



*L'AIGUA, UN RECURS
FONAMENTAL*

SECCIÓ DE CIÈNCIES I TECNOLOGIA - SECCIÓ DE CIÈNCIES BIOLÒGIQUES

19

sèrie jornades científiques



19

sèrie jornades científiques

Jornades Científiques de l'Institut d'Estudis Catalans

SECCIÓ DE CIÈNCIES I TECNOLOGIA
SECCIÓ DE CIÈNCIES BIOLÒGIQUES

L'aigua, un recurs fonamental

Coordinadors científics

Damià Barceló
Joandomènec Ros

Barcelona, 1 i 2 de desembre de 2003

Institut d'Estudis Catalans. Jornades Científiques (2003)

L'Aigua, un recurs fonamental : Jornades Científiques de l'Institut d'Estudis Catalans, Secció de Ciències i Tecnologia, Secció de Ciències Biològiques. — (Sèrie jornades científiques ; 19)
Bibliografia
ISBN 84-7283-859-5
I. Barceló i Cullerés, Damià, dir. II. Ros, Joandomènec, dir. III. Títol
IV. Col·lecció: Sèrie jornades científiques ; 19
1. Aigua — Qualitat — Catalunya — Congressos
628.1(467.1)(061.3)

Aquest treball ha comptat amb el suport de la Comissió Interdepartamental de Recerca i Innovació Tecnològica (CIRIT) de la Generalitat de Catalunya.

Disseny gràfic: Maria Casassas

© dels autors de les ponències
© 2006, Institut d'Estudis Catalans, per a aquesta edició
Carrer del Carme, 47. 08001 Barcelona

Primera edició: octubre de 2006
Tiratge: 450 exemplars

Text revisat lingüísticament per l'Oficina de Correcció i Assessorament Lingüístics 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: 84-7283-859-5
Dipòsit Legal: B. 41268-2006

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.

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Introducció</i> | |
| Damià Barceló i Joandomènec Ros | 7 |
| <i>La diagnosi i la millora dels ecosistemes fluvials mitjançant la Directiva marc de l'aigua</i> | |
| Antoni Munné i Narcís Prat | 11 |
| <i>Qualitat microbiològica de l'aigua</i> | |
| Joan Jofre i Francisco Lucena | 33 |
| <i>Qualitat química de l'aigua: els contaminants emergents a Catalunya</i> | |
| Miren López de Alda, M. Dolores Hernando, Mira Petrovic i Damià Barceló | 49 |
| <i>El canvi climàtic i el cicle de l'aigua</i> | |
| Josep Enric Llebot | 65 |
| <i>Tractament d'aigües residuals</i> | |
| Miquel Salgot | 81 |
| <i>Les aigües de consum: criteris de qualitat i control</i> | |
| Leonard Matia | 97 |
| <i>Aspectes econòmics de la gestió de l'aigua</i> | |
| Enric Tello | 109 |
| <i>Algunes problemàtiques de les aigües subterrànies a Catalunya</i> | |
| Xavier Sánchez-Vila i Jesús Carrera | 131 |
| <i>Efecte de la hidrodinàmica en la qualitat de l'aigua dels llacs i els embassaments</i> | |
| Xavier Casamitjana | 145 |
| <i>Incidència dels embassaments de Mequinensa, Riba-roja i Flix en el règim tèrmic i en el transport de sòlids en suspensió del riu Ebre</i> | |
| Josep Dolz, Jordi Prats, Montserrat Roura, Rafael Val i Joan Armengol | 155 |

| | |
|------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Els estanys d'alta muntanya com a registre climàtic</i> | |
| Jordi Catalan | 167 |
| <i>Gestió de la qualitat del medi aquàtic a Catalunya</i> | |
| Antoni Ginebreda Martí | 175 |
| <i>L'aigua en l'agricultura</i> | |
| Joan Ràfols Casamada | 187 |

Introducció

Damià Barceló

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

Joandomènec Ros

Membre de la Secció de Ciències Biològiques de l'Institut d'Estudis Catalans

La Secció de Ciències i Tecnologia i la Secció de Ciències Biològiques de l'Institut d'Estudis Catalans (IEC), en el marc de les seves activitats, van realitzar, en el mes de desembre de 2003, unes Jornades Científiques sobre «L'aigua, un recurs fonamental».

En aquestes Jornades, i dins del context de la nova Directiva marc de l'aigua de la Unió Europea, es van debatre diferents aspectes i problemes associats amb la quantitat i qualitat de l'aigua, tant a les conques internes de Catalunya com a les conques de l'Ebre. Hom tractà de l'aigua des de diferents punts de vista: científic, tecnològic, legal, de gestió, etc. Hom comentà i debaté el consum d'aigua dels recs agrícoles, la contaminació dels aqüífers, els aspectes relacionats amb el tractament i control de l'aigua de consum i de les aigües residuals. Finalment, es realitzà un debat sobre el Pla Hidrològic Nacional (PHN) i el delta de l'Ebre, en què es discutí si és possible una nova gestió dels recursos hídrics respectuosa amb el medi ambient.

Els ponents presentaren els diferents vessants d'una qüestió tan important per al nostre país i de tanta actualitat com és l'aigua com a seu d'ecosistemes d'alt valor, i també com a recurs que cal gestionar i usar de manera sostenible. És clar que no tots els aspectes van poder ser abordats i, tant pels que no ho foren com per les conseqüències i aspectes complementaris dels que ho foren, es féu palesa la necessitat, en un futur proper, de plantejar-ne el tractament en unes altres jornades similars.

Aquests aspectes de coneixement bàsic de l'aigua i del seu paper com a recurs fonamental que cal gestionar no són gens estranys al nostre país, que té una llarga tradició d'estudiosos i gestors. Però les condicions de contorn han canviat en els darrers anys, i és obligat prestar-hi l'atenció que el tema mereix. Els exemples que es tractaren inviten a la reflexió sobre com caldrà tractar en un futur pròxim problemes relacionats amb l'aigua, que van des de la reutilització d'aigües fins a la regulació i la restricció de l'ús de productes industrials, com els detergents.

