a anti-conceptius.

Aquestes substàncies indueixen respostes de tipus estrogènic en peixos, i produeixen alteracions greus en la seva reproducció i desenvolupament, com ara la feminització, la reducció de fertilitat i l'hermafroditisme, a concentracions en aigua molt baixes (entre 0,1-1 ng/L).^{4, 5, 6} Un estudi realitzat a les EDAR del Besòs i del Llobregat (Depurbaix), així com en els seus emissaris i en

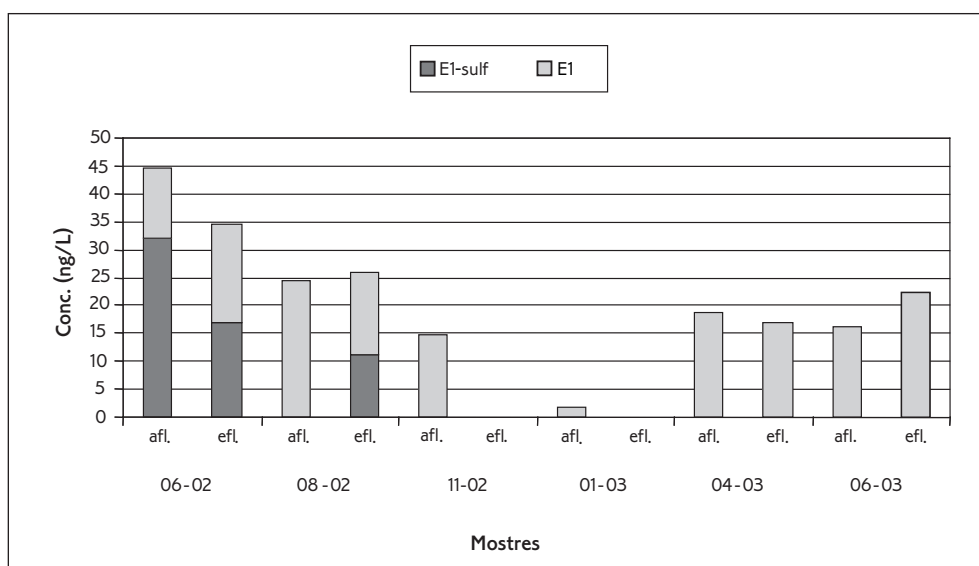


FIGURA 2. Presència d'hormones a les aigües residuals de l'EDAR del Besòs. E1-sulf. = estrona-3-sulfat; E1 = estrona; afl. = aigua residual d'entrada; efl. = aigua residual de sortida.

4. P.-D. HANSEN, H. DIZER, B. HOCK, A. MARX, J. SHERRY, M. McMASTER i C. BLAISE (1998), «Vitellogenin - a biomarker for endocrine disruptors», *TrAC, Trends Anal. Chem.*, núm. 17, p. 448.

5. E. J. ROUTLEDGE, D. SHEAHAN, C. DESBROW, G. C. BRIGHTY, M. WALDOCK i J. P. SUMPTER (1998), «Identification of estrogenic chemicals in STW effluent. 2. In vivo responses in trout and roach», *Environ. Sci. Technol.*, núm. 32, p. 1559.

6. M. PETROVIC, M. SOLÉ, M. J. LÓPEZ DE ALDA i D. BARCELÓ (2002), «Endocrine disruptors in sewage treatment plants, receiving river waters, and sediments: Integration of chemical analysis and biological effects on feral carp», *Environ. Toxicol. Chem.*, núm. 21, p. 2146.

diversos punts de la costa marítima de Barcelona, va posar de manifest l'eliminació incompleta d'aquests compostos a les EDAR (vegeu la figura 2) i la presència freqüent d'alguns (sobretot estrona, el seu conjugat estrona-3-sulfat i estriol), no només en les aigües residuals, sinó també en l'aigua de mar, on les concentracions eren aproximadament cent vegades més baixes que en les EDAR, però superiors de vegades a les que s'estima suficients per a induir respostes estrogèniques (com en el cas de l'estriol detectat a 1,3 ng/L en un dels emissaris de l'EDAR Depurbaix, vegeu la taula 2).

TAULA 2

Nivells (ng/L) d'estrògens a la costa marítima de Barcelona

<i>Mostra</i>	<i>Estrona-3-sulfat</i>	<i>Estriol</i>	<i>Estradiol</i>	<i>Etinil-estradiol</i>	<i>Estrona</i>	<i>Dietilestilbestrol</i>
<i>Any 2002</i>						
Llobregat desembocadura	0,08				0,24	
Llobregat emissari punt 1	0,06				0,24	
Llobregat emissari punt 2	0,07				0,46	
Llobregat emissari punt 3	0,04				0,32	
Besòs desembocadura	0,09				0,16	
Besòs emissari	0,04					
<i>Any 2003</i>						
Llobregat desembocadura	0,14				0,28	
Llobregat emissari punt 1					0,16	
Llobregat emissari punt 2	0,05					
Llobregat emissari punt 3	0,08	1,24			0,28	

4.2. Detergents no iònics

Aquest tipus de substàncies s'utilitzen àmpliament com a detergents industrials i domèstics, especialment dins del sector pelleter. D'entre aquest grup de substàncies, les que mereixen especial atenció com a contaminants emergents són els detergents de tipus alquilfenol etoxilat (APEO), ja que aproximadament el 60 % dels APEO que entren a les plantes de tractament d'aigües residuals i llots de depuradora són posteriorment alliberats al medi ambient, on el 85 % del percentatge anterior es troba en forma de productes de degradació de cadena més curta, com són els alquilfenols (AP), alquilfenol carboxilats i dicarboxilats (APEC i CAPEC), amb un caràcter estrogènic i una toxicitat aguda més acusats que els mateixos compostos de partida. A més a més, aquests compostos també poden donar lloc als respectius derivats halogenats durant els processos de cloració a les plantes potabilitzadores. Aquest grup de compostos han estat inclosos

recentment a la llista de substàncies prioritàries, per l'esmentat caràcter estrogènic que presenten.⁷

Aquests detergents van ser estudiats l'any 1999-2000 en les aigües i sediments dels rius Anoia i Cardener, afluents del riu Llobregat (vegeu la figura 3).⁸ En aquest estudi també es van incloure els estrògens i van ser identificats ambdós grups de compostos com a responsables de l'estrogenicitat observada en els peixos capturats a les àrees d'estudi (vegeu la figura 4). A part de presentar un nivell elevat de vitel·logenina plasmàtica (proteïna utilitzada per a mesurar l'exposició a compostos estrogènics), els peixos tenien òrgans reproductors masculins i femenins simultàniament.

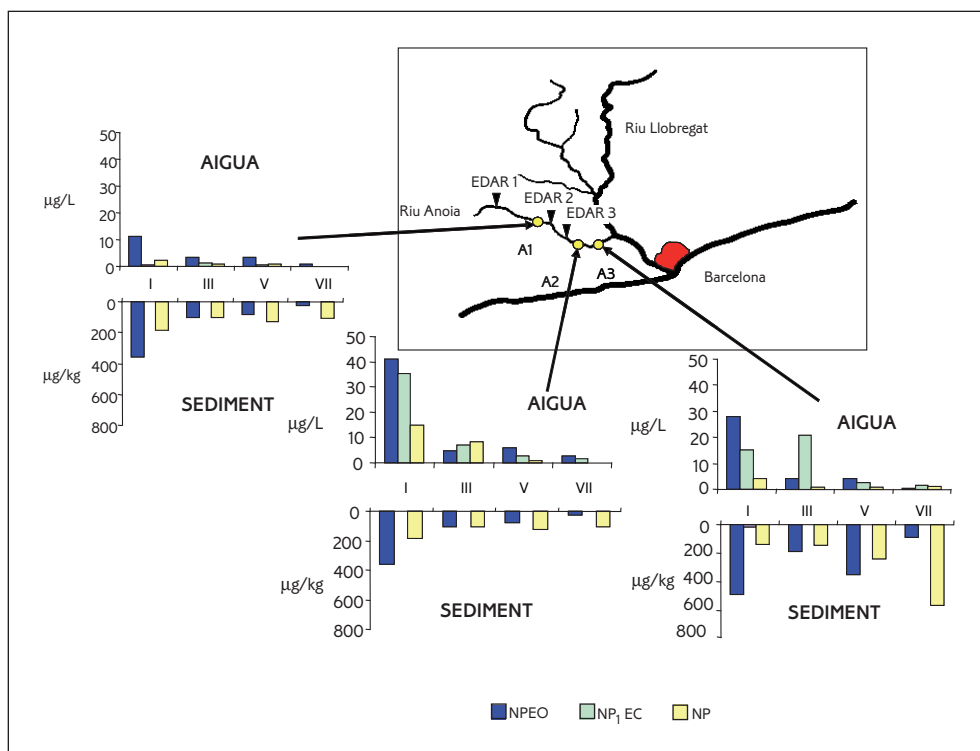


FIGURA 3. Nivells d'alquilfenols etoxilats i els seus productes de degradació en aigües i sediments dels rius Anoia i Cardener.

7. S. GONZÁLEZ, M. PETROVIC i D. BARCELÓ (2007), «Removal of a broad range of surfactants from municipal wastewater: Comparison between membrane bioreactor and conventional activated sludge treatment», *Chemosphere*, núm. 67, p. 335.

8. R. CÉSPEDES, M. PETROVIC, D. RALDÚA, U. SAURA, B. PIÑA, S. LACORTE, P. VIANA i D. BARCELÓ (2004), «Integrated procedure for determination of endocrine-disrupting activity in surface waters and sediments by use of the biological technique recombinant yeast assay and chemical analysis by LC-ESI-MS», *Anal. Bioanal. Chem.*, núm. 378, p. 697.

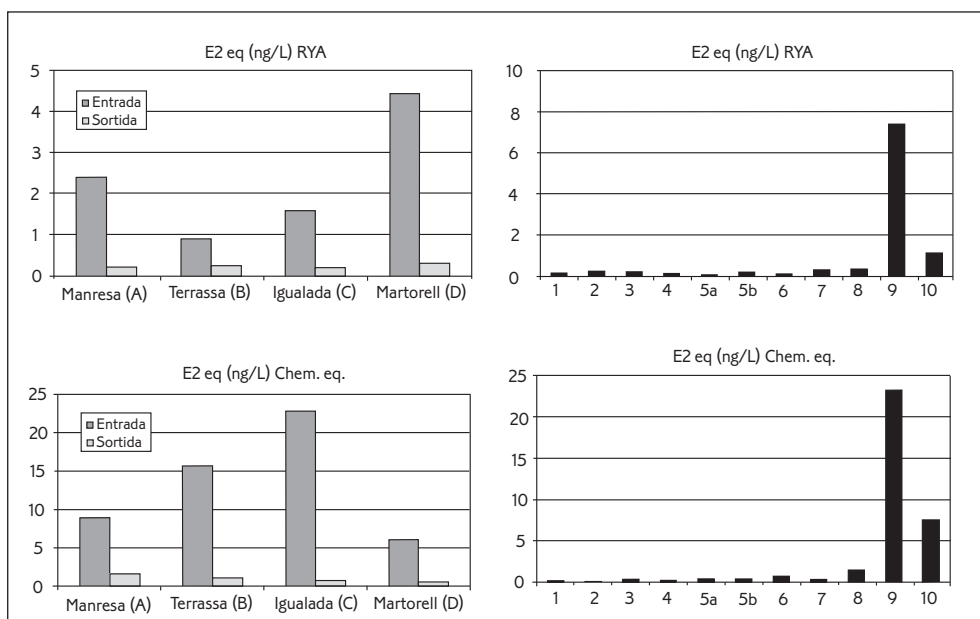


FIGURA 4. Comparació entre els valors totals d'estrogenicitat (expressats en equivalents d'estradiol) obtinguts mitjançant l'assaig de llevats recombinants RYA (a dalt) i els estimats a partir de la composició química (a baix) en mostres d'aigües residuals (esquerra) i en aigües de riu (dreta).

4.3. Compostos farmacèutics

En les últimes dècades la presència de fàrmacs en el medi ambient ha estat objecte de creixent preocupació i estudi. A causa del seu elevat consum, aquests compostos s'introdueixen contínuament en el medi ambient, per la qual cosa se'ls coneix com a contaminants *pseudopersistentes*. De tot aquest grup, els que susciten més preocupació són els antibiòtics, per la possibilitat de desenvolupar ceps bacterians resistents que els facin perdre eficàcia per al fi amb el qual van ser dissenyats.⁹

Encara es desconeixen els efectes ecotoxicològics que implica la presència de fàrmacs en el medi ambient, però diversos estudis han demostrat que alguns compostos, com el diclofenac (antiinflamatori), el propranolol (beta-blocador) i la fluoxetina (antidepressiu), presenten toxicitat aguda en peixos, zooplàncton i organismes bentònics, en nivells pròxims als detectats en les aigües de sortida d'estacions depuradores d'aigües residuals. Això indica que, per a alguns compostos, el rang de seguretat és estret i que és difícil de predir-ne els efectes nocius, especialment

9. M. GROS, M. PETROVIC i D. BARCELÓ (2006), «Development of a multi-residue analytical methodology based on liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS) for screening and trace level determination of pharmaceuticals in surface and wastewaters», *Talanta*, núm. 70, p. 678.

si es tenen en compte els efectes de mescles de diverses substàncies, i no només els de cada compost individualment.¹⁰

Fins fa uns quants anys, l'estudi de fàrmacs se centrava en l'anàlisi de determinats grups terapèutics. En canvi, la tendència actual es dirigeix cap al desenvolupament de mètodes d'anàlisi multiresidu, els quals incloïen diversos grups de compostos, per tal de tenir un coneixement més ampli sobre la seva presència, repartició i destí en el medi ambient.

L'any 2006 es va estudiar la presència de vint-i-vuit compostos farmacèutics d'elevat consum humà a la conca hidrogràfica del riu Ebre.¹¹ En aquest estudi es van analitzar aigües d'entrada i sortida de set estacions depuradores d'aigües residuals (EDAR) localitzades prop de les ciutats més poblades al llarg de tota la conca, així com també aigües dels rius emissaris, amb la finalitat d'avaluar la contribució de les aigües de sortida de les diferents EDAR a la presència de fàrmacs en les aigües de riu, i es van quantificar també els percentatges d'eliminació dels compostos estudiats a les EDAR.

Els compostos detectats amb més freqüència s'indiquen a la figura 5. Per altra banda, els resultats van demostrar que alguns fàrmacs no s'eliminen durant els processos de tractament d'aigües residuals; els analgèsics i antiinflamatoris en són l'excepció, amb eliminacions superiors al 80 % (vegeu

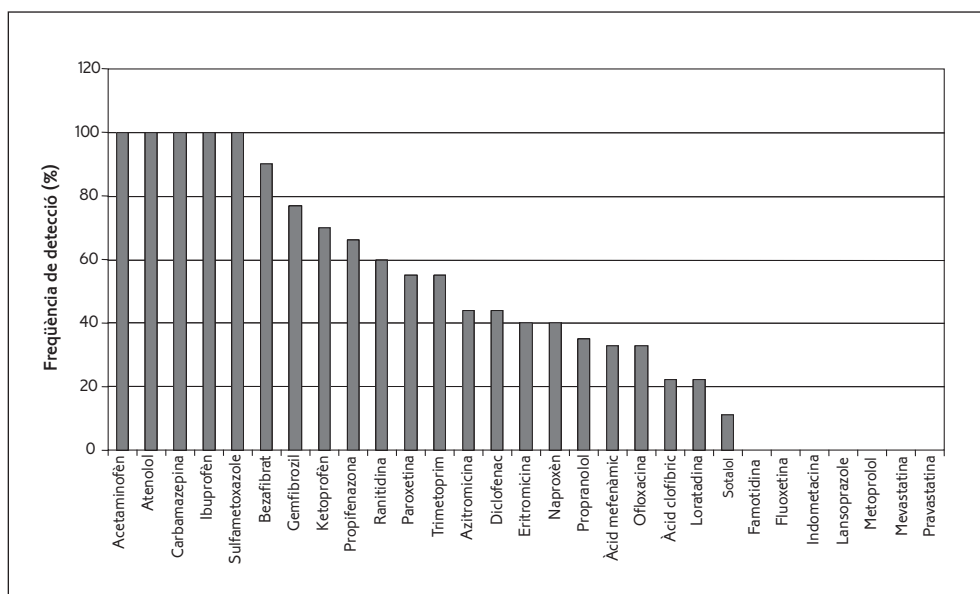


FIGURA 5. Compostos detectats amb més freqüència a les aigües de riu de la conca hidrogràfica del riu Ebre.

10. K. FENT, A. A. WESTON i D. CAMINADA (2006), «Ecotoxicology of human pharmaceuticals», *Aquatic Toxicology*, núm. 76, p. 122.

11. M. GROS, M. PETROVIC i D. BARCELÓ (2007), «Wastewater treatment plants as a pathway for aquatic contamination by pharmaceuticals in the Ebro river basin (northeast Spain)», *Environ. Toxicol. Chem.*, núm. 26, p. 1553.

la figura 6). En canvi, altres compostos, com els antibiòtics i els beta-blocadors, presentaven eliminacions molt baixes. De totes maneres, els percentatges d'eliminació depenen sobretot dels tipus de

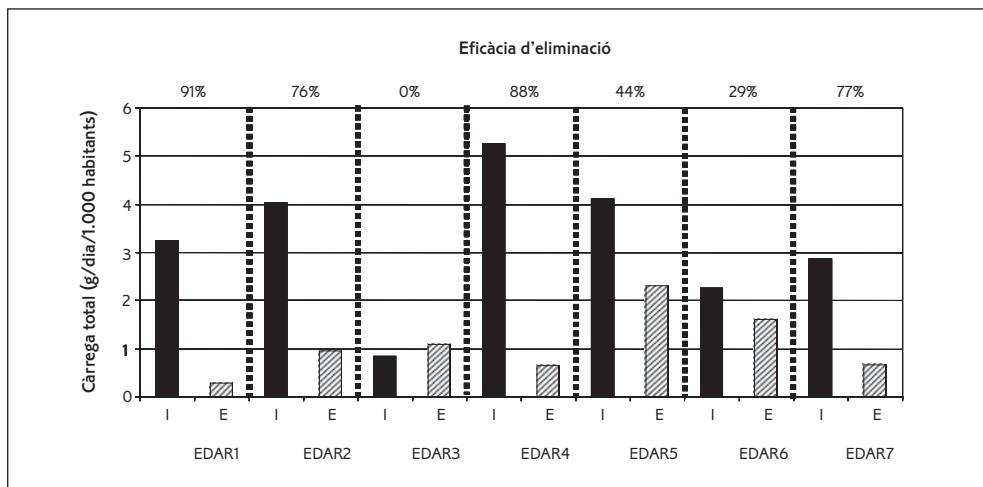


FIGURA 6. Eficàcia d'eliminació de les estacions depuradores d'aigües residuals (EDAR) estudiades, tenint en compte el sumatori de tots els grups terapèutics analitzats. I, entrada; E, sortida.

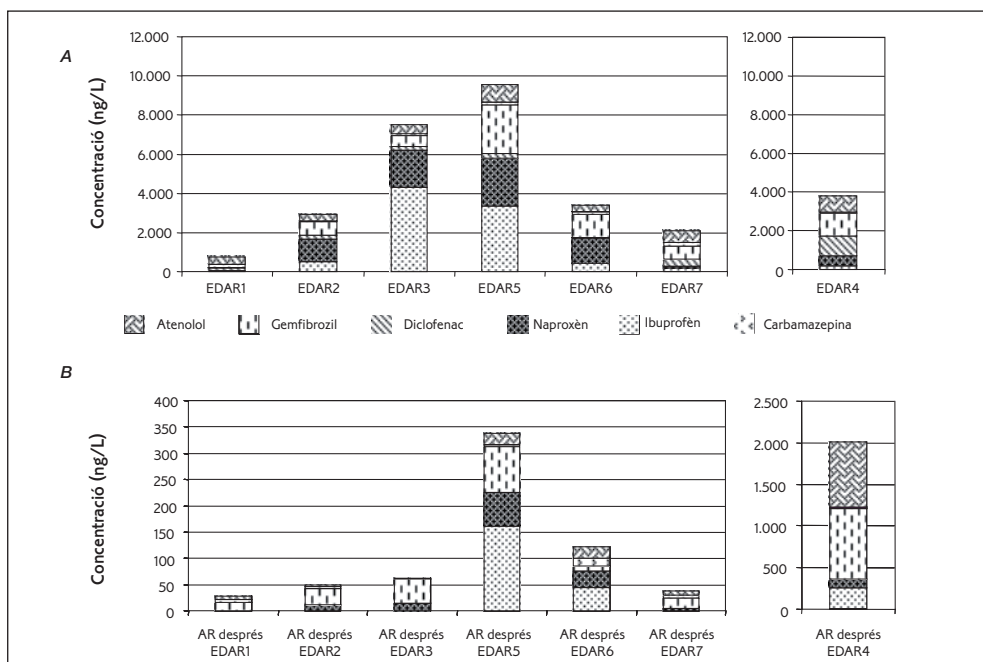


FIGURA 7. Concentracions (ng/L) d'alguns antiinflamatoris, reguladors de lípids, fàrmacs d'ús psiquiàtric i beta-blocadors detectats en (A) aigües de sortida d'EDAR i (B) aigües de riu situades més avall de les EDAR.

tractaments aplicats en cada una de les plantes individualment. Aquests resultats posen de manifest que les aigües de sortida de les EDAR contribueixen en gran part a la presència de fàrmacs en les aigües superficials, tal com indica la figura 6. Malgrat que els nivells trobats en les aigües residuals són generalment de $\mu\text{g/L}$, en les aigües de riu té lloc un important factor de dilució (vegeu la figura 7).

4.4. *Plaguicides*

Els plaguicides a l'aigua han estat objecte de regulació i estudi durant dècades. No obstant això, la preocupació per aquests compostos i els seus productes de degradació no decau. Molts plaguicides es degraden en el medi ambient i originen productes de degradació que en moltes ocasions són més ubics i tòxics que els compostos originals. Com a conseqüència, alguns productes de degradació (per exemple, els del DCPA, l'alaclor i altres acetanilides, i algunes triazines) han estat inclosos a la llista de contaminants candidats (Contaminant Candidate List, CCL) de l'Agència de Protecció del Medi Ambient dels Estats Units (USEPA).