En el capítol de propostes concretes es va insistir en allò que caldria tenir en compte per a una millor qualitat de l'aigua, i que es pot resumir en: millor depuració de les aigües residuals urbanes, amb un increment significatiu del tractament terciari; reutilització creixent d'aigües depurades, actualment molt baixa, per a tota una sèrie d'usos que no exigeixen la màxima qua-

litat; tractament separat i diferencial des de l'origen de les aigües de procedència industrial; màxima reutilització de l'aigua industrial, per mitjà de circuits tancats i autodepurats, etc. En el fons, caldria implementar la qualitat integral de les aigües, tot promovent programes de vigilància ambiental per als contaminants emergents, de manera que es garanteixin la conservació del medi aquàtic natural, la gestió integral dels recursos hídrics, l'eficiència en l'ús de l'aigua, així com la reutilització d'aquesta. Les contribucions que s'apleguen en aquest volum en donen una bona mostra.

En la taula rodona es va discutir un tema de tanta actualitat llavors com era el Pla Hidrològic Nacional, sobre el qual la majoria de la comunitat científica catalana s'ha manifestat en contra, basant-se en el seu plantejament erroni des de bon començament. Bona part d'aquest rebuig s'ha plasmat en diferents publicacions, com ara l'avaluació crítica de Prat i Ibàñez (2003).¹ Tot i que no es repetirà aquí la seva argumentació, cal afegir una sèrie de comentaris de base científica que fins ara no s'han difós gaire i que les Jornades ajudaren a remarcar. Fins avui no s'ha fet cap estudi alternatiu al PHN, en el sentit de recuperar els aqüífers de les zones on es vol transvasar l'aigua, com al País Valencià i al sud-est d'Espanya. Per què no hi ha cap pla per recuperar aqüífers, com ja ha fet Aigües de Barcelona amb la recuperació de l'aqüífer del Besòs, la qual cosa permetrà obtenir fins a deu milions de metres cúbics addicionals d'aigua per a Barcelona, que representa un 10 % del consum de la ciutat? Avui hi ha tecnologies, com són les de membranes semipermeables, que permeten realitzar aquesta recuperació d'aigües residuals. Hi ha altres aspectes que es qüestionen en el PHN, com el cabal mínim o ecològic, que se situa al voltant dels cent metres cúbics per segon (3.154 hectòmetres cúbics l'any); caldria que aquest cabal es validés tenint en compte consideracions ecològiques. En un estudi recent (Prat i Ibàñez, 2003) s'assenyala que les necessitats bàsiques a la zona de l'Ebre per tal de mantenir el cabal ecològic se situen al voltant dels deu mil hectòmetres cúbics l'any, més de tres vegades el cabal ecològic que ha fixat el Pla Hidrològic Nacional.

Una altra dada: la quantitat total que es pretén transvasar de l'Ebre se situa al voltant dels mil cinquanta hectòmetres cúbics l'any. Segons dades del Instituto Nacional de Estadística, aquesta és la quantitat que es va perdre en les canonades del subministrament d'aigua a tot Espanya, abans d'arribar al consum: la quantitat d'aigua que es vol transvasar de l'Ebre és exactament la mateixa que es perd en el sistema de canalitzacions! Aquesta és una dada que invita a la reflexió i un argument més en contra del PHN. No hem d'oblidar que estem parlant del cicle de l'aigua, que qualsevol part d'aquest cicle és important i que, en definitiva, si millorem la qualitat de l'aigua en el seu origen o evitem les pèrdues, hi haurà més quantitat i qualitat d'aigua a l'abast de tota la població.

Aquest volum que ara es presenta és el reflex d'aquelles Jornades, i una mostra que indica l'interès científic que l'aigua genera en el nostre país i, alhora, un resum de l'experiència acu-

1. N. PRAT i C. IBÀÑEZ (2003), *Avaluació crítica del Pla Hidrològic Nacional i proposta per a una gestió sostenible de l'aigua del Baix Ebre*, Barcelona, Institut d'Estudis Catalans, Secció de Ciències Biològiques.

mulada a Catalunya sobre aquest tema. Els que coordinarem les Jornades sobre «L'aigua, un recurs fonamental», per encàrrec de les respectives seccions de l'IEC, volem agrair a tots els ponents la seva tasca, primer a les Jornades i després en aquesta publicació. Sense el seu esforç, i l'interès dels presidents de les dues seccions i de la nostra col·lega, la doctora Mercè Durfort, ni l'una ni l'altra no hagueren estat possibles. Estem convençuts que aquest volum serà un referent en els temes d'aigua a Catalunya.

La diagnosi i la millora dels ecosistemes fluvials mitjançant la Directiva marc de l'aigua

Antoni Munné

Àrea de Planificació, Agència Catalana de l'Aigua

Narcís Prat

Departament d'Ecologia, Universitat de Barcelona

Resum

L'estat ecològic dels sistemes aquàtics és una nova eina de mesura de l'afecció humana sobre els sistemes naturals que ens proporciona la nova Directiva marc de l'aigua (2000/60/CE), i que ja ha estat parcialment recollida a la Llei d'ordenació, gestió i tributació de l'aigua (Llei 6/1999) a Catalunya. L'estat ecològic ens mesura, de manera íntegra, el funcionament i la salut de l'ecosistema i ens proporciona una eina útil per a la seva gestió i recuperació. La mesura de l'estat ecològic és encara una eina incipient i pendent de millora, en la qual s'està treballant seguint les directrius de la Directiva marc de l'aigua i en la qual es preveu la mesura de paràmetres biològics com la comunitat de macroinvertebrats, els peixos i les algues, l'estat del bosc de ribera, la morfometria del llit del riu, la presència d'hàbitats estructurals i la utilització de variables fisicoquímiques que incideixen en la bona qualitat del sistema. Actualment, la mesura de les primeres versions de càlcul de l'estat ecològic als rius catalans ens proporciona una visió molt deprimida en els trams mitjans i baixos, per la baixa qualitat de les seves aigües i la desaparició del bosc de ribera, mentre que el bon estat i l'estat natural el trobem en capçaleres i trams poc humanitzats.

Abstract

The ecological status of aquatic systems constitutes a new tool to define the human impact on natural ecosystems. This concept comes from the Water Framework Directive (2000/60/EC) and it has already been introduced to the Catalanian law (6/1999). The ecological status measures entirely the ecosystem's condition and health and it gives us a useful tool for its management and recovery. The measure of the ecological status level is still at an early stage of the development process and it recognises the use and importance of aquatic biota such as the macroinvertebrate, algae and fish community, the riparian forest quality, bed morphometry, the existence of structural habitats and the use of physico-chemical parameters for its assessment. Nowadays the ecological status in Catalanian

rivers offers us a very depressed view in their medium-low course because of the poor quality status of river ecosystems and the riparian forest degradation, whereas a good and a very good ecological status level is found in head waters and sparsely populated areas.

1. Introducció

L'estudi dels ecosistemes aquàtics (rius, llacs, embassaments, aiguamolls, etc.) ha esdevingut, en les darreres dècades, un element clau per a millorar el coneixement que tenim sobre l'estructura de les comunitats que els habiten, i entendre millor la relació entre elles i l'entorn. L'estructura i la composició de les comunitats presents en un ecosistema aquàtic són fruit, amb major o menor mesura, d'un seguit d'interaccions biòtiques (depredació, competència, etc.), i de l'estructura i la composició dels hàbitats presents, que poden variar al llarg del temps i de l'espai.

En el cas dels rius, l'estructura de les comunitats i les interaccions entre elles varien en funció del context i l'entorn ambiental (Illies i Botosaneanu, 1963), i al llarg dels cursos fluvials (Vannote *et al.*, 1980; Minshall *et al.*, 1985). Alhora, la variabilitat en el règim de cabals condiciona els hàbitats existents, la morfometria fluvial i la interacció o la connectivitat lateral dels sistemes fluvials amb les zones inundables i els ecosistemes riparis (Junk *et al.*, 1989). També la variabilitat temporal i espacial dels processos fluvials condiciona les comunitats existents en cada tram i moment (Ward i Stanford, 1983), lligades als processos hidrològics (Poff *et al.*, 1997) i hidràulics (Statzner i Higl, 1986), i aquests depenen de fenòmens o factors que, a diferent escala, condicionen de manera jerarquitzada aquesta situació (Frissel *et al.*, 1986). De totes maneres, encara no estan ben definides les relacions existents ni el grau d'interacció entre els diversos elements i variables ambientals a diferent escala, i la seva influència sobre l'estructura de les comunitats biològiques que habiten els sistemes fluvials, tot i que cada un dels diversos elements té una importància relativa en la caracterització final de l'estructura i la composició d'aquesta (Allan *et al.*, 1997; Vinson i Hawkind, 1998).

En l'àmbit mediterrani, els sistemes fluvials presenten una singularitat afegida fonamentada per la marcada temporalitat en el règim de cabals. Mentre que la majoria de sistemes fluvials, sobretot els de caràcter centreeuropeu, presenten un règim de cabals més o menys estables al llarg del temps, tot i les fluctuacions naturals, els torrents i rieres mediterrànies es caracteritzen per una accentuada intermitència i temporalitat del flux, que combina fortes i sobtades crescudes amb períodes de sequera, la qual cosa condiciona significativament la morfometria i la morfodinàmica del sistema fluvial (Uys i O'Keeffe, 1997). Aquests sistemes mostren una singularitat en el funcionament i l'estructura de les comunitats biològiques (Boulton, 1986; Sabater *et al.*, 1993; Gasith i Resh, 1999; Vidal-Abarca, 2001) i una accentuada variabilitat i seqüenciació temporal (Prat *et al.*, 2000b). Aquesta situació provoca que els elements d'anàlisi i gestió utilitzats fins ara i desenvolupats en ecosistemes fluvials, bàsica-

ment dissenyats per a sistemes amb règim hidrològic més estable, puguin arribar a ser insuficients o inadequats per a aquests sistemes, i que siguin necessàries la cerca i la implementació de nous protocols d'anàlisi i models de gestió que, fins i tot, tinguin en compte diferents elements de l'estructura física i biològica d'aquests sistemes peculiars (Moreno *et al.*, 1996; Munné *et al.*, 2003).

En general, el millor coneixement que tenim dels sistemes fluvials ens ha de permetre diagnosticar, de manera integral, el grau d'alteració que pateixen aquests sistemes, i proposar els models de gestió i protecció més adequats. Aquest és el principi fonamental en què es basa la Directiva marc de l'aigua quan proposa una política marc en la gestió dels recursos hídrics, així com compatibilitzar l'ús que es fa de l'aigua i de l'espai associat (parts fonamentals dels ecosistemes aquàtics) amb el bon estat de salut d'aquests sistemes, que permeti una bona estructura i un bon funcionament dels ecosistemes de manera sostenible al llarg del temps. Els protocols necessaris per a la diagnosi de l'estat de salut s'han de basar en la combinació d'indicadors biològics, hidromorfològics i fisicoquímics que siguin capaços d'aportar-nos la informació necessària i, alhora, que s'ajustin al context estructural i funcional d'aquests ecosistemes.