La presència de plaguicides a l'aigua està regulada en la Unió Europea a través de diverses directives que estableixen valors límit de concentració per a plaguicides individuals i totals. Aquest és el cas de la Directiva 98/83/CE, relativa a la qualitat de les aigües destinades al consum humà, que estableix un màxim de $0,1 \mu\text{g/L}$ per a plaguicides individuals i de $0,5 \mu\text{g/L}$ per a plaguicides totals; la Directiva 75/440/CE, relativa a la qualitat requerida per a les aigües superficials destinades a la producció d'aigua potable, que estableix una concentració màxima de plaguicides totals d'entre 1 i $5 \mu\text{g/L}$, depenent del mètode de tractament d'aigua aplicat; la Directiva marc de l'aigua (DMA) 2000/60/CE, modificada per la Decisió 2455/2001/CE, que estableix una llista de trenta-tres substàncies prioritàries en l'àmbit de la política d'aigües, la tercera part de les quals són plaguicides, i la Directiva 2006/118/CE, relativa a la protecció de les aigües subterrànies contra la contaminació i el deteriorament, que fixa un màxim de $0,1 \mu\text{g/L}$ per a plaguicides individuals i de $0,5 \mu\text{g/L}$ per a plaguicides totals (incloent-hi les substàncies actives, els metabòlits i els productes de degradació i reacció pertinents).

Recentment, la Comissió ha proposat fixar normes de qualitat ambiental (NQA) per a les trenta-tres substàncies prioritàries de la DMA i per a uns altres vuit contaminants en aigües superficials, normes que haurien de complir-se l'any 2015 i que afecten algunes substàncies utilitzades com a plaguicides (COM (2006) 397 final). Per a les trenta-tres substàncies prioritàries s'han proposat concentracions mitjanes anuals i concentracions màximes admissibles (CMA), distingint, a la vegada, entre aigües superficials continentals i altres aigües superficials. Les CMA proposades són molt baixes en alguns casos, com el de l'endosulfan ($0,01 \mu\text{g/L}$ en aigües superficials continentals i $0,004 \mu\text{g/L}$ en altres aigües superficials), i menys restrictives per a altres compostos com l'alaclor ($0,7 \mu\text{g/L}$), l'atrazina ($2 \mu\text{g/L}$), el diuron ($1,8 \mu\text{g/L}$) o la simazina ($4 \mu\text{g/L}$).

Molts dels plaguicides moderns i la majoria dels seus productes de degradació són compostos polars que fins fa poc no es podien analitzar amb les tècniques disponibles. Una selecció d'aquests

compostos ha estat objecte d'estudi recentment en diferents entorns a Catalunya. En un estudi portat a terme el 2004, es va investigar la presència i la destinació d'una selecció de vint plaguicides i productes de degradació, pertanyents a les famílies de triazines, organofosfats, fenilurees, anilides, cloroacetanilides, herbicides àcids i tiocarbamats, al llarg del procés de tractament en una planta potabilitzadora, la de Sant Joan Despí, que abasteix Barcelona i la seva àrea metropolitana, amb la finalitat de determinar, d'una banda, la presència d'aquests compostos en l'aigua superficial del riu Llobregat i en l'aigua subterrània de l'aquífer del Baix Llobregat, que s'utilitzen per a produir l'aigua potable, i de l'altra, l'eficàcia d'eliminació dels diferents tractaments emprats, que inclouen filtració amb sorra, ozonització, filtració amb carbó actiu i cloració.¹² La concentració de plaguicides no va superar en cap cas els límits màxims de 0,1 i 0,5 µg/L establerts per la legislació per a, respectivament, plaguicides individuals i totals en aigües potables (Directiva 97/83/CE) i subterrànies (Directiva 2006/118/CE), ni el màxim de 5 µg/L establert per a plaguicides totals en aigües superficials (Directiva 75/440/CE) (vegeu la figura 8). Pel que fa a l'eficàcia dels diferents tractaments aplicats, es va veure que la filtració amb sorra i la filtració amb carbó actiu eren els més eficients.

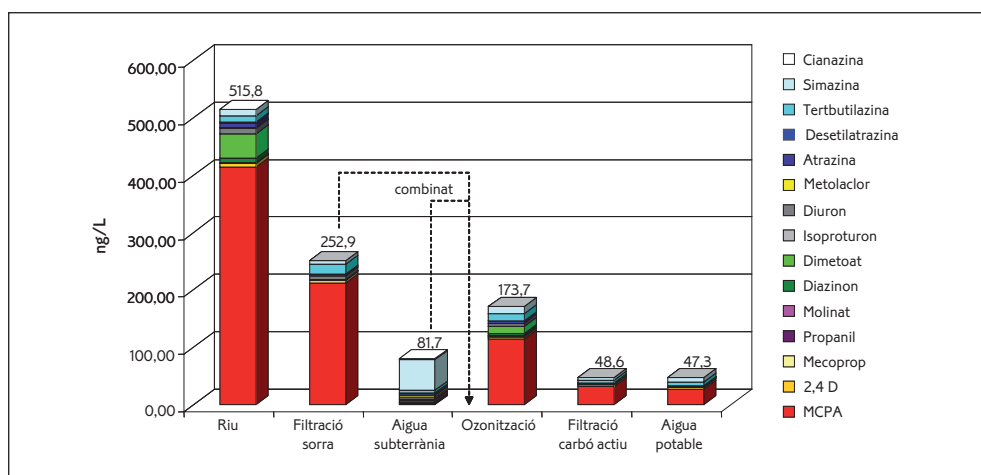


FIGURA 8. Concentració total (ng/L) de plaguicides al llarg del procés de tractament en la planta potabilitzadora de Sant Joan Despí.

Nivells comparativament molt més alts es van trobar en un estudi portat a terme en el delta de l'Ebre durant l'època de cultiu de l'arròs (maig i agost de 2005).¹³ En aquesta zona, a causa de

12. A. KAMPIOTI, A. C. BORBA DA CUNHA, M. J. LÓPEZ DE ALDA i D. BARCELÓ (2005), «Fully automated multianalyte determination of different classes of pesticides, at picogram per litre levels in water, by on-line solid-phase extraction-liquid chromatography-electrospray-tandem mass spectrometry», *Anal. Bioanal. Chem.*, núm. 382, p. 1815.

13. M. TERRADO, M. KUSTER, D. RALDUA, M. LÓPEZ DE ALDA, D. BARCELÓ i R. TAULER (2007), «Use of chemometric and geostatistical methods to evaluate pesticide pollution in the irrigation and drainage channels of the Ebro river delta during the rice-growing season», *Anal. Bioanal. Chem.*, núm. 387, p. 1479.

l'extensiva aplicació de plaguicides, es van detectar nivells en el rang de $\mu\text{g/L}$ per a alguns plaguicides com la bentazona, el MCPA, el propanil, el molinat, l'atrazina i el fenitrotion. La figura 9 mostra a manera d'exemple les concentracions acumulades dels plaguicides trobats l'agost de 2005 en els diferents punts de mostreig, que inclouen una zona del riu Ebre aigües amunt del delta (ERT), una sèrie de canals d'irrigació (CE) i drenatge (CD), i uns altres dos punts en la llacuna de l'Encanyissada (EL) i la badia dels Alfacs (BA).

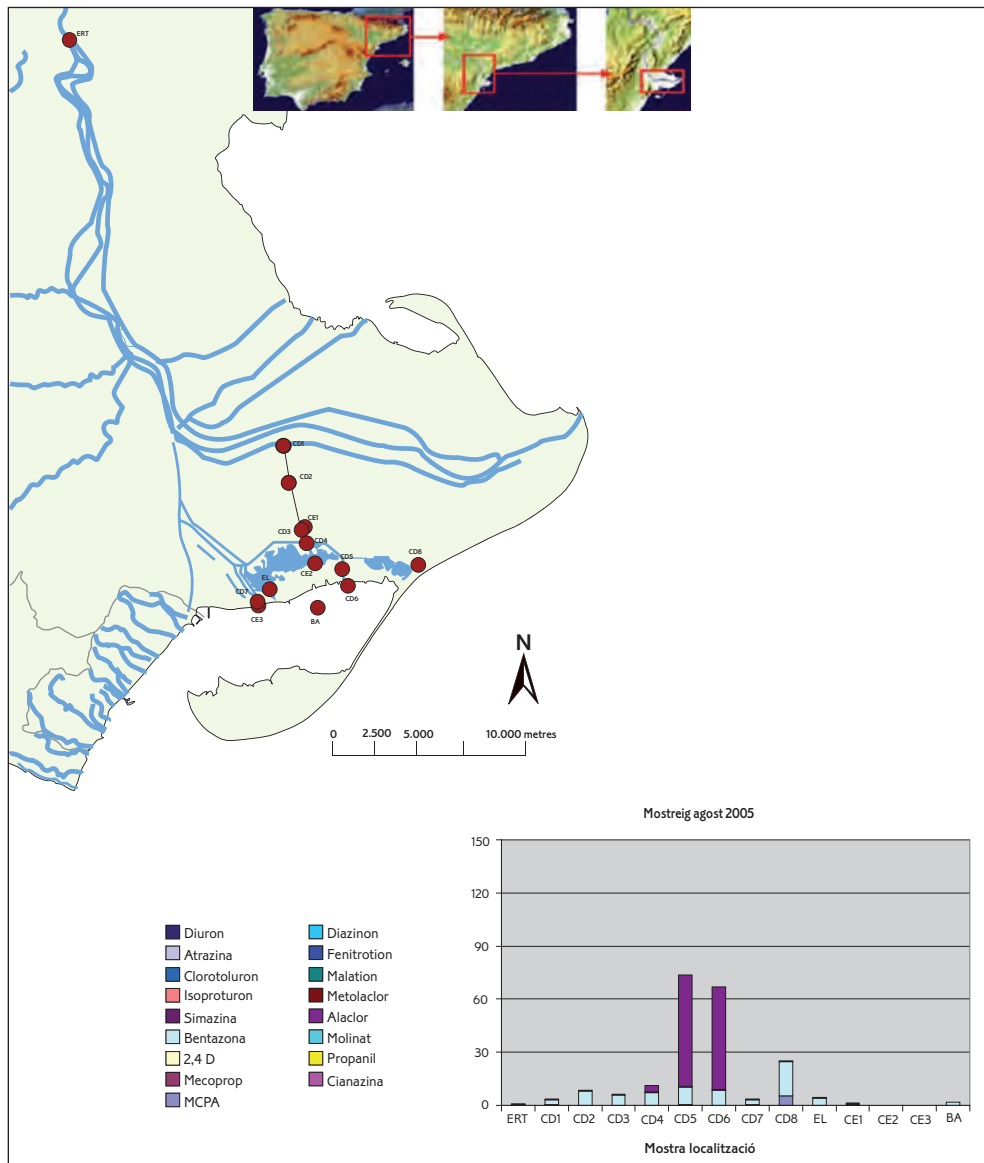


FIGURA 9. Mapa de la zona de mostreig al delta de l'Ebre i nivells de plaguicides l'agost de 2005.

5. Propostes d'actuació: millorar l'eliminació dels contaminants emergents

Tal com s'ha esmentat anteriorment, la principal via d'entrada de contaminants emergents al medi ambient són les estacions depuradores d'aigües residuals. Al nostre país, la majoria d'EDAR inclouen un tractament primari i secundari, fisicoquímic el primer i biològic el segon. Diversos estudis han demostrat que la inclusió de tractaments terciaris, com ara l'ozonització, filtració amb carbó actiu, etc., ajuda a millorar l'eficàcia d'eliminació d'aquests contaminants, i en redueix la presència en les aigües residuals de sortida. A més, cal esmentar que, com en el cas dels detergents tipus alquilfenol etoxilat, durant els processos de tractament es generen subproductes o productes de degradació a vegades encara més tòxics que els compostos originals.

Diversos estudis han demostrat que l'ús de tecnologies avançades per al tractament d'aigües residuals, com ara els bioreactors de membrana (MBR), la nanofiltració/ultrafiltració i l'osmosi inversa, així com tecnologies que empren processos d'oxidació avançada, entre d'altres, poden ser una solució molt eficaç i viable per a garantir una millor eliminació i depuració de les aigües.

S'ha pogut comprovar l'eficàcia d'una planta pilot de MBR, instal·lada a l'EDAR de Rubí des de l'abril de 2004, i s'han trobat resultats molt satisfactoris pel que fa a l'eliminació de detergents i compostos farmacèutics, en comparació amb els processos de tractament convencionals emprats en la mateixa planta.^{14,15} Aquest dispositiu combina processos biològics amb la tecnologia de membranes (vegeu la figura 10). En la unitat de processament s'assoleix un elevat grau de tractament, equivalent als tractaments del tanc d'aeració, d'estabilització i filtració (tractaments terciaris).

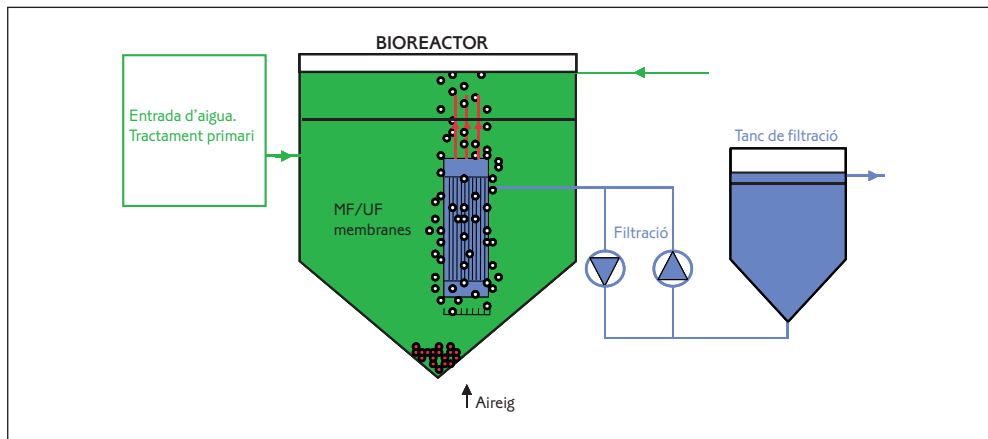


FIGURA 10. Esquema de funcionament de la planta pilot de bioreactor de membrana (MBR).

14. S. GONZÁLEZ, M. PETROVIC i D. BARCELÓ (2007), «Removal of a broad range of surfactants from municipal wastewater: Comparison between membrane bioreactor and conventional activated sludge treatment», *Chemosphere*, núm. 67, p. 335.

15. J. RADJENOVIC, M. PETROVIC i D. BARCELÓ (2007), «Analysis of pharmaceuticals in wastewater and removal using a membrane bioreactor», *Anal Bioanal. Chem.*, núm. 387, p. 1365.

Els principals avantatges que presenta respecte als mètodes convencionals són: una producció inferior de fangs; depenent de l'edat d'aquests fangs, una desinfecció parcial de les aigües (bacteris i organismes patògens) o una desinfecció total (incloent-hi virus), segons tingui lloc micro o ultrafiltració; un major temps de retenció hidràulic (10 hores); una major nitrificació que en els processos convencionals, i al final pot tenir lloc el procés de desnitrificació, mitjançant un segon contenidor operant en condicions anòxiques. Ara bé, l'ús d'aquestes tecnologies suposa un major consum energètic i, en conseqüència, un cost econòmic més elevat.

A continuació, en les figures 11 i 12 i la taula 3 es mostren alguns exemples del bon funcionament de la planta pilot de MBR per a l'eliminació de detergents i fàrmacs, respectivament.

En aquest estudi es va demostrar que en els sistemes convencionals (CAS) els nonilfenols etoxilats de cadena curta (NP₁EO i NP₂EO) es degraden poc. L'eliminació mitjana calculada és d'un 46 % per al NP₁EO i d'un 54 % per al NP₂EO. En canvi, amb el bioreactor de membrana, el percentatge d'eliminació és molt més elevat, al voltant d'un 90 %.

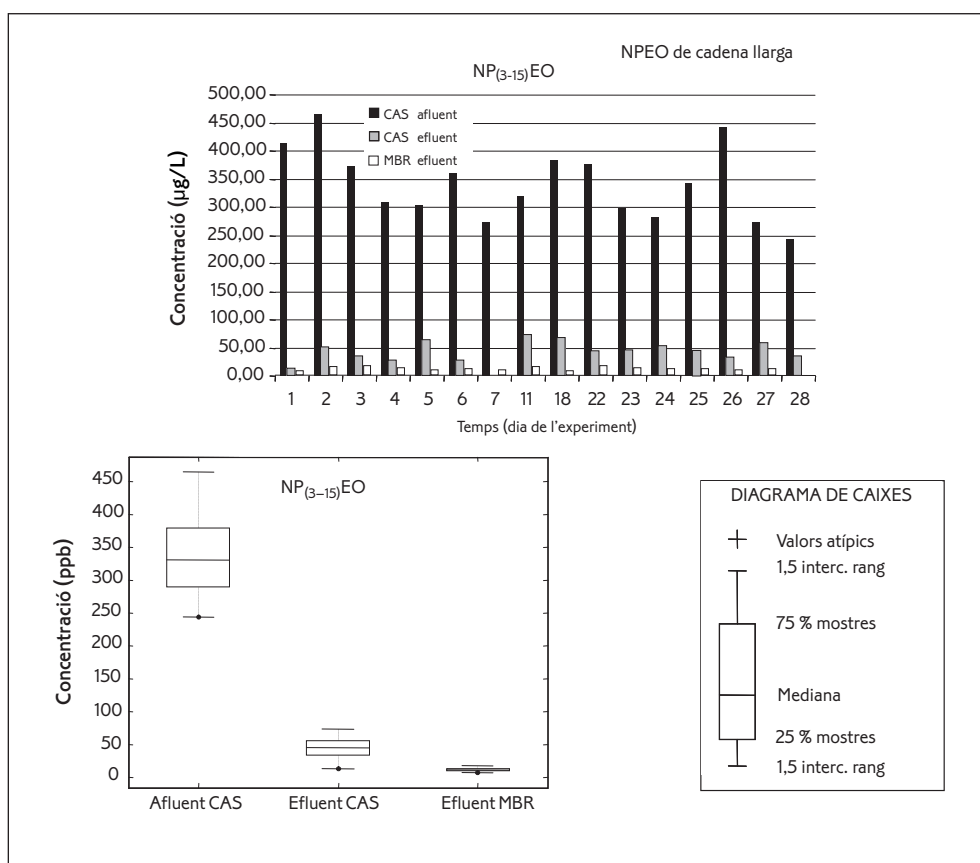


FIGURA 11. Comparació de l'eficàcia d'eliminació del bioreactor de membrana (MBR) amb els sistemes convencionals per a detergents.

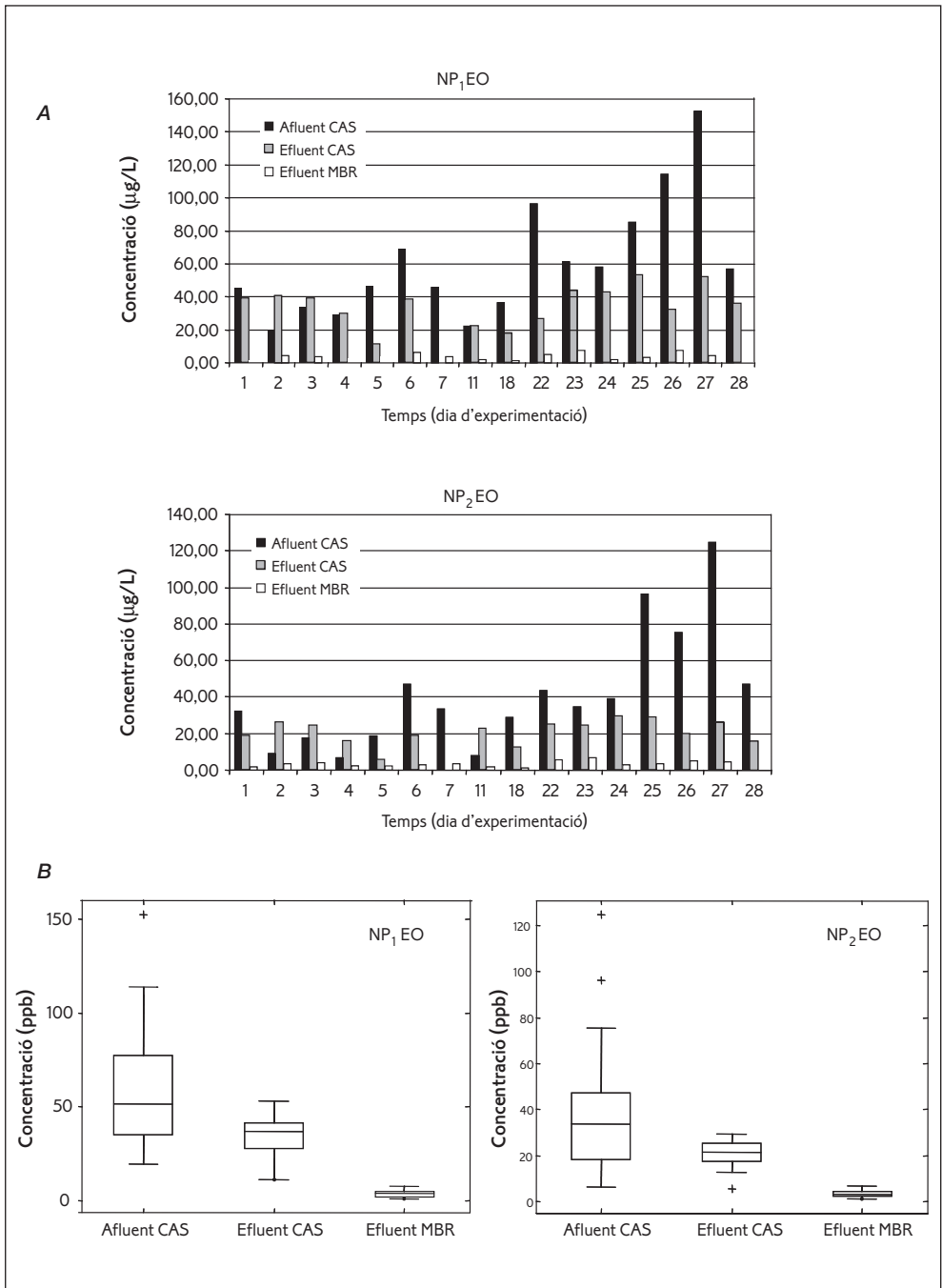


FIGURA 12. Presència de compostos de degradació neutres de NPEO: NP_1EO i NP_2EO (A) concentracions diàries, (B) diagrames de caixes de les concentracions trobades.