2. La Directiva marc de l'aigua

A la fi del 2000 la Comissió i el Parlament europeus van aprovar i van publicar l'anomenada Directiva marc de l'aigua (2000/60/CE) (DOCE, 2000) (en endavant, DMA). Com el seu nom indica, aquesta normativa europea intenta donar un marc d'actuació comuna sobre la gestió de l'aigua a tots els estats membres de la Unió Europea. L'aigua deixa de ser vista exclusivament com a recurs i es té en compte com a element bàsic dels ecosistemes hídrics i com a part fonamental per al sosteniment d'una bona qualitat ambiental. En aquesta normativa, els aspectes biològics, i també els hidromorfològics, prenen rellevància en la diagnosi integrada de la qualitat, i s'hi proposa la regulació de l'ús de l'aigua i els espais associats a partir de la capacitat receptora que aquests tenen sobre els diferents tipus d'impacte que poden suportar. D'aquesta manera, es promou l'explotació i l'ús dels recursos, i els espais hídrics, de manera responsable, racional i sostenible, de tal manera que es pugui garantir, al llarg del temps, el manteniment de la comunitat pròpia del sistema, o la més similar possible, és a dir, el *bon estat ecològic*.

Aquesta normativa comunitària neix, en certa manera, de la insatisfacció generalitzada, a Europa, que han produït l'execució dels diferents plans i programes de sanejament i millora dels sistemes aquàtics, els quals, en molts casos, no han obtingut els resultats esperables o desitjats. Tot i que es limiten els abocaments i les agressions al medi, i que millora la qualitat fisicoquímica, els ecosistemes aquàtics, en molts casos, no han recuperat el seu estat de salut. Aquesta Directiva vol canviar la tendència, utilitzada en directives precedents, de limi-

tar els abocaments (91/271/CEE, 76/464/CEE), o determinar la qualitat del medi en funció dels seus usos (75/440, 76/160, 78/659 i 79/923), i introdueix els següents principis bàsics:

— *Principi de no-deteriorament, manteniment i assoliment del bon estat de les masses d'aigua superficials i subterrànies.* La necessitat de limitar els usos, els abocaments o les activitats que afecten el medi hídric, directament o indirecta, en funció del medi receptor i de la capacitat que té per a suportar els impactes esmentats. Així, els sistemes aquàtics hauran de caracteritzar-se i tipificar-se per a ajustar millor els protocols de diagnosi i el model de gestió sobre el sistema.

— *Principi de l'enfocament combinat de la contaminació i la gestió integrada del recurs.* La Directiva recull els objectius i les finalitats de directives anteriors, i les engloba en una visió integradora dels sistemes que han d'analitzar, en el nostre cas, els sistemes aquàtics, amb un enfocament combinat, i des d'un punt de vista ecosistèmic. La limitació en l'ús de l'aigua, els abocaments o les activitats que impacten en els ecosistemes hídrics es realitza a partir d'una anàlisi integrada del medi on, a més de considerar els elements fisicoquímics adequats per al manteniment d'una bona qualitat, es preveu l'ús dels principals elements naturals que el conformen (les comunitats biològiques), i la qualitat de l'estructura que la suporta (l'hàbitat). La unitat (part del sistema hídric) sobre la qual s'elabora la gestió integrada, el programa de control, i el programa de mesures per a l'assoliment o el manteniment del bon estat ecològic, s'anomena *massa d'aigua*.

— *Principi de plena recuperació de costos dels serveis relacionats amb l'aigua i els espais aquàtics.* La nova Directiva introdueix els conceptes de *plena recuperació* i *internalització dels costos*, també els ambientals, derivats dels serveis relacionats amb l'ús de l'aigua, i del manteniment sostenible del bon estat de salut dels ecosistemes associats. El tribut de l'ús de l'aigua i de l'espai fluvial de manera sostenible ha de repercutir sobre el beneficiari o el titular de l'activitat.

— *Principi de participació pública i transparència en les polítiques de l'aigua.* La gestió dels recursos, i els programes de mesures i de control, que han de ser integrats dins el nou Pla de Gestió (nou Pla Hidrològic) per a assolir el bon estat ecològic dels sistemes fluvials, s'han d'elaborar a través de la participació i el consens social, a partir de mecanismes de participació ciutadana, i sota una total transparència pública.

La principal finalitat de la DMA és l'assoliment i el manteniment del bon estat ecològic i químic per a les aigües superficials, el bon potencial ecològic i químic per a les masses declarades com a fortament modificades, i el bon estat químic i quantitatiu per a les aigües subterrànies, a través d'un seguit de compromisos i treballs que s'han de realitzar abans que s'acabi el 2015 (figura 1). Val a dir que la pròpia Directiva preveu mecanismes d'ajornament d'objectius, i la reducció de les exigències a partir de la declaració de diferents masses d'aigua com a fortament modificades a causa de la seva condició d'irreversibilitat per motius econòmics, socials o ambientals en l'assoliment del bon estat ecològic.

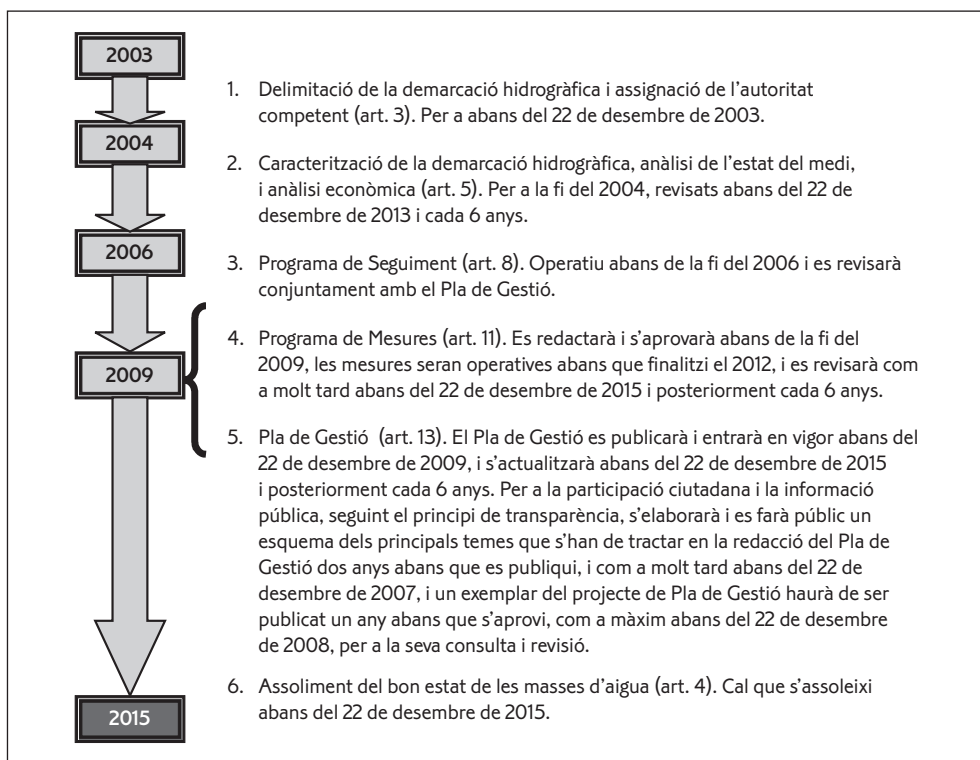


FIGURA 1. Resum esquemàtic del calendari de les principals actuacions que s'han de dur a terme segons la Directiva marc de l'aigua (2000/60/CE).

3. El concepte de *bioindicador*

El concepte de *bioindicador* ja existia molt abans de l'aparició i la publicació de la DMA (Kolkwitz i Marsson, 1908; Woodiwiss, 1964; Margalef, 1969; Prat, 1979), tot i que la Directiva marc de l'aigua li atorga caràcter normatiu en utilitzar-lo com a valor referent, i com a element de diagnosi i control en la gestió dels recursos hídrics. S'entén com a indicador biològic, o bioindicador, un organisme o grup d'organismes que, per la simple presència al medi analitzat, ens aporta informació de les característiques i l'estat de salut d'aquest. Les variables fisicoquímiques que s'utilitzen per a la qualificació de l'estat dels sistemes aquàtics donen una informació concreta que ens ajuda a interpretar la qualitat de l'aigua per a la vida fluvial però que, d'una banda, poden tenir grans fluctuacions en períodes curts de temps, i d'altra, informen tan sols de les variables mesurades en el període de mostreig concret. Pel que fa als organismes presents al sistema analitzat, tenen cicles biològics més o menys llargs, i la seva presència ens demostra la continuïtat d'unes condicions ambientals determinades que s'haurien mantingut al llarg del temps,

com a mínim el temps del seu cicle biològic. D'altra banda, també, la utilització d'organismes aquàtics per a la determinació de la qualitat de l'aigua integra els efectes de tots els elements contaminants existents al riu i les possibles sinèrgies. Els organismes trobats al medi analitzat, juntament amb el coneixement de les condicions mínimes que cada un d'ells pot suportar, i comparant-ho amb les comunitats existents en estat natural o sense pertorbar, ens aporten informació sobre la qualitat del sistema o el grau d'afecció que suporta l'ecosistema.

En molts dels estudis realitzats, és palesa la degradació dels ecosistemes fluvials per tota mena d'actuacions humanes (Prat *et al.*, 2002b), sobretot a partir de la segona meitat del segle xx (Prat *et al.*, 2000a). La contaminació i l'eutrofització del medi per diversos abocaments d'origen orgànic urbà, ramader i/o industrial, la manca de cabals mínims circulants per extraccions o derivacions d'aquests, la destrucció de la vegetació de ribera pel pas d'infraestructures i usos poc respectuosos, la modificació de la morfometria de les zones inundables, la desestabilització morfodinàmica en l'equilibri erosió/sedimentació i, en general, els creixents ús i urbanització del sòl i la desestructuració dels ecosistemes forestals terrestres han estat alteracions que han degradat progressivament l'estat de salut dels sistemes aquàtics fins, en alguns casos, a situacions completament irreversibles. Totes aquestes perturbacions han modificat les condicions ambientals dels ecosistemes, i han reduït la capacitat que tenen per a acollir una comunitat ben estructurada, la qual cosa ha provocat la reducció de la diversitat biològica, ha potenciat la presència d'espècies oportunistes i l'èxit en la supervivència d'espècies invasores que, en molts casos, esdevenen biomasses elevades. L'anàlisi de les comunitats existents, i el coneixement de les comunitats potencials o presents en condicions naturals, és el fonament en què es basen els sistemes de biomonitoratge.

La continuada degradació del medi natural, i l'emergent sensibilització social, han conduït les administracions competents a engegar programes de mesures correctores, de sanejament i restauració, i a establir xarxes de control i seguiment de la qualitat. Per tant, era necessari elaborar i dissenyar sistemes de diagnosi i indicadors de qualitat per tal de poder quantificar l'impacte de les alteracions sobre els sistemes, identificar el seu origen i avaluar l'eficiència de les mesures correctores i de millora que s'anaven implantant. En aquest sentit, els elements per a l'anàlisi de la qualitat i la diagnosi ambiental han anat evolucionant per tal d'augmentar la seva eficiència i significació. A Catalunya, per exemple, en alguns casos des de l'Administració, i en altres des de centres de recerca i entitats locals, s'ha passat de tan sols detectar alguns paràmetres organolèptics, a mesurar paràmetres fisicoquímics més complets, substàncies tòxiques i perilloses, a l'elaboració d'índexs de qualitat basats en variables fisicoquímiques (Queralt, 1982), fins a arribar a l'ús d'indicadors biològics que ens mesuren directament l'estat de salut en què es troba l'ecosistema de manera integrada, ja sigui a partir de la comunitat de macroinvertebrats (Margalef, 1951; Prat *et al.*, 1986; Prat *et al.*, 1999; Benito i Puig, 1999), de peixos (Sostoa *et al.*, 2003), algues (Sabater *et al.*, 1996; Sabater *et al.*, 2003; Cambra *et al.*, 2003), l'estructura del bosc de ribera (Munné *et al.*, 1998a; Munné *et al.*, 2003), la qualitat taxonòmica del bosc de ribera (Gutiérrez *et al.*, 2001), l'estat de salut dels sistemes riparis a partir de l'anàlisi

de l'ornitofauna fluvial (Chacón i Carceller, 1996) o l'ús d'amfibis i diversos elements combinats (Prat *et al.*, 2000c; Prat *et al.*, 2000d; Boada *et al.*, 2003).