TAULA 3
*Comparació de l'eficàcia d'eliminació de MBR amb els sistemes convencionals
per a compostos farmacèutics*

<i>Substància</i>	<i>Eliminació amb MBR</i>	<i>Eliminació amb CAS</i>
Naproxèn	99,3 (SD = 1,52)	85,1 (SD = 11,4)
Ketoprofèn	91,9 (SD = 6,55)	51,5 (SD = 22,9)
Ibuprofèn	99,8 (SD = 0,386)	82,5 (SD = 22,9)
Diclofenac	87,4 (SD = 14,1)	50,1 (SD = 20,1)
Indometacina	46,6 (SD = 23,2)	no-eliminació
Acetaminofèn	99,6 (SD = 0,299)	98,4 (SD = 1,72)
Àcid mefenàmic	74,8 (SD = 20,1)	no-eliminació
Propifenazona	64,6 (SD = 13,3)	42,7 (SD = 19,0)
Ranitidina	95,0 (SD = 3,74)	42,2 (SD = 17,0)
Carbamazepina	no-eliminació	no-eliminació
Paroxetina	89,7 (SD = 6,69)	90,6 (SD = 4,74)
Ofloxacina	94,0 (SD = 6,51)	no-eliminació
Sulfametoxazole	60,5 (SD = 33,9)	55,6 (SD = 35,4)
Eritromicina	67,3 (SD = 16,1)	no-eliminació
Atenolol	65,5 (SD = 36,2)	no-eliminació
Metoprolol	58,7 (SD = 72,8)	no-eliminació
Hidroclorotiazida	66,3 (SD = 7,79)	76,3 (SD = 6,85)
Glibenclàmida	47,3 (SD = 20,1)	44,5 (SD = 19,1)
Gemfibrozil	89,6 (SD = 23,3)	38,8 (SD = 16,9)
Bezafibrat	95,8 (SD = 8,7)	48,4 (SD = 33,8)
Àcid clofíbric	71,8 (SD = 30,9)	no-eliminació
Pravastatina	90,8 (SD = 13,2)	61,8 (SD = 20,1)

6. Conclusions

L'aigua és un recurs natural escàs, indispensable per a la vida humana i la sostenibilitat del medi ambient. Com a conseqüència del ràpid desenvolupament industrial i el creixement de la població, ha sofert una alarmant deterioració. Les mesures legislatives que progressivament s'han anat adoptant per tal de prevenir la contaminació química de l'aigua i els riscos que se'n deriven són una eina indispensable i útil per a pal·liar i controlar aquesta situació. Malgrat això, el descobriment continuat de nous contaminants deixa clara la necessitat de seguir investigant en aquest camp, especialment en el coneixement de la presència i distribució d'aquests compostos en el medi, així com dels riscos que comporten per a la salut humana i dels organismes.

En l'encapçalament d'aquest article, a part de referir-nos a la temàtica general de l'escassetat i la baixa qualitat de l'aigua, s'indicava que ens centràrem en la conca de l'Ebre. Dins del projecte Aquaterra finançat per la Unió Europea, del qual el CSIC és responsable a Espanya, estem estudiant precisament aquesta conca i els efectes dels contaminants així com l'evolució com a conseqüència del canvi climàtic i la possible escassetat d'aigua els propers anys. Per situar-nos a la conca de l'Ebre, hi ha un total de gairebé 2,8 milions d'habitants, amb una extensiva activitat agrícola i ramadera i una certa activitat industrial. Com a contaminants rellevants que van a parar al riu Ebre tenim els fàrmacs, que no són completament eliminats per les estacions depuradores d'aigües residuals (EDAR), així com els pesticides que provenen d'activitats agrícoles. Estimacions fetes dins del projecte Aquaterra indiquen que pesticides com l'atrazina i la simazina, utilitzades entre altres activitats per al blat de moro o per al cultiu de la vinya, presenten unes càrregues anuals al riu Ebre de 800 i 500 kg, respectivament. Si fem el mateix càlcul per als fàrmacs que més es troben al riu Ebre, com l'acetaminofèn (paracetamol), l'atenolol (betablocador), la carbamazepina (usada per a l'epilèpsia) o l'ibuprofèn (antiinflamatori), tenim que el que s'aboca al riu de cada un d'aquests fàrmacs després de passar per les depuradores és aproximadament uns 100 kg de fàrmac a l'any en tota la conca. En total hem fet un seguiment d'uns trenta fàrmacs que representen uns 3.000 kg a l'any, o sigui tres tones de fàrmacs. Això és el que arriba finalment als rius, perquè la càrrega a la depuradora s'estima que és unes cinc vegades més elevada (tenint en compte el percentatge d'eliminació d'aquests fàrmacs en les depuradores), o sigui que estaríem parlant que entren a les depuradores unes 15 tones de fàrmacs a l'any en tota la conca. Aquestes dades no són gens estranyes i coincideixen també amb els números que hi ha a Alemanya. Si ara tenim en compte els diferents pesticides a més dels fàrmacs, la càrrega anual del riu Ebre pot arribar fàcilment a les 7-8 tones de contaminants anuals pel cap baix.

En aquest estudi hem pogut comprovar fàcilment que les zones on el cabal del riu és baix, per exemple 10 metres cúbics per segon, com és el riu Arga, a Puente de la Reina, a la zona de Navarra, tenen nivells molt més elevats de contaminants que les zones de cabal més alt, per exemple Torres de Segre, on el cabal és de 145 metres cúbics per segon. Així, els nivells totals de fàrmacs determinats al riu Arga eren de 600 nanograms per litre mentre que a Torres de Segre els nivells totals eren de 150 nanograms per litre, tot i que el punt de presa de mostra de Torres de Segre es troba molt més riu avall, o sigui que rep més impactes de contaminants que en la part de Pamplona.

7. Consideracions generals sobre quantitat i qualitat de l'aigua

Com a colofó només cal dir que totes aquestes dades ens han de fer pensar i actuar sobre aquest tema. No podem continuar així perquè la situació tindrà tendència a empitjorar. Si ens preguntem què cal fer per millorar, la resposta és fàcil. D'una banda *cal reduir la contaminació en origen* tant com es pugui, tant en l'ús de fàrmacs (en aquest cas fa falta molta educació ambien-

tal i que no es llencin els productes caducats directament a la xarxa de sanejament —es calcula que això ho fa el 25-30 % de la població—), com en el cas dels pesticides per a ús agrícola. En el cas dels pesticides cal abordar el tema de l'aigua per a ús agrícola, que a Espanya representa el 63 % del consum total, amb un preu mitjà de 0,03 euros el metre cúbic. Aquí hem d'entrar en el tema de l'*agricultura sostenible* i el que representa, per exemple, l'increment del cultiu de biocombustibles en els darrers anys, que ha estat també indicat en el recent document d'escassetat d'aigua i sequera a la Unió Europea (COM (2007) 414 final). Un exemple és el del blat de moro. Espanya té aproximadament unes 561.000 ha de blat de moro que utilitzen atrazina com a plaguicida (a partir del 2004 ja no es pot utilitzar) a uns 0,44 kg/ha i per tant representa unes 246 tones/any d'atrazina. Pensem, però, que per cada quilo de blat de moro es necessiten 769 L d'aigua i que 1 ha de blat de moro necessita 7.200 m³ d'aigua per a produir 9.400 kg de blat de moro. Tenint en compte aquests càlculs, a Espanya ens calen 2.858 hm³ anuals d'aigua per a produir tot el blat de moro que tenim (a Catalunya representa unes catorze vegades menys). Per tenir una idea comparativa, aquest volum d'aigua anual que necessita el blat de moro representa tres vegades més la quantitat d'aigua que es volia transferir en el derogat Pla Hidrològic Nacional de l'Ebre i és més gran que el consum anual humà a Espanya, que s'estima en 2.700 hm³. Per tant, la reflexió és clara respecte al tema de l'increment dels cultius, i en especial dels biocombustibles, i el que això representa en quantitat d'aigua i en quantitat de contaminació al medi receptor.

En segon terme, la millora de la qualitat de l'aigua passa per una *millora considerable dels sistemes de depuració d'aigües residuals*, amb unes inversions que segurament caldrà fer aviat, utilitzant, per exemple, tecnologies de membranes, que està comprovat que milloren considerablement la qualitat de les aigües residuals. És conegut que les EDAR són les principals vies d'entrada d'aquests contaminants al medi aquàtic. És en aquest punt, doncs, on caldria centrar els esforços, cercant tecnologies de tractament alternatives que permetin aconseguir i mantenir un nivell de qualitat adequat de les aigües.

I en tercer lloc, cal trobar *alternatives de subministrament d'aigua*, com és el cas de les desaladores que ja s'han començat a construir sobretot a la costa mediterrània. En aquest sentit la que ens afecta de més a prop és la de Barcelona al Baix Llobregat, que subministrarà uns 60 hm³ anuals a Barcelona i que, barrejada amb l'aigua del riu Llobregat degudament tractada, ens ha de donar una millor qualitat de l'aigua de boca a Barcelona. L'aigua de mar, l'any 2009, representarà el 31 % del cabal que distribueix Agbar als vint-i-tres municipis metropolitans o el 17 % del consum de tota la regió hidràulica que distribueix Aigües Ter Llobregat (ATLL). En aquest sentit cal indicar que les inversions de l'Estat espanyol dins del programa AGUA representen 4.000 milions d'euros, dels quals 3.000 són destinats només a la construcció de plantes desalinitzadores. Així, mentre que el 2004 només es produïren 140 hm³ d'aigua de dessalinitzadora, es calcula que a finals del 2008 les plantes dessalinitzadores proporcionaran uns 1.000 hm³ d'aigua a tot l'Estat espanyol, que és la mateixa quantitat que es volia transvasar en el derogat Pla Hidrològic Nacional.

Els problemes d'escassetat i baixa qualitat de l'aigua s'han de començar a plantejar i ens calen solucions avui mateix; d'aquí a uns quants anys potser ja serà massa tard. Com ja han comentat diferents autors, el que segurament tenim no és una crisi de l'aigua, sinó una crisi de la gestió de l'aigua.

8. Agraïments

Aquest treball ha estat finançat per la Unió Europea (mitjançant els projectes EMCO INCO CT 2004-509188, AQUATERRA GOCE-CT-505428, P-THREE EVK1-2001-00283, MODELKEY SSPI-CT-2003-511237-2) i pel Ministeri de Ciència i Tecnologia (CTM 2004-06255-C03-01, CTM2004-06265-C03-01/TECNO i projecte CEMAGUA-CGL2007-64551/HID).

Qualitat i quantitat de l'aigua en la definició de l'estat ecològic dels sistemes fluvials

Sergi Sabater

Institut d'Ecologia Aquàtica, Universitat de Girona

Resum

El bon funcionament dels ecosistemes fluvials requereix mantenir-hi l'heterogeneïtat espacial i temporal que els és natural. Aquesta garantia passa per la restitució d'un règim natural de cabals, malgrat que l'ús actual dels recursos provoca una enorme pressió sobre els ecosistemes aquàtics. El manteniment de la integritat ecològica dels ecosistemes pot fer possible una multiplicitat de serveis gratuïts, entre aquests la capacitat de processament de nutrients i materials. Tanmateix, els sistemes poden saturar-se i perdre eficàcia quan l'arribada de materials a processar sigui excessiva. Cal retornar als ecosistemes aquàtics les seves capacitats de transformació de materials; concretament, afavorint el desenvolupament de la vegetació de ribera i la integritat del canal fluvial. Aquestes mesures poden comportar la protecció efectiva dels recursos hídrics enfront de l'excés de nutrients i altres contaminants.

Paraules clau: recurs hídric, funcions de l'ecosistema, serveis de l'ecosistema, demanda hídrica, nutrients, contaminants.

Abstract

The appropriate functioning of fluvial ecosystems requires of the maintenance of their spatial and temporal heterogeneity. Rivers need to have a natural flow pattern, though there is a huge pressure on water resources and aquatic ecosystems which alters these patterns. Maintaining the ecological integrity of ecosystems makes possible the use of their goods and services, the most relevant being the nutrient and organic matter processing. However, the ecosystems can become saturated if the input of materials is excessive, and hence show lower efficiency. Returning the whole processing capacity to the river ecosystems requires preserving the riparian vegetation and the geomorphologic integrity of the river channel. These measures can allow for the effective protection of the water resources and the buffering of nutrient and other pollutants arriving to the system.

Keywords: water resources, ecosystem function, ecosystem services, water demands, nutrients, pollutants.

1. Introducció

Parlar de què entenem per quantitat i qualitat de l'aigua és com parlar de quanta aigua flueix pels ecosistemes aquàtics i de com aquests influeixen en la seva qualitat. Les dues característiques permeten definir el destí del preuat recurs, la importància del qual evidencien les disputes socials i polítiques. I parlar de com interactuen quantitat i qualitat fa indispensable discutir la incidència del clima i de les activitats humanes en el flux de l'aigua i en l'activitat moduladora dels ecosistemes sobre aquests fluxos.

Abans d'entrar, però, a considerar aquests diferents elements ens cal definir el que s'entén per *estat ecològic*. Aquest és un concepte més aviat pràctic, que no es recull en els manuals d'ecologia, i que en el seu moment va ser formulat per la Directiva marc de l'aigua. En aquesta norma (Directiva 2000/60/CE del Parlament Europeu i del Consell) es diu que l'*estat ecològic* és una expressió de la qualitat de l'estructura i el funcionament dels ecosistemes aquàtics associats a les aigües superficials, que es classifiquen d'acord amb la composició i abundància dels organismes del fitoplàncton, fitobentos, zoobentos i els peixos. Algú es va oblidar, per cert, d'incloure els consumidors planctònics (zooplàncton) entre els elements a considerar. En tots ells l'element central és l'estructura de les comunitats. La imatge que ofereix aquest concepte és, doncs, més aviat estàtica, i es recolza en la tradició nord i centreeuropea dels organismes com a indicadors de la qualitat.

Una alternativa a aquest concepte de l'estat ecològic és la que donen els anglosaxons, i que es descriu com a *ecosystem health*, salut de l'ecosistema o integritat ecològica. Aquesta definició, tot i ser tan imprecisa com la corresponent a l'estat ecològic, ofereix una imatge més dinàmica. S'entén que un sistema amb bona salut és aquell que és capaç de mantenir la seva organització i funcionament en el temps i que és *resilient* a l'estrès (Haskell *et al.*, 1992). Per resiliència s'entén la capacitat de recuperació de l'ecosistema davant d'una pertorbació. Aquesta definició fa èmfasi de manera implícita en les *funcions* i *serveis* que poden efectuar els ecosistemes, alguns ben traduïbles en termes econòmics. Vet aquí un aspecte que els anglosaxons tenen molt present en la interacció entre ecosistemes i àmbits humans, i que normalment esquivem a l'Europa que no parla l'anglès, però que en realitat és subjacent quan parlem de l'aigua com a recurs.

Un cop aclarits aquests conceptes, passem a detallar els elements que incideixen en l'arribada i el processament de l'aigua, així com tots aquells que cal considerar en la capacitat de transformació que tenen els ecosistemes aquàtics.

2. Clima i efecte antròpic sobre els sistemes aquàtics. Un context global

Tant el clima com les activitats humanes poden constituir elements de pertorbació per als ecosistemes aquàtics. El clima reflecteix els patrons de temperatura i pluja, que al seu torn determinen els patrons de vegetació i la hidrologia. El clima, junt amb les característiques geo-

lògiques i la grandària del sistema, és el principal factor per a explicar les diferències entre sistemes arreu del món, tant pel que fa a la seva biogeoquímica (per exemple, Meybeck i Helmer, 1989) com a l'estructura biològica i al funcionament (Margalef, 1983). Tanmateix, tant com el clima determina la diversificació entre ecosistemes, les pertorbacions poden afectar-ne la dinàmica i influir sobre la seva estructura biològica. Les pertorbacions naturals, ja siguin hidrològiques (per exemple, sequeres, avingudes) com d'un altre tipus (per exemple, allaus, focs, etc.), causen efectes que —generalment— poden ser assumits pels ecosistemes segons la seva naturalesa dinàmica (Margalef, 1983). Evidentment, existeixen pertorbacions de tal intensitat que no poden ser assumides per la biota i que causen una completa reinicialització del sistema. Thornycraft *et al.* (2005), analitzant els dipòsits paleosedimentaris del riu Llobregat, descriuen que la més gran de les avingudes enregistrades en temps moderns al riu a l'alçada de Pont de Vilomara (1971; $2.300 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) fou excedida en cinc ocasions al llarg dels darrers 2.700 anys, amb descàrregues d'entre 3.700 i $4.300 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Considerant que el cabal mitjà que transporta el Llobregat és de $21 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, aquests episodis d'inundació aporten entre 100-200 més vegades el cabal que el riu transporta normalment, i per tant poden causar una completa reinicialització en l'estructura i el funcionament de l'ecosistema.

Les pertorbacions de la mà de l'home són ben diverses i tenen diferents modes d'acció (enriquiment de nutrients, aparició de tòxics, acidificació, invasions d'espècies, alteració de l'hàbitat...). La peculiaritat d'aquestes pertorbacions és que els seus efectes perdurables i extensius (canalitzacions, assecament de zones humides, contaminació crònica), comporten una alteració profunda i irreparable de l'estructura biològica i del funcionament de l'ecosistema fluvial. És aquesta persistència extensiva el que és inhabitual en les pertorbacions d'origen natural. Els sistemes «emmalalteixen» a causa d'aquestes pertorbacions intenses, i esdevenen molt més vulnerables a l'aparició de noves pertorbacions que d'altres que no ho estiguin.

Com ja suggeria Margalef, els principals problemes que afronten els ecosistemes fluvials tenen a veure amb l'alteració profunda del seu hàbitat i el manlleu dels recursos, expressat en canalitzacions, detraccions i manipulacions, tant en termes físics que afecten l'hàbitat com pel que fa a l'ús excessiu de l'aigua. Moltes d'aquestes possibles manipulacions les podem resumir a través de les alteracions del cicle de l'aigua. No és que importi excessivament el que passa amb els reservoris (quantitats totals) del cicle, però sí, i molt, el que passa amb els fluxos (el que circula) entre els diferents compartiments. Cal recordar que sols el que circula a escala global cap als continents i que no és evapotranspirat (aproximadament uns $40.000 \text{ km}^3 \text{ a}^{-1}$) és en principi aprofitable, i per tant on cal dirigir l'anàlisi.

Avui en dia, aproximadament un 15 % dels cabals mundials (els $40.000 \text{ km}^3 \text{ a}^{-1}$ a què fèiem referència) és retingut en 45.000 grans embassaments (definitos com aquells amb preses de més de 15 m d'alçada; Nilsson *et al.*, 2005). D'aquests, fins a un 10 % és retirat (Vörösmarty i Saha-gian, 2000) per a diferents usos (irrigació, aigua de boca, etc.). Resultat d'aquestes manipulacions i del subsegüent ús d'aquests cabals per a la irrigació, fins a un 6 % es perd per evaporació (Dynesius i Nilsson, 1994). Com a dany col·lateral d'aquesta utilització de recursos hídrics,

fins a un 52 % del total de la superfície ocupada pels grans rius mundials (definites com els que porten cabals més grans de $350 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) és fortament modificada per canals, repeses, etc. Com és obvi per la seva llarga història d'ús dels recursos naturals, Europa és el continent amb la major proporció de segments de riu regulats. Els impactes de la regulació poden ser particularment evidents en sistemes àrids i semiàrids. Un exemple dramàtic és el del riu Groc (Fu *et al.*, 2004); en aquest riu, el 1997, un any particularment sec, la llera fluvial restava seca al llarg d'uns 700 km, i va estar en aquesta situació de manera continuada durant 330 dies. Sense anar tan lluny, rius de la conca mediterrània com el Xúquer i el Segura arriben completament secs al mar, evidenciant la intercepció dels cabals que s'hi produeix.

Els canvis relacionats amb el canvi climàtic global tampoc no poden ser menystinguts. Tot i que els cabals fluvials experimenten canvis cíclics, que dificulten la interpretació de l'anàlisi de les sèries temporals, hom pot dir que el cabal dels rius mundials ha experimentat un increment de mitjana (Labat *et al.*, 2004), per bé que aquest increment està irregularment repartit entre els diferents continents. Sembla que, mentre que a latituds altes els cabals s'incrementarien notablement, en latituds temperades i tropicals els cabals experimentarien reduccions (Nijssen *et al.*, 2001; Peterson *et al.*, 2002; Gordon *et al.*, 2005). És obvi que les variacions lligades als canvis climàtics generals reforçarien els efectes de la retirada de cabals per l'home. En definitiva, ens trobaríem davant la possibilitat de fortes i esteses alteracions de cabals en els rius mundials, amb conseqüències per al seu correcte funcionament hidrològic.

La regulació dels sistemes fluvials causa l'increment del temps de residència global de l'aigua, i du a l'existència d'aigües de més «edat» (Vörösmarty i Sahagian, 2000), és a dir que triga més temps a ser renovada (des de 16-26 dies en rius no regulats fins a 60 dies en rius regulats). Aquesta transformació global del caràcter fluvial des de lòtic (aigües corrents) fins a lenític (aigües estagnants) comporta òbviament altes pèrdues evaporatòries (especialment en terres àrides i semiàrides), canvis en el transport de sediments i en els processos biogeoquímics globals, i alteracions en el funcionament biològic. L'augment del temps de residència de l'aigua pot causar l'increment de la desnitrificació i també de la metanogènesi, amb conseqüències òbvies en l'increment dels gasos hivernacle tals com el metà i l'òxid nítrós (Freeman *et al.*, 2004). L'arribada de sediments al mar és interferida per la presència dels obstacles als sistemes fluvials (Syvitski *et al.*, 2005). En algunes àrees aquesta retenció mostra percentatges remarcables, com a la Mediterrània, on arriba a un 30 % de reducció en el transport, la major part deguda a pèrdues en l'Ebre i en el Nil. Vet aquí que, en una paradoxa ben aparent, els rius mundials transporten més sediments (a causa de les pràctiques forestals i agrícoles i altres activitats humanes), però aquest sediment no arriba al mar per la presència dels embassaments (Syvitski *et al.*, 2005).

La dinàmica hidrològica dels rius pot ser fortament afectada per la regulació i les detracions de cabals, amb la pèrdua de pics de cabal i el consegüent increment de l'estabilitat hidrològica (Vörösmarty i Sahagian, 2000). Encara que aquesta major regularitat pugui semblar positiva d'entrada, va en contra de la dinàmica hidrològica natural del riu i tindrà el seu reflex en la dinàmica biològica. La interferència en els fluxos del cicle de l'aigua té també a veure amb la disper-

sió i la diversitat dels organismes (Pringle, 1997). Les avingudes proporcionen oportunitats per als organismes colonitzadors i reinicien la successió ecològica (Margalef, 1983), que desapareixen amb l'estabilitat forçada. Els rius que drenen conques impermeabilitzades esdevenen més torrencials (Walsh *et al.*, 2005) i són menys eficients en la retenció de nutrients en els canals fluvials i a les zones ripàries (Burt i Pinay, 2005).

En definitiva, les alteracions dels fluxos del cycle de l'aigua poden comportar les següents implicacions:

- Increment de l'escorrentia global, però irregularment distribuïda entre continents.
- Detracció global de l'aigua renovable entorn del 10 % del flux.
- Alteracions de l'hàbitat fluvial, particularment irreversibles en sistemes àrids i semiàrids.
- Increment de la taxa de sedimentació fluvial i del temps de residència de l'aigua (de tres a cinc cops més gran en condicions regulades).
- Alteració dels cycles biogeoquímics dels nutrients, i àmplies i desconegudes conseqüències relacionades amb l'arribada de nous contaminants.
- Implicacions sobre la diversitat i el funcionament biològic dels sistemes.

3. Clima i efecte antròpic sobre els ecosistemes aquàtics a Catalunya

Molts dels aspectes assenyalats en l'apartat anterior els podem analitzar en el context de Catalunya. És obvi que les variacions de cabal que es poden seguir al llarg del temps són l'expressió de les corresponents alteracions en els fluxos del cycle de l'aigua. Un exemple el podem trobar en l'evolució temporal dels cabals de l'Ebre (vegeu la figura 1). Amb la lògica interrupció dels anys de la Guerra Civil i els immediatament posteriors, aquest és un dels registres més complets dels cabals dels rius a Catalunya. Una succinta anàlisi dels patrons temporals mostra un cert descens del cabal (Gallart i Llorens, 2004) des dels anys 50 fins a l'actualitat. Ara bé, a què pot deure's aquesta disminució de cabals al riu? És difícil determinar un únic responsable d'aquest progressiu descens. Probablement, com assenyalen Gallart i Llorens (2004), les causes són múltiples: una menor precipitació a la conca (canvi climàtic), l'increment de la coberta forestal a la conca (i per tant una major evapotranspiració), causada pels canvis en els usos del sòl, i finalment el major consum de l'aigua a la conca. En conjunt es dona una disminució del cabal en transport i una paral·lela alteració de la dinàmica fluvial. El menor cabal circulant —principalment en moments d'estiatge— pot determinar rellevants variacions en la dinàmica física del riu, que no es pot deslligar de problemes notables, com el creixement massiu de macròfits i l'aparició de la mosca negra en la seva part baixa.

L'exemple de l'Ebre és paradigmàtic del que succeeix al conjunt de Catalunya. És il·lustratiu examinar els grans números del que representa l'ús dels recursos hídrics a Catalunya. El consum d'aigua a Catalunya (1999) arribava als $3.123 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ any}^{-1}$, quantitat que quan es considera la població de 6.812.622 habitants (2004) dona la fabulosa xifra de 458 m^3 consumits per habi-

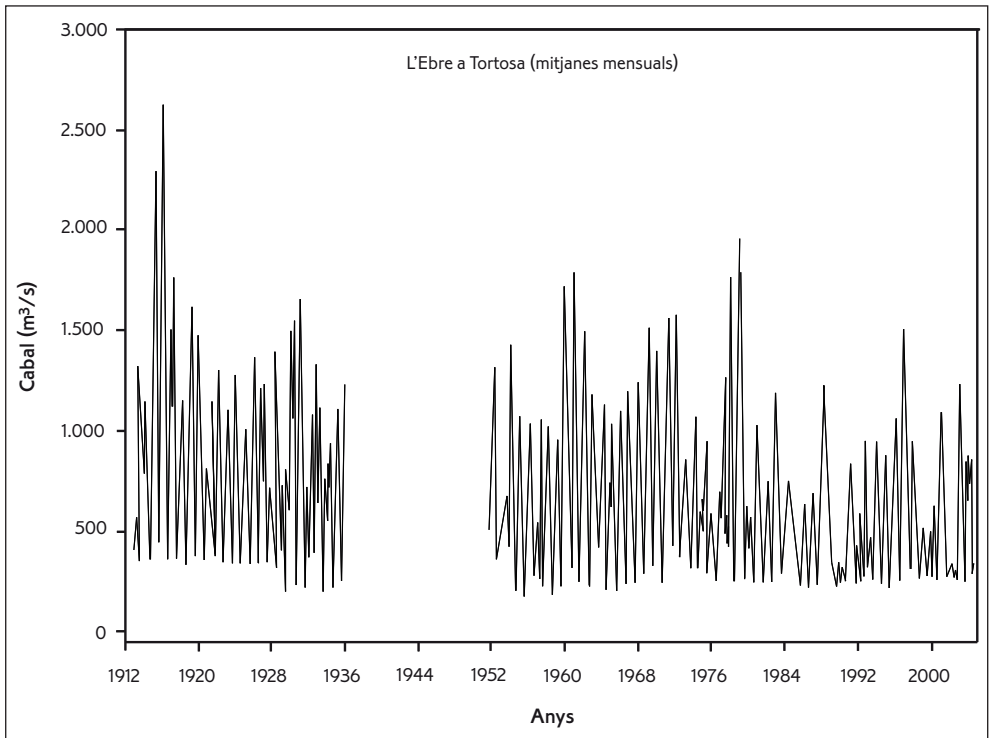


FIGURA 1. Evolució dels cabals mensuals de l'Ebre a Tortosa, segons les dades disponibles de la Confederació Hidrogràfica de l'Ebre.

tant a l'any. En realitat, aquesta xifra inclou les despeses agrícoles (més del 70 %; ACA, 2002), urbanes i industrials, i ens diu poc de l'impacte que aquesta pressió pot tenir sobre els ecosistemes aquàtics. Ens podem aproximar millor a aquest efecte si considerem els recursos hídrics disponibles al territori (calculats a partir de les dades de l'ACA, 2002):

- Recursos superficials de conques internes i riu Segre: $10730 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ any}^{-1}$
- Recursos superficials de CI, riu Segre i riu Ebre: $22604 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ any}^{-1}$
- Recursos subterranis: $2148 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ any}^{-1}$

El simple quocient entre els recursos disponibles i el consum efectuat dona les següents xifres:

- Percentatge usat del recurs considerant recursos superficials CI i subterranis: 36,4 %
- Percentatge usat del recurs considerant recursos subterranis i superficials de CI i del Segre però no de l'Ebre: 29,1 %
- Percentatge usat del recurs considerant recursos subterranis i superficials de CI, del Segre i de l'Ebre: 13,8 %

Hom pot pensar quina de les tres possibles xifres és la més realista en funció dels recursos i demandes. En realitat, molts dels recursos subterranis són poc disponibles per la seva baixa qualitat en moltes àrees, sobretot a causa de les grans concentracions de nitrats (Custodio,

2006). Tampoc és realista plantejar l'ús integral dels recursos de l'Ebre ja que el repartiment territorial de l'aigua no permet decisions d'aquesta mena. De manera que les estimacions que probablement millor reflecteixen la realitat de l'ús del recurs se situen en el 30 % dels recursos disponibles reals. Això representa que més d'un terç de l'aigua que es renova cada any a Catalunya és interceptada i derivada, usada per a la irrigació o com a aigua de boca. En definitiva, més d'un terç de l'aigua ja no circula pels sistemes naturals sinó que segueix un circuit artificial, i una part no es reincorpora als ecosistemes (pèrdues netes per evaporació) o canvia de conca (transvasaments efectius entre conques, com la del Ter i el Besòs). A més, l'aigua usada que torna als sistemes fluvials ho fa amb notables alteracions de la seva qualitat química.

Podem comparar aquests percentatges amb les estimacions globals que comentàvem en l'apartat anterior, i que estaven entorn del 10 %, per veure la gravetat de la pressió sobre els sistemes aquàtics a Catalunya. En qualsevol d'aquests tres casos, la pressió sobre els recursos pot

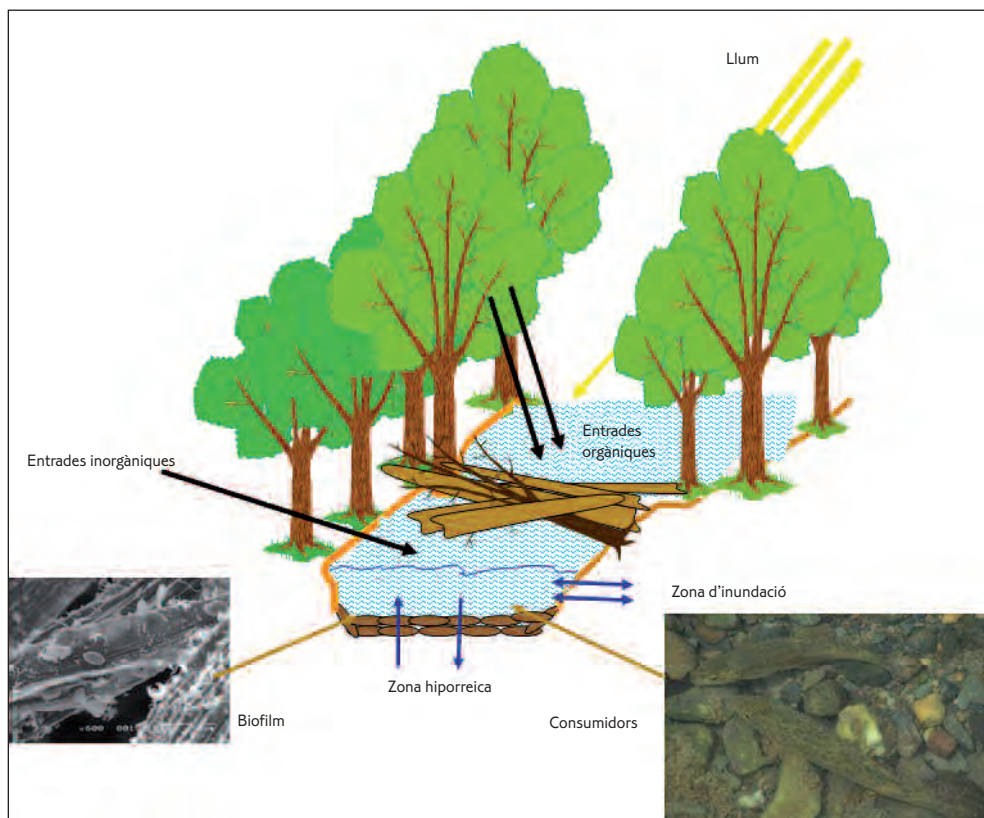


FIGURA 2. Elements que configuren un sistema fluvial, tal com es podria trobar en un tram en condicions no alterades. En essència, hom pot diferenciar el canal pròpiament dit i la franja de ribera que l'acompanya. Els elements biològics (productors primaris, consumidors, etc.) estan íntimament associats a l'estat de l'hàbitat fluvial.

qualificar-se des de gran fins a exagerada i insostenible. A això cal afegir-hi que la distribució de les precipitacions a Catalunya és irregular: hi ha un gradient de nord a sud de disminució de les precipitacions (ACA, 2002), així com una gran irregularitat entre anys secs i anys humits que complica les previsions i disponibilitats dels recursos o que influeix diferencialment en la pressió sobre els ecosistemes (vegeu la figura 2). Tots dos factors configuren la disponibilitat dels recursos hídrics, que és baixa, i distribueixen la pressió sobre aquests recursos de manera irregular en el territori. En resulta una enorme pressió sobre els sistemes aquàtics i un seguit de greuges territorials, ara per ara discrets però que poden agreujar-se en el futur si no hi ha voluntat de rectificació.

4. Quins serveis aporta la integritat ecològica dels sistemes aquàtics a la qualitat de l'aigua?

Com es deia a la introducció, hi ha un corrent emergent que estima els potencials serveis dels ecosistemes en termes econòmics. Tot i que entrar en el detall del valor econòmic queda fora de l'interès inicial d'aquest article, aquesta aproximació ha permès demostrar que el manteniment de l'estat òptim d'alguns ecosistemes aquàtics és més rendible que alterar-los (Barbier, 1993), si en el càlcul corresponent es consideren els serveis que aquests proporcionen. Sigui com sigui, sí que és rellevant reflexionar sobre els serveis que es reconeixen als ecosistemes aquàtics i que arriben —per entendre'ns— de manera gratuïta. Pel que fa específicament als serveis, Costanza *et al.*, (1997), en un article ja clàssic a *Nature*, indicava els següents, que podem identificar com a propis dels ecosistemes aquàtics:

- Regulació de gasos amb efecte d'hivernacle
- Regulació del clima
- Regulació de les perturbacions naturals
- Disponibilitat d'aigua per a l'ús humà
- Reciclatge de nutrients
- Tractament de materials orgànics i inorgànics
- Producció de menjar (pesca, etc.) i altres recursos (fusta)
- Lleure i cultura

Per bé que detallar-los tots seria excessiu, vegem-ne alguns exemples relacionats amb el reciclatge de nutrients que arriben als cursos fluvials.

Un sistema fluvial es pot considerar en estat òptim o íntegre quan els seus diferents elements efectuen les seves respectives funcions de manera correcta i resilient. El riu és, per les seves pròpies característiques, un sistema dinàmic i complex, la qual cosa vol dir que té una marcada capacitat d'adaptació després de les perturbacions. Dinàmic, ja que els seus principals elements (zona de ribera, canal fluvial, zona d'inundació; vegeu la figura 2) canvien físicament en el temps, principalment perquè la hidrologia imprimeix una gran variabilitat en la distribució dels substrats i dels materials que arriben. Concordantment, la biota associada varia d'acord amb l'arribada de materials (matèria orgànica des de la zona de ribera o des dels sistemes terrestres veïns) i amb

la disponibilitat d'energia (llum, especialment, però també corrent de l'aigua). Aquesta variabilitat temporal es complementa amb una gran complexitat espacial, ja que el riu és heterogeni per les seves zones superficials (aigua lliure), amb alternança de ràpids i pous, meandres, etc., i per les subterrànies (hiporreic). Més enllà del canal fluvial el riu manté una significativa connexió hidrològica amb zones d'inundació, meandres abandonats, etc.

Un dels principals elements de l'ecosistema fluvial, la *zona de ribera*, és una autèntica *interfase* entre els sistemes terrestres veïns, l'aigua freàtica i el canal fluvial. La vegetació de ribera és un obstacle formidable a l'entrada de materials particulats (especialment sediments) i dissolts (fosfats, nitrats). En particular, la desaparició dels nitrats per la zona de ribera té unes eficiències espectaculars. L'eficiència de captació per la franja de ribera pot arribar al 10-30 % dels nitrats entrats per metre transversal de zona de ribera (Sabater *et al.*, 2003a), quan es donen condicions favorables. Aquesta gran eficiència en la reducció de nitrats és bàsicament a causa de dos processos biològics: la utilització dels nutrients per la vegetació terrestre i la desnitrificació que es produeix en el sòl. En el primer cas, l'evapotranspiració comporta la incorporació de nutrients per les plantes en el període vegetatiu. En el segon, l'eliminació del nitrogen des del sòl (desnitrificació) es dona en sòls humits (per tant periòdicament anòxics), rics en matèria orgànica i en nitrats. Mentre que el primer procés representa un moviment del nitrogen des de l'aigua freàtica a les fulles i altres òrgans de les plantes, en el segon cas hi ha una pèrdua neta de nitrogen des de l'aigua a l'atmosfera. Hom ha vist que aquesta capacitat transformadora de nitrogen es fa possible malgrat que la variabilitat temporal del freàtic en les àrees mediterrànies causi la periòdica desconexió amb l'aigua superficial durant l'estiatge (Butturini *et al.*, 2003), o malgrat la sequedat del sòl (tan comuna en els nostres sistemes mediterranis), que limita la desnitrificació. En tot aquest procés l'amplada i la conservació de la zona de ribera són elements clau que defineixen la seva eficiència. Hi ha límits a la retenció de nitrats per les zones de ribera, principalment per causa d'un excés de nitrats al freàtic, que causen la saturació dels processos descrits i per tant el seu mal funcionament (Sabater *et al.*, 2003a). També l'extrema desconexió entre les aigües subterrànies i el sòl, abans descrit com a normal, poden inhabilitar tot el sistema quan són persistents (per exemple, a causa de la sobreexplotació dels aqüífers).

Un dels arguments que s'ha fet servir per a resistir-se a la restitució de les franges arbrades al territori és que comporten una elevada pèrdua d'aigua, i que és un recurs massa preuat per a deixar que s'evapori-evapotranspiri. Algú va pensar fa temps que una manera rellevant d'incrementar els recursos podia consistir a eliminar completament la franja de ribera d'arreu, com si l'única cosa que realment importés fos la quantitat d'aigua disponible. És cert que els arbres de ribera evapotranspiren en grans quantitats, i per tant fan disminuir el potencial d'escorrentia, però l'avaluació d'aquesta pèrdua no pot menystenir el gran estalvi que es produiria en el conjunt d'una conca si aqüífers ara mateix contaminats pels nitrats haguessin restat protegits per una eficaç coberta vegetal. Per tant, restituir —en una elaborada planificació del territori— franges arbrades d'amplada significativa en molts cursos fluvials és de fet una de les maneres més eficaces (i barates!) d'incrementar la qualitat de l'aigua disponible.

Un segon element essencial de l'ecosistema fluvial és el *canal fluvial*, que resta estretament relacionat amb el devenir de la zona de ribera. En un estudi en rius nord-americans (Sweeney *et al.*, 2004), s'ha observat que la retirada de la vegetació de ribera està relacionada amb l'estretament del canal fluvial i per tant amb la reducció de l'hàbitat disponible per als organismes. Totes les característiques que hi estan associades (disminució del processament de la matèria orgànica, menor incorporació de nutrients, afectació en l'abundància de peixos, etc.) tenen a veure amb l'alteració. La correcta dinàmica del riu ha d'assegurar la variabilitat de materials al riu i la transformació de materials que s'hi dona de manera natural.

L'organització funcional del riu canvia en el temps en funció dels materials que rep i de l'energia que és capaç d'interceptar. En conjunt, l'ecosistema fluvial és altament eficient. Per exemple, els rius mostren una elevada capacitat de transformació de materials inorgànics. Els productors primaris són uns assimiladors molt eficients dels nutrients que entren a l'aigua. Un càlcul de l'assimilació de nutrients (fòsfor) que pot efectuar una comunitat de productors primaris en un riu en estat òptim és ben il·lustratiu d'aquesta capacitat. L'assimilació de fòsfor que pugui efectuar una comunitat de productors primaris (algues bentòniques) de biomassa 50-75 mg Chl⁻¹ m⁻² es mou en un rang de 10-50 µg P mg Chl⁻¹ h⁻¹. Una estimació conservativa de sis hores de llum i de la corresponent producció primària permet estimar que un riu que rebés 100 µg P/L (és a dir, una càrrega diària de 216 g de fòsfor) tan sols necessitaria 1.646 metres lineals de riu recoberts d'aquesta comunitat per a ser incorporats completament.

La capacitat de transformació de materials que ofereixen els ecosistemes aquàtics té uns límits ben definits. Un exemple del que passa quan es trenca la integritat ecològica el podem trobar al riu Llobregat. En aquest sistema, es dona des de fa anys cada hivern un creixement de masses de cianobacteris (Sabater *et al.*, 2003b) que ocupen completament la llera fluvial. El gran creixement d'aquests cianobacteris (de 300 a 400 mg de clorofil·la per metre quadrat) es dona en circumstàncies de baixa dinàmica hidrològica (poc cabal, repeses) i d'altres concentracions de nutrients (especialment, fòsfor). Com a conseqüència indesitjada d'aquest creixement en resulta la producció d'un metabòlit olorós, tot i que innocu per a la salut dels animals i de l'home, que és la geosmina. Aquest metabòlit té un nivell de detecció per l'olfacte humà de tan sols 4 ng/L, mentre que les concentracions que assoleix al riu són de més de 100 ng/L. L'eliminació d'aquest metabòlit és reclamada pels usuaris (que esperen que l'aigua de les aixetes sigui incolora, inodora i insípida, com diu la legislació!), que en canvi es troben olor de florit per causa de la geosmina. L'eliminació de la molècula de geosmina a nivells per sota de la detecció olfactiva sols és possible mitjançant tècniques de tractament amb carbons actius. La prevenció requeriria solament restablir la dinàmica hidrològica del riu així com efectuar un major control de l'arribada dels nutrients en origen. L'una és ben costosa, l'altra fóra gratuïta.

5. Conclusions

— El bon funcionament dels ecosistemes requereix garantir-los l'heterogeneïtat espacial i temporal que els és natural. Aquesta garantia passa per la restitució d'un règim natural de cabals.

— La distribució de l'ús dels recursos actual afavoreix una enorme pressió sobre els ecosistemes aquàtics, la qual cosa pot portar al límit el funcionament dels ecosistemes.

— La integritat ecològica dels ecosistemes ofereix una enorme capacitat de processament de materials. Tanmateix, els sistemes poden saturar-se i perdre eficàcia quan l'arribada de materials per processar sigui excessiva.

— Cal retornar als ecosistemes aquàtics les seves capacitats de transformació de materials. En concret, afavorir el desenvolupament de la vegetació de ribera i la integritat del canal fluvial pot comportar la protecció efectiva dels recursos enfront de la contaminació de nutrients i altres contaminants.

Referències bibliogràfiques

- BARBIER, E. B. (1993). «Sustainable use of wetlands. Valuing tropical wetland benefits: Economic margin methodologies and applications». *The Geographical Journal*, núm. 159, p. 22-32.
- BURT, T. P.; PINAY, G. (2005). «Linking hydrology and biogeochemistry in complex landscapes». *Progress in Physical Geography*, núm. 29, p. 297-316.
- BUTTURINI, A.; BERNAL, S.; NIN, E.; HELLIN, C.; RIVERO, L.; SABATER, S.; SABATER, F. (2003). «Influences of the stream groundwater hydrology on nitrate concentration in unsaturated riparian area bounded by an intermittent Mediterranean stream». *Water Resources Research*, núm. 39, p. 1-13.
- COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R. V.; PARUELO, J.; RASKIN, R. G.; SUTTON, P.; BELT, M. VAN DEN (1997). «The value of the world's ecosystem services and natural capital». *Nature*, núm. 387, p. 253-260.
- CUSTODIO, E. (2006). «Consideracions sobre la contaminació de les aigües subterrànies a Catalunya: un problema de sostenibilitat». A: RAYÓN, F.; DOLZ, J. [ed.]. *L'aigua a Catalunya: Una perspectiva per als ciutadans*. Barcelona: Agbar.
- DYNESIUS, M.; NILSSON, C. (1994). «Fragmentation and flow regulation of river systems in the Northern Third of the World». *Science*, núm. 266, p. 753-762.
- FREEMAN, C.; FENNER, N.; OSTLE, N. J.; KANG, H.; DOWRICK, D. J.; REYNOLDS, B.; LOCK, M. A.; SLEEP, D.; HUGHES, S.; HUDSON, J. (2004). «Dissolved organic carbon export from peatlands under elevated carbon dioxide levels». *Nature*, núm. 430, p. 195-198.
- FU, G. B.; CHEN, S. L.; LIU, C. M.; SHEPARD, D. (2004). «Hydro-climatic trends of the Yellow River basin for the last 50 years». *Climatic Change*, núm. 65, p. 149-178.
- GALLART, F.; LLORENS, P. (2004). «Observations on land cover changes and the headwaters of the Ebro catchment, water resources in Iberian Peninsula». *Physics and Chemistry of the Earth*, núm. 29, p. 769-773.