Actualment, els sistemes de biomonitoratge busquen minimitzar la diferència entre l'esforç i l'eficiència dels resultats per a disminuir el temps d'obtenció i processament de mostres. Per això, les metodologies i els protocols de monitoratge ràpid estan adquirint cada vegada més importància en els programes de control de contaminació aquàtica en diferents països industrialitzats (Barbour *et al.*, 1999). La utilització de diferents grups d'organismes i índexs biològics també permet d'obtenir uns resultats molt més fiables, així com una millor interpretació dels mateixos (Karr, 1999). Per això es recomana l'estudi conjunt dels macroinvertebrats, comunitats fitobentòniques, peixos i d'altres elements fonamentals en el funcionament dels ecosistemes fluvials, com el bosc de ribera o la qualitat estructural de l'hàbitat fluvial.

Són diversos els països d'arreu del món que utilitzen bioindicadors per a l'anàlisi de l'estat de salut dels sistemes hídrics respectius, sobretot en rius, tot i que, en la majoria dels casos, aquestes eines no tenen caràcter normatiu. A Europa, sobretot després de l'aprovació de la DMA, a l'Amèrica del Nord, al sud d'Àfrica i a Austràlia, es treballa intensament en el desenvolupament de sistemes de monitoratge per a la qualificació de l'estat ecològic dels sistemes aquàtics de manera integral (Verdonschot, 2000), i són les administracions de diversos àmbits, tant local, com de conca o governamentals, qui fa anys que desenvolupen i apliquen sistemes de monitoratge basats en bioindicadors (Metcalf, 1989; Diamond *et al.*, 1996). De fet, en els darrers anys, s'han obert diferents fòrums de debat sobre quin seria el millor mètode per a qualificar la salut dels sistemes fluvials, en els quals es destaca, d'una manera més o menys unànime, la necessitat d'establir unes estacions o situacions de referència a partir de les quals, comparant-les amb les dades obtingudes en cada mostreig, es pugui establir la mesura de la qualitat del sistema (Reynoldson *et al.*, 1997; Wallin *et al.*, 2003). De totes maneres, el sistema i el procediment que s'han d'utilitzar per a calcular la qualitat, tant de les estacions de referència com de les que mesurem, és encara un tema obert per al qual cada país utilitza el seu propi sistema. Es destaquen, de manera general, dues escoles: l'angloaustraliana, basada en mètodes de predicció amb estadístiques que necessiten una curiosa presa de dades i tractament d'aquestes (Wright *et al.*, 1984; Moss *et al.*, 1999), utilitzada també en alguns rius de la Península (Armitage *et al.*, 1990), i la nord-americana, que es basa en la utilització de diferents mètriques i índexs per a avaluar la qualitat del sistema, tant de l'aigua com de l'hàbitat, el bosc de ribera o la qualitat de la conca de manera integrada (Barbour *et al.*, 1995; Karr, 1999), també usats a la península Ibèrica i a Catalunya (Prat *et al.*, 2000c; Jáimez-Cuéllar *et al.*, 2002).

4. L'estat ecològic, una mesura de la salut dels ecosistemes aquàtics

El concepte de *estat ecològic* és introduït pel text normatiu de la Directiva marc de l'aigua, i sorgeix com a element clau de mesura per a l'anàlisi de la qualitat dels sistemes aquàtics, on

s'integra una visió del seu estat de salut. Aquest apareix a la legislació catalana (Llei 6/1999, i el text refós de la legislació en matèria d'aigües de Catalunya, el Decret legislatiu 3/2003 de 4 de novembre), i s'ha transposat a la normativa estatal (Llei 46/1999, el text refós de la Llei d'aigües 1/2001 de 20 de juliol, modificat per la Llei 62/2003 de 30 de desembre, de mesures fiscals, administratives i de l'ordre social). De totes maneres, la mesura de l'estat ecològic és un concepte que està en ple desenvolupament i discussió (Prat *et al.*, 2000a; Prat, 2002; European Commission, 2003), i sobre el qual encara ens queden alguns interrogants per a aclarir, com la mesura de la qualitat hidromorfològica dels sistemes fluvials, o la manera concreta com s'ajustarà i s'interpretarà en funció de cada tipus de sistema que s'ha d'anàlitzar, o la selecció i l'anàlisi dels estats de referència per a cada un dels indicadors biològics i les mètriques d'anàlisi que s'han d'utilitzar, etc. Primer cal fer una tipologia dels sistemes fluvials; s'entén que no es pot mesurar d'igual manera l'estat ecològic, ni exigir els mateixos estats de referència, per exemple, a les aigües dels rius de muntanya que als dels trams fluvials més baixos, i també caldrà decidir quins elements dels sistema s'han d'utilitzar, i de quina manera, per a la mesura concreta de l'estat ecològic. Els elements que s'han de tenir en compte, els indica la Directiva al seu annex V (taula 1), i poc a poc van sortint iniciatives i treballs orientats a combinar tots aquests elements i paràmetres per a l'anàlisi de l'estat ecològic (European Commission, 2003).

TAULA 1

Elements que cal considerar en la definició de l'estat ecològic a les diferents categories de masses d'aigua definides a la Directiva marc europea (annex V)

| | |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Paràmetres biològics</i> | Flora aquàtica Invertebrats bentònics Fauna piscícola |
| <i>Paràmetres hidromorfològics</i> | Règim hidrològic <i>Quantitat i dinàmica del flux</i> <i>Connexió amb les aigües subterrànies</i> Continuïtat del riu Condicions morfològiques <i>Fondària i amplada (ecohidràulica)</i> <i>Substrat</i> <i>Estructura de la ribera</i> |
| <i>Paràmetres fisicoquímics</i> | Genèrics <i>Temperatura</i> <i>Oxigen dissolt</i> <i>Sals (conductivitat)</i> <i>Acidificació (pH, alcalinitat)</i> <i>Nutrients</i> Específics <i>Substàncies prioritàries (tòxiques i perilloses)</i> <i>Substàncies abocades en quantitats significatives</i> |

5. La implantació de la Directiva marc de l'aigua a Catalunya

5.1. La tipificació fluvial

Actualment, l'Agència Catalana de l'Aigua, conjuntament amb el Departament d'Ecologia de la UB, han enllestit els treballs necessaris per a la determinació dels tipus de sistemes fluvials que podem trobar a les conques internes de Catalunya (Munné i Prat, 2002; Munné i Prat, en premsa), d'acord amb els criteris establerts a la DMA. Els tipus fluvials són necessaris per tal d'establir els objectius de qualitat i ajustar el programa de mesures correctores més adequades a cada sistema. Per a la tipificació fluvial no s'han tingut en compte ni l'activitat humana ni aquells descriptors modificats o fruit d'aquesta, ja que el sentit d'aquesta classificació se centra en la classificació de grups de rius amb unes condicions naturals ambientals homogènies i, per tant, amb una estructura i un funcionament de l'ecosistema similar. Això ens permetrà, a partir de l'anàlisi dels referents en cada tipus fluvial, la qualificació de la pertorbació d'origen antropogènic de manera més ajustada (Bailey *et al.*, 1998), i concretar els programes de mesures en la recuperació i/o protecció d'aquests ambients per a assolir, o conservar, el bon estat ecològic.

L'heterogeneïtat ambiental de les conques internes de Catalunya, i la disponibilitat de dades fiables i representatives d'aquesta condició, permeten ajustar el nivell de discriminació mantenint, alhora, una interpretació i una justificació espacial coherents. Així, utilitzant metodologies d'anàlisi multivariant i de classificació i ordenació de diferents trams fluvials, mitjançant l'anàlisi de variables ambientals no alterades per l'activitat humana o restituïdes al seu estat natural (quan i on era possible), variables hidrològiques, morfomètriques, geològiques i climàtiques, podem definir els *tipus fluvials* dins d'un marc contextual europeu, i un segon nivell de discriminació més detallat, que anomenem *subtipus de gestió fluvial*, útil dins l'àmbit de gestió de conca, i operatiu en l'àmbit d'organisme de conca (Agència Catalana de l'Aigua) (taula 2 i figura 2).

TAULA 2
Tipus fluvials (5) i subtipus de gestió fluvial (10) definits a les conques internes de Catalunya (Munné i Prat, 2002; Munné i Prat, en premsa)

| <i>Tipus fluvials</i> | <i>Subtipus fluvials</i> |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Rius de muntanya humida | 1a. Rius de muntanya humida silícica 1b. Rius de muntanya humida calcària |
| 2. Rius de muntanya mediterrània | 2a. Rius de muntanya mediterrània silícica 2b. Rius de muntanya mediterrània calcària 2c. Rius de muntanya mediterrània d'elevat cabal |
| 3. Rius de zona baixa mediterrània | 3a. Rius de zona baixa mediterrània 3b. Rius de zona baixa mediterrània silícica 3c. Rius amb influència càrstica |
| 4. Eixos principals | 4a. Eixos principals |
| 5. Torrents litorals | 5a. Torrents litorals |