- GORDON, L. J.; STEFFEN, W.; JONSSON, B. F.; FOLKE, C.; FALKENMARK, M.; JOHANNESSEN, A. (2005). «Human modification of global water vapor flows from the land surface». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, núm. 102, p. 7612-7617.
- HASKELL, B. D.; NORTON, B. G.; COSTANZA, R. (1992). «What is ecosystem health and why should we worry about it?» A: COSTANZA, R.; NORTON, B. G.; HASKELL, B. D. [ed.]. *Ecosystem health*. Washington: Island Press.
- LABAT, D.; GODDERIS, Y.; PROBST, J. L.; GUYOT, J. L. (2004). «Evidence for global runoff increase related to climate warming». *Advances in Water Resources*, núm. 27, p. 631-642.
- MARGALEF, R. (1983). *Limnología*. Barcelona: Omega.
- MEYBECK, M.; HELMER, R. (1989). «The quality of rivers: from pristine stage to global pollution». *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, núm. 75, p. 283-309.
- NUSSEN, B.; O'DONNELL, G. M.; HAMLET, A. F.; LETTENMAIER, D. P. (2001). «Hydrologic sensitivity of global rivers to climate change». *Climatic Change*, núm. 50, p. 143-175.
- NILSSON, C.; REIDY, C. A.; DYNESIUSAND, M.; REVENGA, C. (2005). «Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems». *Science*, núm. 308, p. 405-408.
- PETERSON, B. J.; HOLMES, R. M.; MCCLELLAND, J. W.; VÖRÖSMARTY, C. J.; LAMMERS, R. B.; SHIKLOMANOV, A. I.; SHIKLOMANOV, I. A.; RAHMSTORF, S. (2002). «Increasing river discharge to the Arctic Ocean». *Science*, núm. 298, p. 2171-2173.
- PRINGLE, C. M. (1997). «Exploring how disturbance is transmitted upstream: Going against the flow». *Journal of the North American Benthological Society*, núm. 16, p. 425-438.
- SABATER, S.; BUTTURINI, A.; CLEMENT, J. C.; BURT, T.; DOWRICK, D.; HEFTING, M.; MAITRE, V.; PINAY, G.; POSTOLACHE, C.; RZEPECKI, M.; SABATER, F. (2003a). «Nitrogen removal by riparian buffers along a European climatic gradient: Patterns and factors of variation». *Ecosystems*, núm. 6, p. 20-30.
- SABATER, S.; VILALTA, E.; GAUDES, A.; GUASCH, H.; MUÑOZ, I.; ROMANI, A. (2003b). «Ecological implications of mass growth of benthic cyanobacteria in rivers». *Aquatic Microbial Ecology*, núm. 32, p. 175-184.
- SWEENEY, B. W.; BOTT, T. L.; JACKSON, J. K.; KAPLAN, L. A.; NEWBOLD, J. D.; STANDLEY, L. J.; HESSION, W. C.; HORWITZ, R. J. (2004). «Riparian deforestation, stream narrowing, and loss of stream ecosystem services». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, núm. 101, p. 14132-14137.
- SYVITSKI, J. P. M.; VÖRÖSMARTY, C. J.; KETTNER, A. J.; GREEN, P. (2005). «Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean». *Science*, núm. 308, p. 376-380.
- THORNDY CRAFT, V. R.; BENITO, G.; RICO, M.; SOPEÑA, A.; SÁNCHEZ-MOYA, Y.; CASAS, A. (2005). «Long-term flood discharge record derived from slackwater flood deposits of the Llobregat River, NE Spain». *Journal of Hydrology*, núm. 313, p. 16-31.
- VÖRÖSMARTY, C. J.; SAHAGIAN, D. (2000). «Anthropogenic disturbance of the terrestrial water cycle». *Bio-science*, núm. 50, p. 753-765.
- WALSH, C. J.; ROY, A. H.; FEMINELLA, J. W.; COTTINGHAM, P. D.; GROFFMAN, P.; MORGAN, R. P. (2005). «The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure». *Journal of the North American Benthological Society*, núm. 24, p. 706-723.

Aspectes científicotècnics de la reutilització d'aigües residuals

Miquel Salgot i Montserrat Folch

Institut de Recerca de l'Aigua de la Universitat de Barcelona, Unitat d'Edafologia,
Facultat de Farmàcia, Universitat de Barcelona

Resum

La reutilització d'aigües residuals està esdevenint una eina política, econòmica i hídrica per a arreglar en part l'escassetat de recursos d'aigua en les zones àrides i semiàrides o en aquelles en què els recursos naturals no són suficients per a cobrir la demanda.

És necessari, però, conèixer les limitacions associades a la pràctica, des de les tecnologies que cal emprar fins als perills i riscos que s'han de determinar i els condicionants socials, econòmics, ecològics i legislatius que es poden trobar en la nostra societat, tant a Catalunya com a Espanya, i en d'altres que ens estan en certa manera associades, com el nord de l'Àfrica.

Cal considerar que la reutilització no és una panacea i no resoldrà molts dels problemes presents, però pot contribuir a alleujar-los.

Paraules clau: reutilització, ciència, tecnologia, tècnica, aigües residuals, regeneració.

Abstract

Wastewater reuse is becoming a political, economic and water-related tool which is at present used to manage water resources scarcity in arid and semiarid areas or where conventional water resources are unable to cover water demand.

Nevertheless, reuse practice has several drawbacks which must be known; from the technologies to be used for reclamation purposes to the hazards and risks to be considered and the social, economic, ecological and legal aspects encountered in the society. All these aspects and characteristics are found either in Catalonia or in Spain, and also in other associated areas, like in North Africa.

It is to consider that wastewater reuse is not a panacea, and will not be capable to solve water scarcity problems, but can help to alleviate it.

Keywords: reuse, science, technology, technique, wastewater, reclamation.

Introducció

La reutilització de les aigües residuals tractades s'està intentant implantar en molts llocs del món per tal de fer front a les incerteses associades actualment amb la capacitat de subministrament de recursos hídrics.

Encara que es tracti d'una pràctica coneguda des del temps dels grecs i romans, i possiblement abans en la civilització minoica, no es va aconseguir modernament de generalitzar-la fins als darrers decennis del segle xx.

El mateix concepte de reutilització —donar un nou ús a una aigua ja feta servir— es pot aplicar a tot el cicle de l'aigua en el globus terraquí, ja que aquest és una estructura pràcticament tancada excepte per a l'energia i podem considerar que no hi ha pèrdues de matèria sòlida cap a l'exterior del planeta.

D'altra banda, l'avançament present de les ciències ha permès d'esbrinar que estem definint una pràctica que es podria associar fàcilment a la transmissió de malalties i a diverses toxicitats.

Malgrat que es tracti d'una activitat amb prou història, hi ha encara moltes incerteses que cal definir i que demanen molta més recerca, tant en aspectes teòrics com pràctics. La demanda de seguretat en la pràctica de la reutilització per part de molts dels seus actors està fent que en certa manera se n'estiguin exagerant els perills i riscos. Cal una aproximació més integrada als processos, pràctiques, control i formació relacionats amb la reutilització.

Recursos d'aigua

L'aigua regenerada és un recurs «no convencional», com l'aigua dessalinitzada i en contraposició a les aigües superficials i subterrànies. Des del punt de vista d'una planificació lògica del cicle antròpic s'hauria d'intentar acoblar les necessitats d'extracció del medi amb les necessitats pròpies de la massa d'aigua d'on s'extreuen els recursos convencionals, considerant la presència de recursos no convencionals, cosa que s'anomena *gestió integrada*. De fet, els recursos no convencionals permeten reduir la dependència dels recursos convencionals i mantenir els darrers en bon estat.

No es pot parlar de manera aïllada dels dos tipus de recursos, ja que sovint són complementaris; per exemple, en el moment en què es dessalinitzen aigües més o menys salabroses i es fan servir en la indústria o per a usos domèstics, la salinitat del conjunt aigua d'abastament/aigua residual es reduirà notablement.

Gestió i tractaments

Per a la gestió dels recursos, cal tecnologia i cal ciència. L'extensió de l'ús de tecnologia emprada en el cicle antròpic depèn gairebé sempre de la qualitat de la matèria primera, l'aigua.

En les zones on l'aigua està molt contaminada (parts finals de conques, després de grans nuclis habitats...) cal emprar molta tecnologia i en conseqüència molts diners per a tractar l'aigua, mentre que en les parts altes de les conques i en zones poc habitades la inversió en tecnologia i operació és molt més reduïda. Cada cop més, es té la certesa que els dos tipus de tractaments que es donen normalment a l'aigua (per a proveïment i per a depuració) es complementen i que la inversió en un redueix la de l'altre.

D'altra banda, la ciència ens permet de conèixer, entre moltes altres coses, la qualitat de l'aigua al llarg de tot el cicle antròpic i també la influència que l'aigua té en els ecosistemes que hi estan associats. La quantitat i qualitat de microorganismes també són objecte de la ciència, en aquest cas l'ecologia.

La qualitat necessària (i en conseqüència el tractament) de l'aigua és governada per la normativa que fixa la qualitat dels diferents tipus de recursos en funció de l'ús (abastament a població, indústria, agricultura, lleure...) o de la destinació final (vessament a rius, llacs, mar...). Secundàriament, la ciència fixarà els volums d'aigua mínims que cal deixar en els sistemes naturals i que permeten la subsistència dels ecosistemes hídrics.

De tota manera, les necessitats creixents del recurs «aigua de bona qualitat» poden arribar a excedir, i sovint ho fan, la capacitat dels medis naturals de subministrar-ne. En conseqüència, per tal de satisfer les necessitats de la societat (usos domèstics, indústria, agricultura, lleure...) cal recórrer a recursos no convencionals, com es fa amb la recuperació (reutilització) de les aigües residuals o els processos de dessalinització. El plantejament en aquest punt és la sostenibilitat del procés, ja que el consum d'energia i reactius de determinades tecnologies és prou elevat. Una anàlisi completa del cicle de vida dels processos implicats pot donar resultats contradictoris amb les decisions que es volen establir pel que fa a l'energia o la sostenibilitat. La gestió conjunta dels diferents tipus de recursos permet, o hauria de permetre, reduir la pressió sobre els sistemes naturals.

En tot cas, hi ha una sèrie d'elements tangibles i intangibles que no admeten discussió ni consideracions de preu, com és l'abastament continu d'aigua potable i la seva relació amb la salut o la confiança necessària de la població en la qualitat i quantitat de l'abastament.

Pel que fa al sanejament, cal decidir si només recull les aigües residuals o també hi entren les aigües de pluja, o bé s'inclouen en el sistema dipòsits per a la regulació dels cabals recollits en episodis de pluja. Les xarxes de sanejament apareixen a partir d'un determinat nombre d'habitants, per al sanejament comunitari. La responsabilitat de la xarxa de sanejament «en baixa» és dels municipis, mentre que a partir dels col·lectors ja és d'instàncies superiors. Sempre cal controlar què entra en les xarxes de sanejament, ja que alguns contaminants com els metalls pesants no es poden eliminar posteriorment amb facilitat.

La qualitat de l'aigua residual en la xarxa pot variar segons la temperatura i el temps de residència, que depèn també dels volums vessats per període de temps. La xarxa de clavegueram i els sistemes de col·lectors condueixen l'aigua als sistemes de depuració o, en cas d'excés, al medi, mitjançant els sistemes de *bypass*.

Depuració

La depuració d'aigües residuals, tant secundària com avançada (regeneració en el cas de la reutilització) forneix la matèria primera de la reutilització —l'aigua depurada i regenerada—, i ha de garantir-ne la qualitat. No obstant això, com que és un procés tecnològic cal comptar que durant una part del temps de funcionament, habitualment mínima, pot no donar els resultats esperats a causa del manteniment programat, fallades elèctriques o d'equips, etc. En aquest sentit, la fiabilitat del sistema ha de ser també un dels punts d'atenció en regeneració. També cal esperar que hi hagi tipus de depuració més fiables que d'altres.

De vegades es fa difícil esbrinar qui és el responsable de la depuració i de la regeneració, atès l'embolic legal entre propietari, Administració actuant, explotador..., de la depuradora.

La tecnologia actual permet obtenir qualsevol qualitat d'aigua a partir de l'aigua residual. La discussió se centra en el cost d'aquesta tecnologia i en el preu que es fa pagar al possible usuari, o en la conveniència o no de vessar al medi un recurs en el qual s'han invertit molts diners.

Regeneració

El procés de regeneració, que es defineix com el tractament addicional que es dóna a un efluent d'aigua residual per tal que sigui apte per a ser reutilitzat, ha estat l'objecte de nombroses discussions, des de la qualitat que ha de generar, passant per les tecnologies que s'han de fer servir, i fins a qui l'ha de pagar. Entre altres problemes es poden destacar:

— Qui ha d'explotar la instal·lació de regeneració? L'usuari final, l'explotador de la depuradora, l'Administració actuant... No hi ha una solució màgica que faci content a tothom.

— Quin és el paper real de l'explotador? Cal que garanteixi la qualitat a la sortida del sistema de regeneració o en el punt d'ús? A qui ha de donar explicacions i a qui ha d'informar?

— Hi ha molts aspectes socials i econòmics que no resten prou clars en el moment present. Podem esmentar l'acceptació del producte final de la regeneració per part de l'usuari o dels implicats directament i indirectament.

— Cal que la regeneració garanteixi una qualitat de l'aigua que hauria de fixar la legislació, ja que aquest procés és en certa manera la darrera barrera tecnològica abans de l'usuari final.

— El dilema entre tecnologies dures i toves per a regenerar encara no s'ha aclarit satisfactòriament, encara que per a grans volums semblen més adients les tecnologies dures i per a volums reduïts, les toves.

— La desinfecció resta un dels punts febles dels processos de regeneració: tecnologia més adient, formació de subproductes, recreixement de patògens, indicadors de desinfecció per a virus i paràsits, preu, fiabilitat...

— No sembla que les tecnologies que s'empren actualment permetin una eliminació adient

de molts microcontaminants orgànics (per exemple, disruptors endocrins, molècules medicamentoses...), encara que sembla que les tecnologies naturals siguin més adients per a aquest fi.

Reutilització

La reutilització amb totes les garanties sanitàries és un objectiu final de tothom que tracta aquest tema. No obstant això, sembla que els camins que propugnen els uns i els altres per a arribar-hi són diferents, si més no pel que fa a la qualitat desitjada de l'aigua per als diferents usos i a l'aplicació final o reutilització.

El procés de la reutilització demana encara molts estudis, com són:

— La determinació i quantificació de perills, ja siguin de tipus físic, químic o microbiològic, i l'anàlisi posterior de risc.

— L'impacte ambiental del procés complet de reutilització, incloent-hi tant els impactes positius com els negatius.

— La implantació d'estàndards de reutilització que siguin lògics i, de manera més avançada, de sistemes APPCC (Anàlisi de Perills i Punts de Control Crítics).

— L'anàlisi dels problemes socioeconòmics que implica la reutilització, des de l'acceptació pública (usuaris, implicats, altres actors) i per part de l'Administració del recurs, fins al cost i preu de la regeneració i reutilització.

— Com s'ha de traduir la voluntat política en processos reals de reutilització.

— El control de la dispersió real de l'aigua regenerada en aplicar-la.

Gestió de la reutilització

La reutilització forma part del que es denomina *gestió integrada del cicle de l'aigua*, ja que, com hem dit, és bàsicament una eina de substitució de recursos hídrics convencionals de bona qualitat, o alternativament una manera de reduir o anul·lar els vessaments als medis hídrics.

La reutilització, que idealment és una eina perfecta per a augmentar recursos hídrics, promoure la sostenibilitat i augmentar la qualitat de les aigües, requereix no obstant això molta cura, ja que es treballa amb una matèria primera prou perillosa, com és l'aigua residual.

Malgrat el que s'està venent des dels mitjans de comunicació, que la reutilització és senzilla i que no hi ha problemes a aplicar-la, calen estudis i desenvolupaments complexos, que han anat apareixent com a necessaris en els darrers anys, gràcies a la millora de les eines analítiques i el coneixement dels perills i riscos associats a les pràctiques relacionades amb l'aigua.

Es requereixen en la reutilització:

— Eines integradores, que permetin considerar els tractaments de l'aigua (potabilització, depuració, regeneració) com un conjunt complementari i no com dos camps separats, el de les potables i el de les residuals.

— Autocontrol, per tal de seguir el corrent majoritari, que demana als productors que garanteixin els seus productes, en aquest cas l'aigua regenerada, amb un control suplementari per part de l'Administració. El concepte d'inspecció rutinària està desapareixent, substituït pel de responsabilitat del fabricant.

— Inspeccions, únicament com a eina de validació de l'autocontrol i no com a control rutinari.

— Legislació, que fixi les coordenades bàsiques que permetin als usuaris conèixer les regles del joc i no treballar de manera precària.

— Màrqueting, per vendre de manera adient el recurs i aconseguir que sigui acceptat pels usuaris i actors relacionats amb l'aigua regenerada.

— Fer desaparèixer els fonamentalismes que sovint impedeixen adoptar solucions lògiques.

En tot cas, cal una política de reutilització adient, continuada en el temps, que no depengui de les sequeres i que doni un suport real a la pràctica.

Queden un munt d'incògnites i preguntes que no estan resoltes, com són:

— Grans/petits usuaris. Les exigències que es preveuen en els sistemes de control i les garanties exigides semblen expulsar del mercat els petits usuaris, que no tenen els recursos tècnics ni financers adients per a la reutilització tal com es demana legalment. La constitució d'associacions d'usuaris o la presa de posicions per part de l'Administració, reclamant els cabals regenerats i distribuïnt-los, poden alleujar aquest problema, en el cas que no es pugui solucionar totalment.

— Economia. S'ha de definir exactament qui paga què i en quin grau, a part de poder fer servir el concepte de garantia d'abastament perquè els usuaris que la necessiten contribueixin a les despeses totals.

— Acceptació social, per tal de fer servir un recurs que té associat un cert perill, perfectament controlable però en certa manera desconegut i possiblement magnificat.

— Responsabilitats, per part dels qui han de decidir sobre la reutilització, des de la fase de planificació fins als controls posteriors. Cal emprar el principi de precaució, que desestima la inacció davant les necessitats socials.

— Nul·la acció legislativa a Espanya, almenys fins al moment present (març de 2007), que no permet fixar seriosament ni la ciència ni la tecnologia necessàries per al correcte desenvolupament de la reutilització al país.

Què es necessita?

En reutilització, en el moment actual i a Espanya cal una empenta important en:

— Ciència. Els desenvolupaments actuals dels organismes internacionals, com l'Organització Mundial de la Salut, tenen en compte les anàlisis de risc, considerant els aspectes tant biològics com químics de la reutilització. El coneixement dels ecosistemes on va a parar l'aigua i el de les

possibles afectacions humanes és una eina imprescindible. Els conceptes de barrera sanitària, millor tecnologia a l'abast, anàlisi del cicle de vida, sistemes de suport a la decisió i altres eines poden permetre una millora clara en els resultats de la reutilització.

— Tecnologia. Cal aclarir quines són les tecnologies que permeten reduir considerablement el risc associat a la pràctica de la reutilització. Per exemple, és molt important en el moment present veure quines són les tecnologies amb capacitat per a eliminar de les aigües residuals molts dels contaminants (restes de medicaments i plaguicides, disruptors endocrins, subproductes de la desinfecció...) que resisteixen el pas per les tecnologies «clàssiques» de depuració.

— Sentit comú, per a adoptar solucions adients als problemes de la regeneració i reutilització, sense incórrer en fonamentalismes.

— Bona voluntat, per a aconseguir que tots els actors i interessats en la reutilització es posin d'acord en el que cal en termes de legislació, acceptació i reducció del risc associats a la pràctica.

Quins són els resultats?

En qualsevol procés de regeneració i reutilització trobarem beneficis i perjudicis o problemes, és a dir, impactes positius i negatius. També cal dir que la reutilització es pot contemplar des de perspectives molt diferents, segons la motivació de l'interessat o actor. En la taula 1 es resumeixen aquestes consideracions.

La realitat, o el resultat, és que la reutilització ben planificada i executada permet augmentar els cabals d'aigua disponibles i adequar-ne la qualitat als usos, tot aconseguint reduir els impactes ambientals i sanitaris negatius. D'altra banda, la disponibilitat més gran d'aigua fa que els usuaris amb menys recursos econòmics tinguin accés a l'aigua. Dins el tema dels impactes positius, es pot esmentar que en reduir-se la pressió sobre els recursos naturals, els ecosistemes associats a l'aigua queden beneficiats.

Malgrat tot, la major part d'actuacions en el món de la reutilització a Espanya s'ha fet pràcticament sense planificació, per la qual cosa no s'han obtingut tots els beneficis esperables de la pràctica. Fins i tot, com que s'han fet sistemes de regeneració sense haver previst prèviament qui faria servir l'aigua, es poden trobar sistemes infrautilitzats o no utilitzats en absolut.

TAULA 1
*La reutilització a Espanya, exemples de beneficis, problemes i perspectives
des de diferents punts de vista*

<i>Ítem</i>	<i>Beneficis / Problemes detectats</i>	<i>Observacions / Perspectives de futur</i>
Economia	Augment de cabals disponibles.	Assolir un màxim relatiu de cabals en acabar-se de fer les depuradores mitjanes i grans.
	Reducció de l'ús de nutrients en sòls.	Estalvi en adobs; l'aigua residual distribueix els nutrients al llarg de l'any i fa que es redueixi la contaminació d'origen difús.
	Despeses analítiques.	Relacionades amb les demandes legals i l'aplicació de sistemes APPCC. Encareixen la reutilització.
	Càrrec de les despeses de depuració, regeneració i anàlisi.	No és clar qui les assumeix. Dificultats per als petits usuaris.
	Planificació.	No s'acostuma a planificar; les iniciatives han estat particulars. S'estan iniciant estudis de planificació en alguns llocs.
	Millora de la garantia de proveïment en usos diversos.	S'augmenten els cabals disponibles on hi ha prou població o indústria (generació d'aigua residual).
Aspectes socials	Acceptació del recurs i del canvi de recursos.	Cal invertir en estudis de mercat i fer sondejos/enquestes.
	Discussió entre autoritats implicades.	Sanitat/salut vs. agricultura. Manca d'acords sobre responsabilitats i qualitats.
	Manca de confiança dels usuaris.	No s'accepta fàcilment la substitució de recursos, per desconfiança en l'Administració.
	Intervenció d'associacions naturalistes.	Es poden fer desestimar solucions lògiques i òbvies.
	Millora dels beneficis en agricultors, indústria, etc.	Pas de regadiu a secà, garantia de recurs de qualitat constant.
Legislació/normativa	Manca de legislació.	Desenvolupament de sistemes d'anàlisi de perills. Estàndards alternatius per a agricultura, indústria, etc.
	Indicadors de qualitat poc eficients.	Calen indicadors de virus, paràsits, protozous i contaminació química que es puguin reflectir en els estàndards.
	Problemes en l'aprovació dels esquemes de reutilització.	Discussions entre les diferents administracions. Falta de voluntat política i dificultats en la presa de decisions.
Tecnologia	Tractament secundari.	Determinació i millora de la fiabilitat dels processos. Desenvolupament d'índexs de fiabilitat. Millora de l'eficiència energètica.

TAULA 1 (Continuació)
 La reutilització a Espanya, exemples de beneficis, problemes i perspectives
 des de diferents punts de vista

Ítem	Beneficis / Problemes detectats	Observacions / Perspectives de futur
	Tractament terciari.	Tot sovint és poc adient des del punt de vista tecnològic i de fiabilitat. Desenvolupament de tractaments adients per a contaminants emergents. Millora de l'eficiència energètica amb tractaments tous.
	Desinfecció.	Es recorre sistemàticament al clor gasós o hipoclorit. Desenvolupament de l'aplicació d'altres desinfectants.
Qualitat de l'aigua	Augment de la salinitat per usos i entrades d'aigua amb sal al clavegueram.	Reducció de la salinitat en origen. Implantació de sistemes de dessalinització.
	Adopció de sistemes APPCC.	Mesura preventiva. Fàcilment incorporable a grans instal·lacions. Cal buscar mètodes alternatius per a les petites instal·lacions o petits usuaris.
	Qualitat menor a la de l'aigua feta servir normalment.	Fa que determinats usuaris no acceptin el recurs alternatiu. Estudis per a adaptar la qualitat als usos.
Control de sistemes	Autocontrol.	Desenvolupament dels sistemes d'autocontrol en comptes de les inspeccions habituals.
	Noves eines de control.	Especialment útils per a la determinació de patògens i contaminants químics emergents. Determinacions toxicològiques i ecotoxicològiques.
	Eines preventives.	Aplicació dels sistemes APPCC.

Ús de l'aigua regenerada

Per a què es fa servir l'aigua regenerada?

La resposta és teòricament múltiple, pràcticament per a tots els usos per als quals serveix l'aigua de «primera mà»; amb l'excepció dels usos potables, segons marquen la Llei d'aigües i el Reglament del domini públic hidràulic.

En la pràctica, hi ha usos que es poden denominar majoritaris, com el reg agrícola o de lleure, o bé la reutilització en refrigeració industrial. En la taula 2 es descriuen moltes de les possibilitats de reutilització.

Ciència

La ciència, en reutilització, intervé en la definició dels processos de tractament en l'àmbit biològic o químic i en l'anàlisi, tant pel que fa a la química com a l'eficiència i transformació.

TAULA 2

Tipus de reutilització d'aigua regenerada i problemes o limitacions descrits

Possibilitats de reutilització de l'aigua regenerada	Problemes/Limitacions
<p>Reg d'agricultura i paisatge</p> <ul style="list-style-type: none"> — Conreus — Vivers comercials — Parcs — Patis d'escola — Mitjanes d'autopista — Camps de golf — Cementiris — Zones verdes — Zones residencials — Tallavents — Cinturons verds 	<ul style="list-style-type: none"> (1) Contaminació d'aigües superficials i subterrànies si no hi ha una bona gestió. (2) Acceptació pública i venda de cultius. (3) Efectes de la qualitat de l'aigua, en especial de les sals, en sòls i conreus. (4) Problemes de salut pública relacionats amb els patògens (bacteris, virus i paràsits). (5) Ús per al control de la zona de reutilització, incloent-hi una zona amortidora. (6) Els costos poden ser molt alts.
<p>Reciclat i reutilització industrial</p> <ul style="list-style-type: none"> — Aigua de refrigeració — Alimentació de calderes — Aigua de processos — Construcció pesant — Transport de materials 	<ul style="list-style-type: none"> (1) Constituents de l'aigua regenerada que poden causar incrustació, corrosió, creixement biològic i <i>fouling</i>. (2) Problemes de salut pública, especialment transmissió d'aerosols mitjançant l'aigua de refrigeració.
<p>Recàrrega d'aigües subterrànies</p> <ul style="list-style-type: none"> — Ompliment d'aqüífers — Control d'intrusió d'aigua salabrosa — Control de subsidència — Emmagatzematge de recursos — Transport de l'aigua 	<ul style="list-style-type: none"> (1) Compostos químics en l'aigua regenerada i llurs efectes tòxics. (2) Sòlids totals dissolts, nitrats i patògens en l'aigua regenerada.
<p>Usos de lleure/ambientals</p> <ul style="list-style-type: none"> — Llacs i estanys — Aigua per a marenys i zones humides — Augment de cabals de corrents i altres masses d'aigua — «Fabricació» de neu — Basses per a incendis forestals — Recuperació de sistemes naturals 	<ul style="list-style-type: none"> (1) Problemes sanitaris derivats de bacteris i virus. (2) Eutrofització per nitrogen (N) i fòsfor (P) en l'aigua receptora. (3) Problemes per a la fauna i la flora salvatge. (4) Relació amb els aqüífers.
<p>Generació d'organismes vius</p> <ul style="list-style-type: none"> — Aqüicultura (peixos) — Ramaderia convencional — Biomassa/fusta/farratge — Material de suport per a compostatge — Cultiu d'algues — Producció de biofuel 	<ul style="list-style-type: none"> (1) Toxicitat per a la vida aquàtica, animals o vegetals conreats. (2) Toxicitats en organismes consumidors. (3) Límits d'espai. (4) Concentració d'organismes.

TAULA 2 (Continuació)
 Tipus de reutilització d'aigua regenerada i problemes o limitacions descrits

Possibilitats de reutilització de l'aigua regenerada	Problemes/Limitacions
Usos urbans — Lluita contra el foc — Aire condicionat — Neteja d'inodors — Neteja de vehicles — Neteja d'embarcacions — Neteja de carrers — Gestió de clavegueram	(1) <i>Legionella</i> en aparells de condicionament d'aire (amb aigua). (2) Aerosols. (3) Toxicitat i problemes sanitaris en peixos.
Reutilització potable — Mescla amb l'aigua convencional — Subministrament canonada a canonada	(1) Components de l'aigua regenerada, especialment compostos orgànics traça i llurs efectes tòxics. (2) Estètica i acceptació pública. (3) Problemes sanitaris de transmissió de patògens, especialment virus.
Usos diversos — Control de pols en obres — Control de pols en camins — Construcció	(1) Aerosolització. (2) Olor.

Nota: alguns usos es poden descriure en més d'un apartat, i per això hi ha certes repeticions en la taula.

També cal considerar els aspectes econòmics, socials i legislatius, que contribueixen en gran manera a l'èxit dels projectes de reutilització.

En àmbits més prosaics, cal fer recerca en força temes, dels quals podem destacar:

— La necessitat de tenir bons indicadors de qualitat biològica, química i ecològica. Pel que fa als indicadors biològics cal dir que s'ha treballat gairebé sempre amb indicadors de qualitat per a bacteris. Manca un bon indicador de presència de virus patògens, encara que sembla que es podran utilitzar per a aquest fi els bacteriòfags somàtics, i hi ha diversos patògens (*Giardia*, *Cryptosporidium*, nematodes...) dels quals s'han d'analitzar directament els quists, ooquists o ous, respectivament. Pel que fa a la química, l'analítica, encara que complexa, va progressant i fent-se més cara. A part dels paràmetres clàssics (DBO, DQO, CE, pH...) cada cop més s'analitzen contaminants més complexos, com són els disruptors endocrins, medicaments i les seves molècules de degradació, subproductes de la desinfecció i un llarg etcètera. També cal trobar maneres de mesurar la salut dels ecosistemes en relació amb el vessament directe o la reutilització de l'aigua residual; en aquest sentit, l'ecotoxicologia (i també la toxicologia) han entrat amb força en el món de la reutilització.

— Les eines analítiques, que han esdevingut prou importants en el món de la reutilització, i cada cop més es troben determinacions impensables fa tan sols un lustre; com a exemple men-

cionem l'anàlisi dels gens de resistència als antibiòtics. Les tecnologies de detecció de patògens, directament, fent servir la PCR, s'estan implantant amb força. La inquietud en aquest tema es deriva més del cost analític que de l'analítica pròpiament dita.

— Hi ha moltes eines que permeten, d'una banda, escollir les tecnologies més adients per a la regeneració de les aigües residuals (Sistemes de Suport a la Decisió, SSD); de l'altra, avaluar l'impacte sobre el medi abans de fer les instal·lacions i durant el seu ús (avaluació d'impacte ambiental i similars), i finalment avaluar els perills i riscos derivats de la reutilització (sistemes APPCC), entre d'altres.

— Els estudis socials, que d'una banda poden mesurar l'acceptació de les pràctiques de reutilització i de l'altra permeten millorar el coneixement del públic respecte a la pràctica. La participació en els processos de decisió i planificació és també una eina important en l'èxit de la reutilització i cal implantar-la en les primeres etapes de qualsevol sistema. L'usuari final s'ha de sentir considerat ja en l'inici del projecte si es pretén que faci servir l'aigua. En aquest sentit, cal implantar la política transversal de comunicació, com suggereix la UE.

— Cal que els científics col·laborin en els processos de formació en reutilització tant dels usuaris com dels propietaris, personal d'administració i interessats en general.

— L'economia de tot el procés és una eina clau en reutilització. No tan sols cal considerar els costos i preus d'infraestructures, operació i manteniment, sinó que també els d'anàlisi, formació i comunicació s'han d'incloure en els càlculs. Un problema no resolt en aquest sentit és qui ha de pagar les despeses associades a la reutilització.

— Finalment, no són menys importants tots els estudis sanitaris que tenen en compte l'impacte en forma de malalties sobre l'ésser humà. L'OMS (Organització Mundial de la Salut) ha renovat fa relativament poc (des del 2006) els criteris que mesuren aquest impacte, passant des de l'aproximació tipus estàndard fins a la mesura de malalties amb els DALY (Disability Adjusted Life Years). Aquesta aproximació s'està discutint actualment, però significa un canvi de paradigma, ja que fa una aproximació basada més en perills i riscos que en tecnologia de tractament.

Tecnologia

Tecnològicament, la reutilització s'associa normalment als tractaments avançats de l'aigua residual, i es reserven les tecnologies més conegudes per a la depuració convencional o secundària. Això no és exactament així, i en l'actualitat s'estan introduint amb força en el mercat tecnologies complexes per als tractaments secundaris.

Recordem inicialment que es consideren dos tipus de tecnologies: les associades a la física i la química, i les relacionades amb els organismes. La classificació és, en certa manera, artificial, ja que no acostuma a haver-hi tecnologies «pures» que només facin servir mètodes físics, químics o biològics. D'altra banda, també es fa referència a les tecnologies dures o intenses, que

consumeixen comparativament força energia però ocupen poc espai, i les tecnologies toves o extensives, que, a l'inrevés, ocupen espai i fan servir energia natural, del sol i del vent.

Els desenvolupaments actuals pel que fa a la tecnologia són:

— Les tecnologies de membrana, ja sigui en sistemes secundaris (bioreactors de membrana o BRM/MBR) o per dessalació dels efluents (ultrafiltració, osmosi inversa i electrodiàlisi reversible). El gran avantatge d'aquestes tecnologies és que, a més d'eliminar sals i matèria orgànica - sòlids en suspensió, redueixen o eliminen els continguts de patògens, mesurats pel nombre d'indicadors.

— Els sistemes extensius combinats amb intensius o entre ells. S'ha pogut detectar que els sistemes de tractament amb temps de retenció hidràulica (TRH) curts no són capaços de degradar les molècules complexes, cosa que sí que succeeix amb els sistemes extensius, que tenen TRH de dies o setmanes. Fins i tot l'ús de sistemes naturals (sòl-planta o sòl-aqüífer, per exemple) pot contribuir a la millora de la qualitat de l'efluent en aquest sentit. La combinació de secundaris intensius i terciaris extensius pot ser una bona solució per a optimitzar els resultats.

— L'adaptació de les tecnologies existents a les petites comunitats. El cost de la depuració en petites comunitats és molt més alt que en les grans, per qüestions d'economia d'escala. Considerant que el nombre de comunitats petites és prou gran (més de 2.000 a Catalunya) en comparació amb els mitjans i grans sistemes de sanejament (uns 300 a Catalunya), cal fer una aproximació tecnològica que consideri la factibilitat d'aplicació econòmicament viable (sostenibilitat) als petits sistemes. Algunes tecnologies toves (llacunatges, zones humides construïdes/ZH, infiltració-percolació/IP) són adients, així com algunes d'intensives (biodiscs de nova generació, per exemple).

— Les tecnologies de desinfecció. És prou evident que la cloració d'efluents no és una solució òptima, si més no com a única tecnologia de desinfecció, ja que genera molts subproductes en reaccionar amb la matèria orgànica que inevitablement porta l'efluent, fins i tot el de millor qualitat. Cal implantar solucions alternatives, que poden ser des de l'ús de tecnologies secundàries que garanteixen un bon grau de desinfecció (llacunatges, ZH, IP, BRM...), i l'ús d'altres sistemes de desinfecció (diòxid de clor, radiació UV...), fins a la combinació de desinfectants.

— L'optimització de l'ús de l'energia. Un dels problemes de les administracions encarregades de la gestió del sanejament i especialment de la depuració a Espanya ha estat la factura energètica. Tradicionalment, la major part de depuradores a Espanya s'ha construït amb base en els llots activats. Es tracta d'un sistema prou conegut, però relativament obsolet tecnològicament, almenys en algunes de les seves aplicacions pràctiques, i que és un gran consumidor d'energia. També cal dir que algunes de les noves tecnologies, com les de membrana, fan servir molta energia, però generen un efluent de molta més qualitat. Calen estudis i recerca per a optimitzar el consum d'energia i intentar recórrer sempre que es pugui a tecnologies de baix consum d'energia convencional, com són les extensives.

— Els sistemes de transport de l'aigua regenerada. S'ha considerat que el transport d'aigua depurada és un inconvenient afegit a la depuració. No obstant això, hi ha alguns països amb dèficits de recursos hídrics que arriben a transportar aquestes aigües a desenes de quilòmetres,

com és el cas d'Israel o, fins i tot, a Espanya, les Illes Canàries. En la gestió integrada dels recursos hídrics, el transport d'aigua regenerada és una bona opció per a redistribuir el recurs pel territori, especialment cap a aquelles zones on no hi ha possibilitats de dessalinització. Cal treballar amb mètodes econòmics, com l'ACV (anàlisi del cicle de vida), per a determinar la factibilitat econòmica d'aquesta proposta.

— L'ús d'eines de suport a la decisió (desenvolupament científic) per a escollir la millor tecnologia/tècnica a l'abast (MTA, BAT en anglès).

— L'establiment de tècniques d'aplicació de l'aigua residual que redueixin els riscos associats a la pràctica. En aquest sentit, per exemple, s'estan fent servir els sistemes de reg localitzat, encara que sense considerar excessivament els problemes de salinització dels sòls que poden implicar.

— L'estudi de problemes associats explícitament a determinades reutilitzacions, com és la refrigeració industrial amb torres o altres artefactes que creen problemes sanitaris, especialment els derivats de la presència de *Legionella*.

Fins al moment present, no hi ha hagut gaire complicitat entre científics/tecnòlegs que es dediquen a la recerca i empreses, el que comunament es coneix com a transferència de tecnologia entre les universitats i centres de recerca i les empreses. No obstant això, es tracta d'un mal relativament comú arreu, que fins i tot s'ha detectat en els projectes finançats per la DG de Recerca de la Unió Europea i que s'intenta reconduir en el 7è Programa Marc de Recerca i en els projectes finançats per l'Estat espanyol.

Aspectes socials

No deixa de sorprendre la discussió i els inconvenients que genera en la societat espanyola actual la reutilització d'aigua residual:

— d'una banda, quan es comenta que encara hi ha llocs on es reguen els conreus amb aigua residual sense tractar hi ha escàndols;

— i de l'altra, es detecta una resistència a reutilitzar l'aigua regenerada al mateix temps que s'exigeix seguretat d'abastament. Les contradiccions aparents i no tant en aquesta pràctica han estat fins i tot l'objecte d'estudis sociològics.

El que finalment és cert, és que no podem separar la reutilització de la societat que l'ha de fer servir (ciència de la comunicació/interdisciplinarietat).

Les excuses per al refús són de tot tipus, incloses les sanitàries, agronòmiques, de cabals i ecologistes, des de l'Administració i des de les associacions o entitats no governamentals. Només des d'una primera aproximació, i sense ser, en aquest cas, massa correctes tècnicament i científicament, únicament posant en el paper els motius adduïts, podem indicar com a causes habituals de refús:

— El contingut en coliformes fecals o *E. coli* (que són indicadors i no patògens).

- El contingut en microcontaminants orgànics (i els que porta el Llobregat?).
 - Els cabals mínims: si es reutilitza aigües amunt, els rius no tindran peixos (i l'aroni?).
- A més a més, hi hauria d'haver molts rius secs a l'estiu a Catalunya.
- Afecta els sòls i conreus per la salinitat (i l'aigua de molts rius?).
 - No vendrem els nostres productes a Europa (i els que vénen d'altres països que reguen amb aigua sense depurar i amb condicions higièniques molt més dolentes que les nostres?).
 - Hi ha molta burocràcia (absolutament cert).
 - Es demanen molts controls (també és cert, i a més a més són cars i només donen dades històriques).

És també ben cert que no hi ha una bona política de comunicació que hagi estat capaç de comunicar els avantatges i inconvenients de la reutilització i crear-ne una imatge positiva. Addicionalment, hi ha hagut successius decrets de sequera que han donat una imatge d'intentar forçar la reutilització des de l'Administració. Aquest ha estat el cas per exemple al Baix Llobregat, on s'ha intentat substituir aigua de riu amb una certa salinitat per aigua regenerada amb més salinitat, sense èxit.

També cal comentar que ja fa molts anys que des de les més altes instàncies de l'Estat es parla que cal reutilitzar i que ara sí que es donarà un impuls definitiu a aquesta pràctica. La realitat és que, mentre hi ha sequeres, hi ha diners per a recerca i per a preparar obres i tractaments i, teòricament, impulsar la pràctica, mentre que, quan plou, els diners desapareixen misteriosament. No hi ha hagut en els darrers decennis una política de suport continuada, fet que queda provat per la manca de legislació estatal des de la promulgació de la Llei d'aigües de 1985, que ja establia que el «Gobierno» s'havia de preocupar per desenvolupar la normativa de reutilització. El març de 2007, encara no ha aparegut, més de vint anys més tard.

Per aquesta circumstància, algunes comunitats autònomes han desenvolupat criteris propis, ja sigui des de Sanitat/Salut o Medi Ambient. Les Illes Balears, Catalunya i Andalusia van emprendre aquesta via l'any 1992.

Malgrat tot el que s'ha dit, hi ha algunes iniciatives privades i públiques que cal destacar, com poden ser (sense intentar ser excloents de cap manera), a Catalunya:

- La comunitat de regants del Molinet, a Reus, que ja el 1932 reutilitzava aigua residual i que encara ho fa mitjançant una comunitat de regants.
- El Consorci de la Costa Brava, que ha potenciat la reutilització per a usos diversos dins la seva zona de competència. Ha emprès iniciatives prou pioneres i importants, encara que les seves instal·lacions estan en algun cas infrautilitzades, potser per la manca en algun cas d'iniciatives de participació pública abans de construir les instal·lacions.
- El Consorci per a la Defensa de la Conca del Riu Besòs, que té un acord amb la Universitat de Barcelona per a desenvolupar la planificació de la reutilització en l'àrea de la seva competència.
- L'Àrea Metropolitana de Barcelona, que ha impulsat el gran projecte de reutilització associat a Depurbaix, la depuradora del sud de Barcelona, que preveu els usos per a recàrrega de

l'aqüífer contra la intrusió, manteniment de zones humides, augment de cabals del riu Llobregat i reg agrícola, entre d'altres.

— La Diputació de Barcelona, que gestiona els tractaments terciaris de la depuradora de Montcada per millorar la qualitat de l'aigua del Besòs en el tram final del riu.

— L'Ajuntament de Sabadell, que fa servir l'aigua residual per a recàrrega d'un aqüífer a través d'un riu. Després l'aigua es recupera.

— Molts camps de golf, que s'han vist en certa manera obligats per una qüestió d'imatge i pels successius decrets de sequera a reutilitzar aigua. A part d'algun fracàs sonat, per mala implantació de tecnologia, és un dels usos amb més futur si la pressió ecologista ho permet.

A Catalunya cal mencionar ocasionalment una certa lentitud administrativa en la concessió de permisos.

La formació hauria de ser imprescindible en relació amb la reutilització. Cal dissenyar programes de formació des de l'usuari fins als funcionaris de l'Administració. En general, es podria dir que hi ha un cert grau d'amateurisme en molts dels actors o interessats en la reutilització. Es pot plantejar la implantació d'un carnet de manipulador o d'algun sistema semblant a nivell d'usuari i sistemes de formació continuada en altres nivells.

Pràctica real

En intentar aplicar la reutilització realment, es detecten molts problemes i cal deixar alguns punts clars, com són:

— Una certa complicació global, en nom de la seguretat i de la burocràcia.

— La manca d'un referent legal que permeti al possible usuari saber «a què juga» en reutilitzar. Això és especialment dur per a alguns usuaris que no tenen cap altre recurs, perquè no existeix o perquè estan obligats a usar-lo.

— Un cert excés d'exigència per part d'alguns possibles usuaris, causat molt probablement per desconeixement.

— No és clar qui ha d'assumir els costos. Hi ha una certa resistència a assumir-los, especialment si l'usuari disposava d'altres recursos a cost zero o pràcticament.

— Cal implantar un codi de bones pràctiques d'ús de l'aigua per a cada tipus de cas, per tal de reduir indirectament el risc associat a les pràctiques.

— No s'ha integrat la reutilització en la gestió integrada dels recursos pel que fa a la conca.

— Hi ha discussions entre les diferents administracions implicades (Salut o Sanitat, Medi Ambient, Agricultura, Indústria...), és a dir, no s'observa una política comuna pel que fa a la reutilització.

— En teoria, l'administració de l'aigua hauria d'exercir de finestra única i coordinar totes les iniciatives; en la pràctica es poden observar iniciatives de tot tipus i des de tots els nivells.

— La reutilització s'ha fomentat des de la iniciativa privada més que per planificació des de l'Administració.

— Cal tenir molt clar que, per llei, la darrera paraula sobre una autorització la té l'Administració sanitària.

Discussió

La veritat del que succeeix en reutilització i les causes exactes dels punts forts i febles són molt difícils d'esbrinar, però passen per uns quants punts més o menys certs, com:

— No hi ha normes.

— Una autorització pot tardar més de dos anys.

— No se sap qui paga tractaments i anàlisis.

— Qui fa/ha de fer els controls analítics?

— Els petits usuaris poden tenir problemes seriosos.

— L'aigua sense tractar fa que els conreus creixin molt bé.

— Molts rius van plens d'aigua residual, i fins i tot no durien aigua si no hi hagués vessaments.

— Els diversos intents legislatius han estat molt complicats de discutir i implantar.

— S'han pogut detectar casos en què l'aigua s'utilitza sense tractar, fins i tot extraient-la del sistema de sanejament.

— Sovint l'aigua dels rius és de pitjor qualitat que la regenerada.

— Malgrat que hi hagi equips universitaris treballant en el tema des de l'any 1975, hi ha hagut molt poca transferència real dels investigadors als usuaris. Caldria esbrinar-ne les causes.

— No sempre s'implanten les millors tecnologies disponibles per a la regeneració, per causes molt diverses.

En aquests moments sembla haver-hi una tendència a implantar sistemes d'autocontrol, encara que no queda massa clar com es pot fer en la realitat.

La realitat és que es fa servir un percentatge molt petit de l'aigua depurada, i la que es fa servir és amb problemes:

— sanitaris

— socials

— burocràtics

— tècnics/tecnològics

— econòmics.

Diguin el que diguin, la reutilització no és la panacea per a la manca d'aigua, però pot ajudar a la gestió integrada dels recursos d'aigua a Espanya si s'accepta i s'implanta realment.

El potencial de reutilització a Espanya, i a Catalunya, és prou gran i amb facilitat podria arribar a multiplicar-se quatre o cinc vegades en poc temps en el vessant mediterrani i en les illes (Canàries i Balears), sempre que hi hagi voluntat política.

Conclusions en forma de preguntes

- Hi ha realment una voluntat política de reutilitzar?
- Quina relació hi ha entre dessalinització, energia i reutilització?
- Quin potencial per a reutilitzar hi ha realment?
- Qui són els opositors a la reutilització?
- Qui són els interessats a reutilitzar?

De tota manera, de ben segur que els científics i tecnòlegs han embolicat molt la reutilització.

Resum

La gran majoria de malalties infeccioses que es transmeten per l'aigua són conseqüència de la contaminació fecal i per tant se'n pot minimitzar la transmissió amb mesures higièniques i de sanejament. Alguns dels agents causals afecten només l'home mentre que d'altres són zoonòtics, és a dir, infecten l'home i els animals. Pel que fa a aquells microorganismes que procedeixen de contaminació fecal, trobem els patògens i molts d'innocus que es troben en totes les restes fecals en quantitats semblants i que solen ser utilitzats com a microorganismes indicadors de la qualitat microbiològica de l'aigua. En canvi, la presència de patògens depèn de l'estat epidemiològic de les poblacions humanes i animals. La presència de patògens, ja sigui els tradicionals o els emergents, a les aigües residuals a Catalunya és del mateix ordre de magnitud que en països industrialitzats del nostre entorn. A Catalunya la qualitat microbiològica de les aigües superficials, avaluada en funció de la presència i densitats dels indicadors, és millorable i és en general inferior a la qualitat indicada per paràmetres físics i químics. Aquesta qualitat pobre obliga a fer tractaments complexos per a la potabilització d'una gran part de les aigües superficials disponibles. En general, l'aigua que arriba a les xarxes de distribució és de bona qualitat microbiològica. Tant a les zones urbanes com a les zones rurals amb xarxes controlades el percentatge de mostres que no compleixen la legislació pel que fa a paràmetres microbiològics és, segons les dades disponibles en el Sistema d'Informació Nacional d'Aigua de Consum (SINAC), clarament inferior a l'1 % en totes les demarcacions. Aquest valor és semblant a valors de països industrialitzats del nostre entorn. Amb tot, es donen brots infecciosos lligats a l'aigua. Segons les dades del *Butlletí Epidemiològic de Catalunya* n'hi ha en general menys de 10 per any, amb una mitjana d'uns 500 afectats per any. Aquesta incidència és lleugerament superior a la dels països industrialitzats. La majoria s'acumulen de maig a octubre i en molts casos no van lligats a xarxes de distribució.

Paraules clau: aigua, contaminació, microbiologia, patògens, indicadors.

Abstract

Most waterborne infectious diseases are due to contamination of water with faecal wastes and consequently their transmission can be minimized by improving hygiene and sanitation. Some causal agents only infect humans, whereas others are zoonotic, this is, they infect humans and animals. Amid the faecal microorganisms, there are pathogens, but most of them are innocuous and found in similar amounts in all faecal wastes and are used as indicators of water quality. In contrast, the occurrence of pathogens in water depends on the epidemiological status of the population. The densities of pathogens, both the traditional and the emerging ones, in sewage in Catalonia are similar to the ones found in industrialised countries. In Catalonia, the microbiological quality of surface waters, as evaluated with indicators, is clearly improvable and in general worse than the quality indicated by the physical and chemical parameters. This poor quality leads to the need of complex treatment processes for an important fraction of surface waters. In general, water provided in drinking water networks is of good microbiological quality. Both in rural and urban areas served by distribution networks, the percentage of samples that do not fulfil the quality criteria are, according to the data provided by the Sistema Nacional de Agua de Consumo (SINAC), clearly below 1 %. This value is similar to those in the Western European countries. However waterborne outbreaks occur. According to data from the *Butlletí Epidemiològic de Catalunya* about 10 outbreaks per year with about 500 affected persons occur. This occurrence is slightly higher than the one in industrialised countries. Most outbreaks occur from May to October and most of them are not associated to distribution networks.

Keywords: water, contamination, microbiology, pathogens, indicators.

Introducció

A les tres matrius que consten al títol s'hi troben diferents tipus de microorganismes. A les aigües residuals crues només s'hi troben microorganismes contaminants. Però a totes les altres matrius, aigües residuals depurades incloses, s'hi troben microorganismes contaminants i microorganismes autòctons, o en alguns casos residents.

Entre els contaminants i alguns dels residents hi trobem microorganismes dels tres grans grups, virus, bacteris i protozous, que causen malalties infeccioses relacionades d'alguna manera amb l'aigua. Una classificació de les malalties infeccioses que tenen alguna relació amb l'aigua, que em sembla prou satisfactòria, és la proposada per Mara i Feachem (1999), que queda resumida en la taula 1.

Encara que no es pot descartar la importància i l'interès dels altres grups (per exemple, a Catalunya, els darrers tres anys *Legionella* ha causat de mitjana 23 brots, 130 afectats i 3 o 4 morts a l'any (<http://www.gencat.net/salut/portal/cat/spbec.htm>)), les malalties infeccioses més importants relacionades amb l'aigua són les del primer grup, és a dir les de transmissió fecal-oral.

TAULA 1
 Classificació de malalties infeccioses relacionades amb l'aigua

Categoria	Exemples
Lligades a l'aigua (de transmissió fecal-oral)	Còlera, hepatitis infeccioses
Lligades a l'aigua de rentat	Infeccions per <i>Pseudomonas</i> , tracoma
Basades en l'aigua	Legionel·losi, infeccions per <i>Mycobacterium</i> , esquistosomiasi
Transmeses per vectors lligats a l'aigua	Malària, febre groga

Malalties de transmissió fecal-oral

Els microorganismes de transmissió fecal-oral són excretats per l'home i els animals i en conseqüència van associats a la contaminació amb material fecal. Infecten l'home a través d'aigua de boca, marisc conreat o recollit en aigües contaminades, verdures o fruites directament regades amb aigües contaminades, a través d'activitats de lleure practicades en aigües contaminades i també per contacte persona-persona. Causen un bon nombre de malalties. Les més importants estan resumides en la taula 2.

D'aquests microorganismes n'hi ha que només afecten l'home, mentre que d'altres causen zoonosi, és a dir infeccions als homes i a alguns animals. Entre els primers es troben *Salmonella typhi*, *Vibrio cholerae*, *Shigella dysenteriae*, *Helicobacter pylori*, el virus de l'hepatitis A i el virus de la poliomièlitis, entre d'altres; aquests són més fàcils de controlar amb mesures higièniques i de sanejament que els causants de zoonosi, i l'exemple es troba en la pràctica desaparició de les febres tifoides (*Salmonella typhi*) o, en períodes entre pandèmies, del còlera (*Vibrio cholerae*). Entre els que causen zoonosi es troben *Campylobacter*, *Salmonella no typhi*, *E. coli* enteropatogèniques (com per exemple el biotip O57:H7), *Cryptosporidium*, *Shigella no dysenteriae*, etc. Aquest tipus de patògens són de més difícil control.

Recentment, també és freqüent la menció de patògens emergents i reemergents. Els emergents són aquells que s'han associat a una determinada infecció durant els darrers vint anys; exemples típics de microorganismes emergents que es transmeten per aigua són *Campylobacter*, *E. coli* O157:H7, *Helicobacter pylori*, virus de l'hepatitis E, norovirus i *Cryptosporidium*. Els reemergents són aquells que després d'haver quasi desaparegut, tornen a aparèixer amb força; globalment no n'hi ha cap entre els lligats a l'aigua. Amb els grans moviments migratoris podria donar-se'n algun cas, com per exemple les febres tifoides causades per *Salmonella typhi*.

TAULA 2
Malalties produïdes per microorganismes de transmissió fecal-oral

<i>Malaltia</i>	<i>Patogen</i>
Artritis	<i>Giardia, Salmonella, Campylobacter</i>
Meningítis asèptica	Echovirus, Coxsackievirus
Càncer, úlceres d'estómac o duodè	<i>Helicobacter pylori</i>
Còlera	<i>Vibrio cholerae</i>
Diarrea i gastroenteritis agudes (GEA)	Norovirus i Sapovirus Rotavirus Astrovirus Alguns enterovirus Adenovirus 40, 41 <i>Giardia, Cryptosporidium</i> <i>Salmonella, Shigella, Campylobacter, E. coli</i> enteropatògeniques <i>Aeromonas</i>
Problemes cardíacs (miocarditis)	Coxsackievirus B
Diabetis insulíndependent	Coxsackievirus B
Problemes renals	<i>E. coli</i> O157:H7 <i>Cyclospora</i>
Hepatitis	Virus de l'hepatitis A Virus de l'hepatitis E
Poliomielitis	Virus de la poliomièlitis

Pes relatiu de les malalties de transmissió fecal-oral

La incidència real de la transmissió per aigua de patògens de transmissió fecal-oral és difícil de precisar, ja que la majoria també es transmeten via aliments i contacte persona-persona. Els rotavirus podrien ser fins i tot transmesos per una via addicional a la fecal-oral, com és l'expulsió de virus per vies respiratòries, persistència a fomites i posterior ingestió oral. A més, la majoria no provoquen malaltia greu i les malalties provocades no solen ser declarades ni per tant registrades, ja que els malalts no van al metge. En qualsevol cas, n'hi ha algunes estimacions. A la taula 3 es

TAULA 3
Participació de les infeccions de transmissió fecal-oral en la càrrega total de les malalties

	<i>Global</i>	<i>Països industrialitzats</i>	<i>Països en fase de desenvolupament</i>
DALY (%)	5,7	Aprox. 1	8,5
Mortalitat (%)	4,0	< 0,01	7,7 (1.800.000 morts)

FONT: Dades de l'Organització Mundial de la Salut (WHO, 2002).

troba resumit el percentatge de la càrrega que els microorganismes de transmissió fecal-oral tenen en el total de les malalties, sempre segons dades de l'OMS (World Health Organization, 2002). En aquesta avaluació s'hi ha introduït el concepte DALY («Disability-Adjusted Life Years»), que és una correcció que té en compte aspectes addicionals (edat en què es dona la mortalitat, la gravetat de la malaltia, etc.) a la mortalitat, que era el criteri emprat fins a finals dels noranta del segle xx per a definir la importància de les malalties (World Health Organization, 2002).

Si bé no és una afecció molt greu, la gastroenteritis aguda (GEA) constitueix l'afecció lligada a aigua més freqüent. Com ha quedat reflectit en la figura 1, hi ha un cert nombre de virus, bacteris i protozous que provoquen gastroenteritis de diferent intensitat. Encara que, com s'ha assenyalat abans, és difícil comptabilitzar totes les GEA, gràcies a alguns estudis epidemiològics realitzats a alguns països europeus (Roy *et al.*, 2006), els Estats Units (Colford *et al.*, 2006; Craun *et al.*, 2006) i Austràlia (Roy *et al.*, 2006), podem fer-ne algunes estimacions. A la taula 4 s'indiquen algunes dades, unes d'estimades i d'altres de reals, dels Estats Units d'Amèrica (Colford *et al.*, 2006; Craun *et al.*, 2006) i de Catalunya, en aquests cas amb dades extretes del *Butlletí Epidemiològic de Catalunya* (<http://www.gencat.net/salut/portal/cat/spbec.htm>). Les dades de molts països de l'Europa occidental (Roy *et al.*, 2006) són molt semblants a les dels Estats Units (Colford *et al.*, 2006; Craun *et al.*, 2006). Les dades referents a brots i nombre d'afectats de Catalunya extretes del *Butlletí Epidemiològic de Catalunya* (<http://www.gencat.net/salut/portal/cat/spbec.htm>) semblen

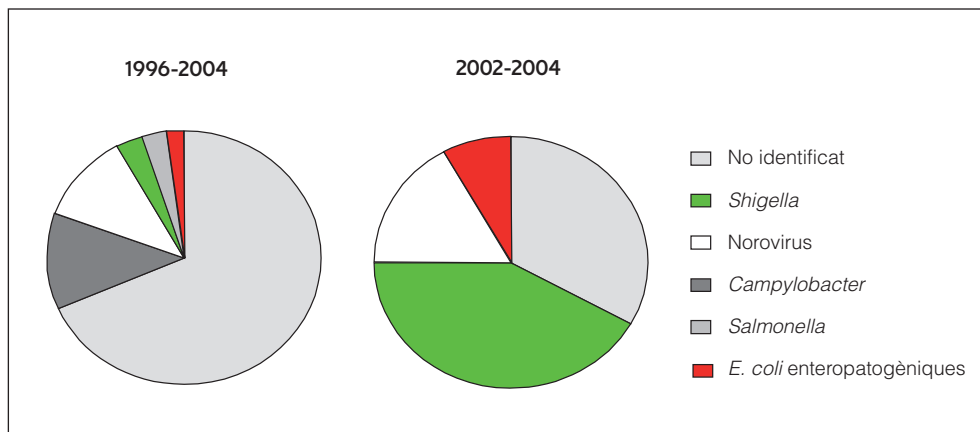


FIGURA 1. Agents causals dels brots de gastroenteritis agudes a Catalunya.

indicar una incidència superior que als Estats Units d'Amèrica, si bé cal prendre aquestes dades amb cautela, ja que no necessàriament hi ha la mateixa eficiència en la declaració i el registre de les GEA en els dos indrets.

Amb tot, cal no oblidar les altres afeccions. Per exemple, les dades del darrer any ens indiquen que l'eradicació de la poliomièlitis està molt lluny de ser assolida (<http://www.who.int/en/>); o bé, que només a finals d'estiu de 2006 hi ha hagut dos brots, l'un a Kosovo i l'altre a Khabarowsk

TAULA 4
 Incidència de GEA als Estats Units d'Amèrica i a Catalunya

	EUA 1991-2002	Catalunya 1995-2006
Episodis de GEA per persona i any	0,56	Aprox. 0,5
GEA estimades (GEA lligades a aigua, 3 a 6 %)	148.000.000 (4.200.000-11.690.000)	3.500.000 (105.000-200.000)
GEA declarades (lligades a aigua)	(?) (?)	350.000 (?)
Brots lligats a aigua per any	20	7
Casos per any en els brots	39.000 (2.557 excloent el brot de <i>Cryptosporidium</i> a Milwaukee, amb més de 200.000 casos)	317
Agents causals més importants	No identificat <i>Giardia</i> , <i>Cryptosporidium</i> , norovirus, <i>Shigella</i> , <i>Campylobacter</i> , <i>Salmonella</i> , <i>E. coli</i> O157:H7	No identificat Norovirus, <i>Shigella</i> , <i>Campylobacter</i> , <i>Salmonella</i> , <i>E. coli</i> enteropatògeniques

(regió de la Federació Russa), de meningitis asèptica (echovirus i coxsackievirus), amb més de 1.000 casos a cada un dels brots, o un brot d'hepatitis A amb més de 1.300 afectats a Plovdiv (Bulgària) (<http://www.who.int/en/>).

Microorganismes en aigües residuals

Entre els microorganismes d'origen fecal que es troben a les aigües residuals hi ha els microorganismes comensals al tub digestiu d'humans i d'animals i els patògens. Entre els primers hi trobem aquells que s'empren com a indicadors de la qualitat de l'aigua. Molts són els mateixos a les aigües residuals amb contaminants fecals d'origen humà i animal. Aquest seria el cas dels coneguts coliformes fecals, *E. coli*, estreptococs fecals (o enterococs) o els clostridis reductors de sulfits; d'altres són diferents i es poden fer servir per a determinar l'origen dels contaminants fecals (Malakkof, 2002), una de les àrees de recerca emergent en la microbiologia d'aigües. Les concentracions de microorganismes indicadors són semblants arreu del món, òbviament en funció de la concentració de l'aigua residual. També s'hi troben alguns microorganismes no patògens, però que tenen gens transferibles, com per exemple gens de virulència i gens de resistència a antibiòtics (Blanch i Jofre, 2004; Muniesa *et al.*, 2006), que poden ser

transferits a patògens i augmentar la seva virulència i dificultar el tractament de les infeccions amb antibiòtics.

Quant als patògens, en teoria, s'hi poden trobar tots els que hem descrit anteriorment, però la presència i densitats serà sempre en funció de l'estatus epidèmic de la població en un determinat moment. En principi, als països en fase de desenvolupament les concentracions de la majoria de patògens són més altes que als països industrialitzats. Els patògens que es troben a les aigües residuals municipals són diferents a les d'origen animal; els únics coincidents seran els que causen zoonosi.

Els patògens presents a les aigües residuals constitueixen un risc per a la salut humana, en tant que després poden arribar a contaminar aigua de boca o aliments o aigües recreatives. Però darremament la comunitat científica s'ha adonat que són una magnífica font d'informació per a estudis de tipus epidemiològic (Clemente-Casares *et al.*, 2003; Villena *et al.*, 2003; Sedmak *et al.*, 2002), que els mètodes genòmics permeten fer sense aïllament previ dels patògens, o com a registre de l'evolució de la prevalença de diferents microorganismes en la població. Un cas per a ressaltar seria el dels virus de la poliomièlitis, que en alguns països es fa servir per al seguiment del funcionament de la campanya d'eradicació de la poliomièlitis (Manor *et al.*, 1999). Encara que intermitentment, s'ha anat avaluant la presència de virus de la poliomièlitis en aigües residuals a Barcelona i s'han pogut observar canvis importants. A principi dels anys vuitanta del segle passat la gran majoria d'enterovirus circulants a les aigües residuals eren virus de la poliomièlitis i encara un percentatge important eren de tipus salvatge (Lucena *et al.*, 1985). Durant els darrers anys, amb l'ús generalitzat de bolquers rebutjables hi ha hagut un descens important del percentatge de virus de la poliomièlitis entre els enterovirus circulants; només un 2 % d'aquests són virus de la poliomièlitis, i aquests són tots vaccínics. L'any 2006 s'ha implantat la vacunació amb virus inactivats i de moment no s'han aïllat virus de la poliomièlitis a les aigües residuals (Costán-Longares *et al.*, 2008).

En la taula 5 es mostren els valors d'alguns patògens representatius a les aigües residuals de l'àrea metropolitana de Barcelona i que, pel que se sap, deuen representar molt bé el que passa

TAULA 5

Densitats (intervals) d'alguns patògens representatius a les aigües residuals de Barcelona

<i>Microorganisme</i>	<i>Nombres (per 100 ml)</i>	<i>Referència</i>
<i>E. coli</i>	$5 \times 10^6 - 10^7$	Lucena <i>et al.</i> , 2004
<i>Salmonella ssp.</i>	$10^2 - 10^3$	Muniesa <i>et al.</i> , 2005
<i>E. coli</i> enteropatogèniques (inclòs el biotip O157:H7)	$10^3 - 10^4$	García-Aljaro <i>et al.</i> , 2004
<i>Campylobacter</i>	$10^2 - 10^3$	Rodríguez i Araujo, en premsa
<i>Cryptosporidium</i>	$10^1 - 10^2$	Montemayor <i>et al.</i> , 2005
Enterovirus	$10^1 - 10^3$	Mocé, 2004
Rotavirus	$10^1 - 10^3$	Bosch <i>et al.</i> , 1986

a Catalunya, Espanya i Europa occidental. Els valors de patògens causants de zoonosi podrien ser diferents en aigües residuals d'origen animal. Aquest seria el cas de *Campylobacter*, del qual s'han trobat fins a 10^6 per 100 ml en aigües residuals d'escorxadors d'aus (Rodríguez i Araujo, en premsa), o d'*E. coli* O157:H7, més abundant en aigües residuals d'escorxador de vacum, aproximadament un ordre de magnitud superior que a l'aigua residual municipal (García-Aljaro *et al.*, 2004; García-Aljaro *et al.*, 2005).

Algunes de les dades de la taula 5 ens indiquen la presència abundant de patògens considerats emergents, com és el cas de *Campylobacter*, *Cryptosporidium* i *E. coli* O157:H7. Algunes dades obtingudes per mètodes genòmics (PCR) també ens indiquen la presència de patògens emergents de difícil cultiu o, de moment, impossible cultiu, com és el cas d'*Helicobacter pylori* (Queralt *et al.*, 2005) o del virus de l'hepatitis E (Clemente-Casares *et al.*, 2003).

Microorganismes en aigües superficials

La presència i densitats dels microorganismes, tant indicadors com patògens, d'origen fecal que trobem a les aigües superficials són el resultat d'un conjunt de circumstàncies com per exemple les aportacions de contaminació difusa, l'eliminació diferencial dels diferents indicadors i patògens a les estacions de depuració d'aigües residuals (EDAR), la resuspensió de sediments, el mal funcionament de les depuradores, etc.

Hi ha una important quantitat d'informació disponible a l'abast del públic, de la presència i densitats de diferents indicadors de contaminació fecal (coliformes totals, coliformes fecals i estreptococs fecals) en alguns punts, no tots, corresponents a la xarxa de control de qualitat d'aigües superficials de l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA) (<http://mediambient.gencat.net/aca/ca//aiguamedi/rius/>). Com a exemple en la figura 2 es mostren dades del riu Segre, en les quals es pot observar una contaminació creixent des de la capçalera cap al curs baix del riu, excepte quan la presència d'embassaments té un efecte depurador molt clar; en aquest cas el pantà d'Oliana, amb descensos molt significatius del contingut en indicadors fecals. Altres fets remarcables són que es percep un contingut molt notable de contaminació fecal ja a la capçalera i que els valors trobats són força variables durant l'any. Aquesta variació no és estacional i amb tota seguretat és deguda a un o més dels factors indicats abans. En general, sobretot al curs alt i mitjà dels rius, la qualitat microbiològica és pitjor que la qualitat donada per l'índex simplificat de la qualitat de l'aigua (ISQA). Per exemple hi ha alguns trams del Ter amb ISQA per sobre de 85 i amb valors freqüents de coliformes fecals per sobre de 10^4 per 100 ml.

Els orígens, humans o animals, de la contaminació fecal són impossibles de definir només amb les dades disponibles a les bases de dades de l'ACA. Al punt del riu Llobregat esmentat a la taula 6, que es troba aigües avall de Manresa, hi ha algunes dades disponibles que ens permeten afirmar que en aquesta zona la principal influència és humana; possiblement per l'efecte de Manresa. Dades recentment publicades ens indiquen que la relació entre el nombre de colí-

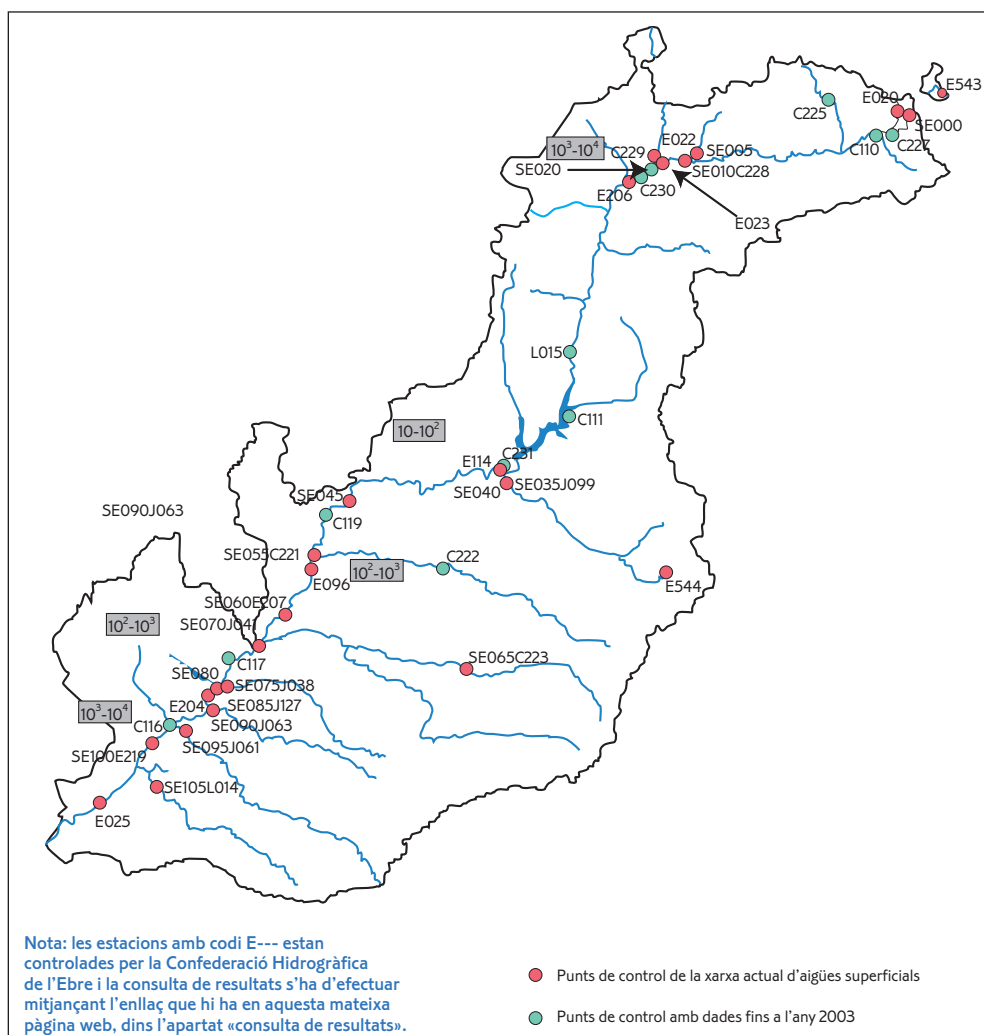


FIGURA 2. Interval de valors (en unitats formadores de colònies per 100 ml) més freqüents de coliforms fecals (en els quadres grisos) en diferents indrets del riu Segre (dades de l'ACA).

fags somàtics i de bacteriòfags de *Bacteroides thetaiotaomicron* GA14 és un excel·lent indicador de l'origen de la contaminació (Blanch *et al.*, 2006b; Payán, 2006); una relació de 100 com la que es dona en aquest punt del riu Llobregat (taula 6) és una indicació inequívoca de l'origen predominantment humà de la contaminació fecal.

Així com hi ha moltes dades públiques sobre la presència d'indicadors a les aigües superficials, aquest no és el cas pel que fa a patògens. Algunes dades referents a alguns patògens publicades com a conseqüència de treball de recerca, no de seguiments de la qualitat microbiològica de les aigües superficials, s'han inclòs en la taula 6. Aquests valors són els esperats en fun-

TAULA 6

Densitats (valor mitjà aproximat) d'alguns patògens representatius a l'aigua de riu

Microorganisme	Nombre (per 100 ml)	Referència
<i>E. coli</i>	5×10^3	Mocé, 2004
<i>Campylobacter</i>	1	Rodríguez i Araujo, en premsa
Enterovirus (per litre)	1	Mocé, 2004
<i>Cryptosporidium</i>	1	Montemayor <i>et al.</i> , 2005
Colifags somàtics*	10^4	Payán, 2006
Bacteriòfags de <i>Bacteroides thetaiotaomicron</i> GA14	10^2	Payán, 2006

* Bacteriòfags que infecten la soca WG5 d'*Escherichia coli* (ISO, 2000).

ció de les densitats en aigües residuals, els nivells d'*E. coli* al riu i les persistències conegudes dels diferents grups de microorganismes a les aigües superficials.

Microorganismes en aigües de xarxa

En aplicació de les directrius derivades de la Directiva marc de la Unió Europea (Directiva 2000/60/CE, de 23 d'octubre de 2000), s'està implantant un Sistema d'Informació Nacional d'Aigua de Consum (SINAC), que ha de recollir tota la informació referent a les anàlisis de control de la qualitat de l'aigua de consum a Espanya. En qualsevol cas, cal assenyalar que aquest és un sistema basat en la bona fe dels qui envien les dades, que són els mateixos responsables de la qualitat de l'aigua de les xarxes. A la taula 7 es resumeixen les dades trobades al SINAC de

TAULA 7

Dades extretes del SINAC referents a qualitat microbiològica d'aigua potable

	Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona
% poblacions amb dades introduïdes	20	36	6	16
% mostres que no compleixen pel que fa a colònies a 22 °C	0,9	0,2	0,6	0,3
% mostres que no compleixen pel que fa a coliforms fecals	0,7	0,2	0	0,5
% mostres que no compleixen pel que fa a <i>Clostridium perfringens</i>	—	0,05	—	—

les poblacions de Catalunya ordenades per províncies (<http://sinac.msc.es>). El nivell d'implantació és encara molt baix, i pràcticament nul pel que fa al món rural, que és on sol haver-hi més problemes (Humphrey i Cruickshank, 1985; Méndez *et al.*, 2004).

Hi ha un petit percentatge de mostres que no compleixen els requisits de qualitat. Donada la falta de dades de la gran majoria de municipis petits es fa encara difícil avaluar en termes generals la qualitat microbiològica de les aigües de xarxa a Catalunya. Cal assenyalar que en un extens estudi fet a l'àrea metropolitana de Barcelona s'ha pogut determinar que el bacteri més sovint detectat en aquelles mostres en què s'han detectat coliforms fecals és *Klebsiella oxytoca*, que ha estat associat a un possible recreixement en els biofilms que es formen a les xarxes (Blanch *et al.*, 2006a), més que a contaminació d'origen fecal.

Relacionats amb aquest potencial recreixement cal assenyalar que *Aeromonas*, implicat en alguns casos de gastroenteritis aguda (GEA), pot recreixer en els biofilms que es formen a les xarxes, igual que *Pseudomonas* i *Legionella*. En un estudi realitzat a la xarxa de l'àrea metropolitana de Barcelona, Ribas *et al.* (2000) varen detectar en algunes zones fins a un 3,3 % de mostres amb *Aeromonas* en 100 ml, encara que no és clar en aquest moment si aquestes *Aeromonas* que recreixen són patogèniques.

Malgrat l'aparent bona qualitat de l'aigua potable hi ha una certa incidència de gastroenteritis produïdes per consum d'aigua (taula 4). Pel que fa a brots ben documentats, s'han donat uns 7 brots amb un total de 317 afectats a l'any de mitjana els darrers 11 anys. Com ja s'ha assenya-

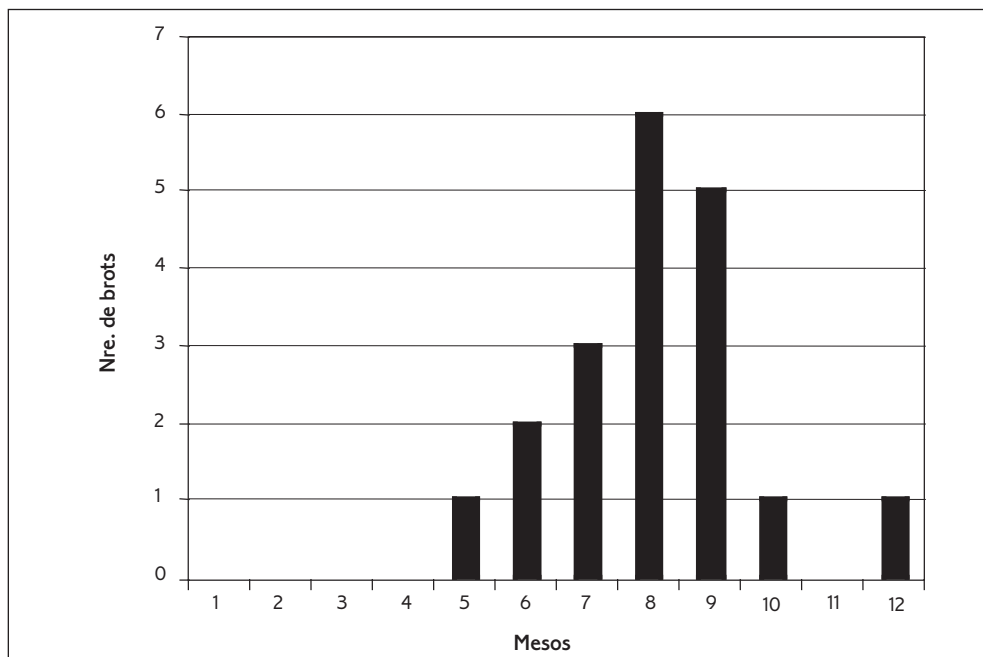


FIGURA 3. Distribució temporal dels brots de GEA lligats al consum d'aigua.

lat abans la incidència de GEA, almenys la lligada a brots, sembla superior a la dels Estats Units d'Amèrica i altres països de l'entorn (Roy *et al.*, 2006; Craun *et al.*, 2006). Pel que fa als agents causals, a la figura 1 se'n pot veure la distribució. Cal destacar que els darrers anys sembla haver disminuït el percentatge de brots que no s'han pogut atribuir a cap agent causal, possiblement com a conseqüència d'una millora del seguiment. Els principals agents causals a Catalunya coincideixen amb els dels països desenvolupats, com per exemple els Estats Units d'Amèrica (Craun *et al.*, 2006).

Crida l'atenció la distribució en el temps dels brots documentats. Es dona una important incidència als mesos de maig a octubre (vegeu la figura 3). Els brots de juliol van lligats a activitats d'estiu i no lligats a xarxes de distribució (càmpings, cases de colònies, campaments, etc.), mentre que els de maig, setembre i octubre estan lligats a xarxes de pobles, i coincideixen amb episodis de períodes de fortes pluges.

Referències bibliogràfiques

- BLANCH, A.; JOFRE, J. (2004). «Emerging pathogens in wastewaters». A: *The Handbook of Environmental Chemistry*. Vol. 5, part 1. Berlín: Heidelberg: Springer-Verlag, p. 141-163.
- BLANCH, A. R.; GALOFRÉ, B.; LUCENA, F.; TERRADILLOS, A.; VILANOVA, X.; RIBAS, F. (2006a). «Characterization of bacterial coliforms occurrences in different zones of a drinking water distribution system». *J. Appl. Microbiol.*, núm. 102, p. 711-721.
- BLANCH, A. R.; BELANCHE-MUÑOZ, L.; BONJOCH, J.; EBDON, J.; GANTZER, C.; LUCENA, F.; OTTOSON, J.; KOURTIS, C.; IVERSEN, A.; KÜHN, I.; MOCÉ, L.; MUNIESA, M.; SCHWARTZBROD, J.; SKRABER, S.; PAPAGEORGIOU, G.; TAYLOR, H.; WALLIS, J.; JOFRE, J. (2006b). «Integrated analysis of established and novel microbial and chemical methods for microbial source tracking». *Appl. Environ. Microbiol.*, núm. 72, p. 5915-5926.
- BOSCH, A.; LUCENA, F.; JOFRE, J. (1986). «Fate of human enteric viruses (rotaviruses and enteroviruses) in sewage after primary sedimentation». *Wat. Sci. Technol.*, núm. 18, p. 47-52.
- CLEMENTE-CASARES, P.; PINA, S.; BUTI, M.; JARDI, R.; MARTIN, M.; BOFILL-MAS, S.; GIRONES, R. (2003). «Hepatitis E virus epidemiology in industrialized countries». *Emerg. Infect. Dis.*, núm. 9, p. 448-454.
- COLFORD, Jr., J.; ROS, S.; BEACH, M.; HIGHTOWER, A.; SHAW, S.; WADE, T. (2006). «A review of household drinking water intervention trials and an approach to the estimation of endemic waterborne gastroenteritis in the United States». *J. Water Health*, núm. 4, p. 71-89.
- COSTÁN-LONGARES, A.; MOCÉ-LLIVINA, L.; AVELLÓN, A.; JOFRE, J.; LUCENA, F. (2008). «Occurrence and distribution of culturable enteroviruses in wastewater and surface waters of northeastern Spain». *J. Appl. Microbiol.*, núm. 105, p. 1945-1955.
- CRAUN, M.; CRAUN, G.; CALDERON, R.; BEACH, M. (2006). «Waterborne outbreaks reported in the United States». *J. Water Health*, núm. 4, p. 19-31.
- GARCÍA-ALJARO, C.; MUNIESA, M.; JOFRE, J.; BLANCH, A. R. (2004). «Prevalence of the stx2 gene in coliform populations from aquatic environments». *Appl. Environ. Microbiol.*, núm. 70, p. 3535-3540.

- GARCÍA-ALJARO, C.; BONJOCH, X.; BLANCH, A. R. (2005). «Combined use of an immunomagnetic separation method and immunoblotting for the enumeration and isolation of *Escherichia coli* O157 in wastewaters». *J. Appl. Microbiol.*, núm. 98, p. 589-597.
- HUMPHREY, J. T.; CRUICKSHANK, J. G. (1985). «The potability of rural supplies: A pilot study». *Community Med.*, núm. 7, p. 43-47.
- LUCENA, F.; BOSCH, A.; JOFRE, J.; SCHWARTZBROD, L. (1985). «Identification of viruses isolated from sewage, riverwater and coastal seawater in Barcelona». *Wat. Res.*, núm. 19, p. 1237-1239.
- LUCENA, F.; DURAN, A. E.; MORON, A.; CALDERON, E.; CAMPOS, C.; GANTZER, C.; SKRABER, S.; JOFRE, J. (2004). «Reduction of bacterial indicators and bacteriophages infecting faecal bacteria in primary and secondary wastewater treatments». *J. Appl. Microbiol.*, núm. 97, p. 1069-1076.
- MALAKKOF, D. (2002). «Microbiologists on the trail of polluting bacteria». *Science*, núm. 295, p. 2352-2353.
- MANOR, Y.; HANDSHER, R.; HALMUT, T.; NEUMAN, M.; ABRAMOVITZ, B.; AMTES, A.; MENDELSON, E. (1999). «A double-selective tissue culture system for isolation of wild-type poliovirus from sewage applied in a long term environmental surveillance». *Appl. Environ. Microbiol.*, núm. 65, p. 1794-1797.
- MARA, D. D.; FEACHEM, R. G. A. (1999). «Water and excreta-related diseases: unitary environmental classification». *J. Environ. Engin.*, núm. 125, p. 334-339.
- MÉNDEZ, J.; AUDICANA, A.; CANCER, M.; ISERN, A.; LLANEZA, J.; MORENO, B.; NAVARRO, M.; TARANCÓN, M. L.; VALERO, F.; RIBAS, F.; JOFRE, J.; LUCENA, F. (2004). «Assessment of drinking water quality using indicator bacteria and bacteriophages». *J. Water Health*, núm. 2, p. 201-214.
- MOCÉ, L. (2004). *Avenços metodològics en la detecció de virus entèrics en aigües*. Barcelona. Tesi doctoral. Barcelona: Universitat de Barcelona.
- MONTEMAYOR, M.; VALERO, F.; JOFRE, J.; LUCENA, F. (2005). «Occurrence of *Cryptosporidium* spp. in oocysts in raw and treated sewage and river water in north-eastern Spain». *J. Appl. Microbiol.*, núm. 99, p. 1455-1462.
- MUNIESA, M.; BLANCH, A. R.; LUCENA, F.; JOFRE, J. (2005). «Bacteriophages may bias outcome of bacterial enrichment cultures». *Appl. Environ. Microbiol.*, núm. 71, p. 4269-4275.
- MUNIESA, M.; JOFRE, J.; GARCIA-ALJARO, C.; BLANCH, A. R. (2006). «Occurrence of *Escherichia coli* O157:H7 and other enterohemorrhagic *Escherichia coli* in the environment». *Environ. Sci. Technol.*, núm. 40, p. 7141-7149.
- PAYÁN, A. (2006). *Bacteriófagos como modelo en el origen de la contaminación fecal y en aguas regeneradas*. Tesi doctoral. Barcelona: Universitat de Barcelona.
- QUERALT, N.; BARTOLOMÉ, R.; ARAUJO, R. (2005). «Detection of *Helicobacter pylori* DNA in human faeces and water with different levels of faecal pollution in the north-east of Spain». *J. Appl. Microbiol.*, núm. 98, p. 889-895.
- RIBAS, F.; PERRAMON, J.; TERRADILLOS, A.; FRIAS, J.; LUCENA, F. (2000). «The *Pseudomonas* group as an indicator of potential regrowth in water distribution systems». *J. Appl. Microbiol.*, núm. 88, p. 704-710.
- RODRÍGUEZ, S.; ARAUJO, R. (en premsa). «Occurrence of thermotolerant *Campylobacter* species in surface waters of a Mediterranean area and its prevailing pollution sources». *J. Appl. Microbiol.*
- ROY, S.; SCALLAN, E.; BEACH, M. (2006). «The rate of acute gastrointestinal illness in developed countries». *J. Water Health*, núm. 4, p. 31-71.

- SEDMAK, G.; BINA, D.; MACDONALD, J. (2002). «Assessment of an enterovirus sewage surveillance system by comparison of clinical isolates with sewage isolates from Milwaukee, Wisconsin, collected August 1994 to December 2002». *Appl. Environ. Microbiol.*, núm. 69, p. 7181-7187.
- VILLENA, C., EL-SENOUSY, W. M.; ABAD, X.; PINTÓ, R. M.; BOSCH, A. (2003). «Group a rotavirus in sewage samples from Barcelona and Cairo: Emergence of unusual genotypes». *Appl. Environ. Microbiol.*, núm. 69, p. 3919-3923.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (2002). *Global Burden of Disease Estimates 2001*. Ginebra: WHO.

SÈRIE JORNADES CIENTÍFIQUES

Títols publicats

- 1 *Language, brain and verbal behavior: Neurobiological aspects of linguistic capacities and language processing* (1999)
- 2 *Physics and geometry* (1999)
- 3 *Jornades sobre l'Obra de Miquel Batllori* (1998)
- 4 *La construcció d'Europa: estats, nacions, regions, vol. I, Aspectes geogràfics, socials i econòmics* (1999)
- 5 *Responses to human cloning* (1999)
- 6 Pendent de publicació
- 7 *Simposi Pompeu Fabra* (2000)
- 8 *La colonització del ciberespai = The colonization of cyberspace* (2003)
- 9 *Jornades per a la Cooperació en l'Estandardització Lingüística* (2000)
- 10 *Jornades sobre Biodiversitat i Conservació Biològica = Seminar on Biodiversity and Biological Conservation* (2004)
- 11 *Els catalans a la Mediterrània oriental a l'edat mitjana* (2003)
- 12 *De fronteres i mil·lennis: la Franja, any 2001* (2003)
- 13 *Puig i Cadafalch i la Catalunya contemporània* (2003)
- 14 *II Jornades per a la Cooperació en l'Estandardització Lingüística* (2002)
- 15 *Terratrèmols i temporals de llevant: dos exemples de sistemes complexos* (2003)
- 16 *Seminari de Finances de Barcelona: Curs 2001-2002* (2002)
- 17 *La llengua i la literatura: història i actualitat* (2004)
- 18 *Història de la historiografia catalana* (2004)
- 19 *L'aigua, un recurs fonamental* (2006)
- 20 *L'aigua a Catalunya* (2009)



9 788492 583539