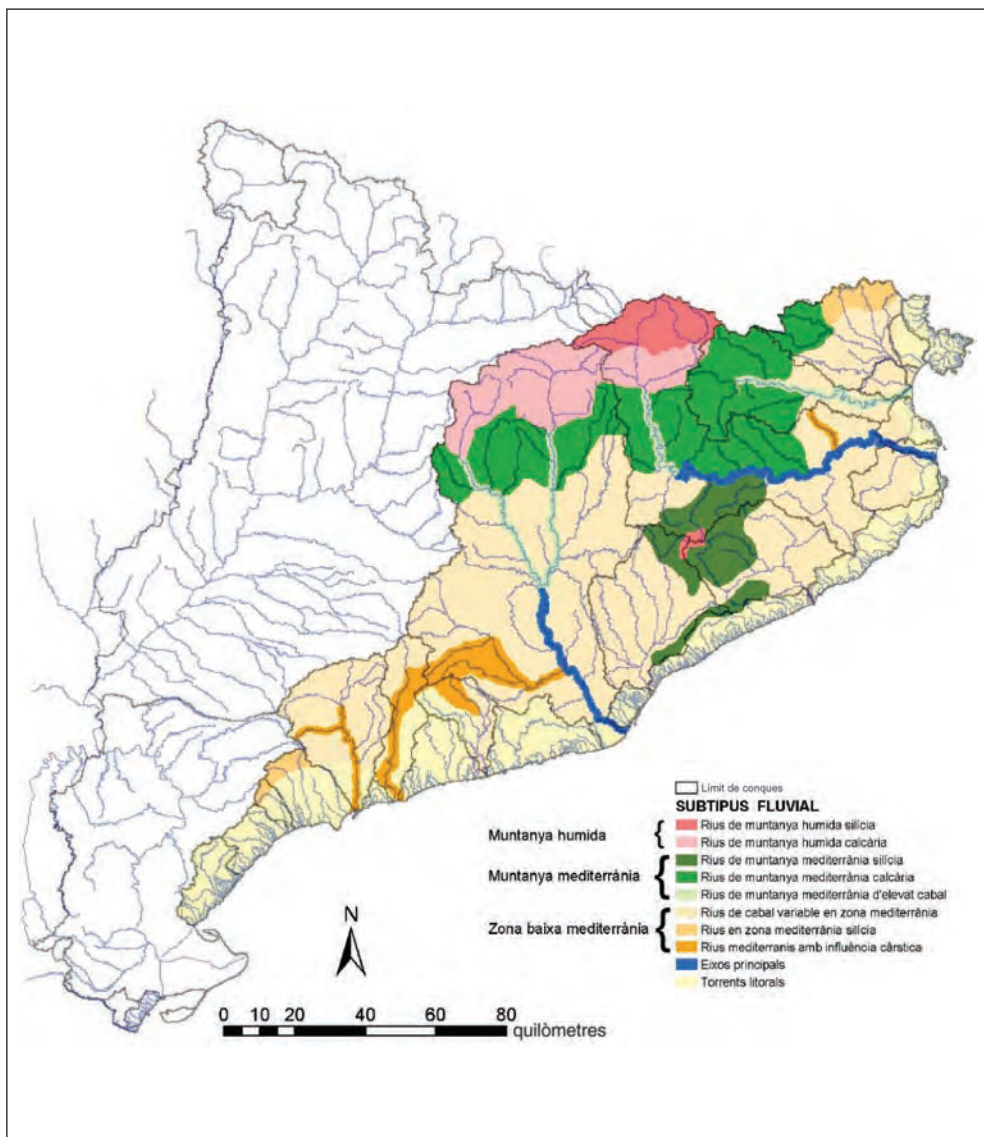


FIGURA 2. Tipus fluvials (5) i subtipus de gestió fluvial (10) definits a les conques internes de Catalunya (Munné i Prat, 2002; Munné i Prat, en premsa).

En cada un dels *subtipus de gestió fluvial* s'hauran d'assignar els estats de referència pel que fa a la qualitat biològica, morfomètrica i fisicoquímica del sistema fluvial. Per a aquesta tasca s'han de cercar els trams de rius que, dins de cada subtipus fluvial, presentin un estat de conservació i naturalitat elevats, i una alteració antropogènica quasibé inexistent (trams fluvials de

referència) (Bonada *et al.*, 2002). Mitjançant l'anàlisi de les condicions naturals dels trams de referència seleccionats, s'assignaran els objectius de qualitat per a cada subtipus fluvial que, en alguns dels casos, i per a algun dels elements analitzats, poden ser el mateix en dos o més subtipus.

La tipificació fluvial, i l'anàlisi dels estats de referència d'aquesta, són la base que ens permetrà ajustar els plans sectorials i els programes d'actuació a les característiques específiques dels espais fluvials de les conques internes de Catalunya.

5.2. L'estat ecològic dels rius catalans

En els darrers anys s'han realitzat diferents estudis en els sistemes fluvials catalans dirigits cap a la diagnosi ambiental mitjançant l'ús d'elements biològics, com ara la comunitat d'algues bentòniques (Cambra *et al.*, 1991; Muñoz i Prat, 1994; Merino *et al.*, 1994; Sabater *et al.*, 1996), els macroinvertebrats (Muñoz *et al.*, 1998; Munné i Prat, 1999; Prat *et al.*, 1999), o la comunitat de peixos (Aparicio *et al.*, 2000). I des de l'administració de conca competent de les conques internes de Catalunya (l'Agència Catalana de l'Aigua) s'han iniciat xarxes de control de qualitat utilitzant índexs basats en macroinvertebrats —el BMWPC (Benito i Puig, 1999), derivat de l'ibèric IBMWP (Alba-Tercedor i Sánchez-Ortega, 1988; Alba-Tercedor *et al.*, 2002)—, i actualment s'està introduint l'ús d'indicadors per a mesurar la qualitat del bosc de ribera —com el QBR (Munné *et al.*, 1998a; Munné *et al.*, 2003) i l'IVF (índex de vegetació fluvial) (Gutiérrez *et al.*, 2001)—, l'anàlisi de la comunitat piscícola —amb l'ús de l'índex IBICAT (Sostoa *et al.*, 2003)—, l'anàlisi de la comunitat fitobentònica —amb l'ús d'algues diatomees (índexs IPS, IBD i CEE) (Sabater *et al.*, 2003; Cambra *et al.*, 2003)—, o l'ús de macroalgues bentòniques (Cambra *et al.*, 2003) i l'anàlisi de l'hàbitat fluvial (índex IHF) (Pardo *et al.*, 2002).

De totes maneres, no es té, fins al moment, ben definit el procediment per a combinar tots aquests indicadors basats en diferents comunitats biològiques, o els diferents elements i mètriques dins de cada indicador, ni tampoc com combinar-ho amb els elements d'anàlisi de la qualitat hidromorfològica i fisicoquímica. S'està treballant en la resposta d'aquests índexs a la tipologia fluvial, concretant els estats de referència per a cada un d'ells per a poder, d'aquesta manera, ajustar el valor de la diagnosi i fer-lo comparable entre trams fluvials. Utilitzant els diferents indicadors de qualitat biològica de l'aigua, i combinant-los d'acord amb els protocols establerts en els grups de treball per a la interpretació de la Directiva marc de l'aigua, i el seu annex V (Wallin *et al.*, 2002; European Commission, 2003), juntament amb l'anàlisi de la qualitat hidromorfològica i fisicoquímica dels sistemes fluvials, es pot dissenyar un procés d'anàlisi de l'estat ecològic que, actualment, està en fase d'ajust i concreció abans de ser adoptat com a protocol d'anàlisi de l'estat ecològic a Catalunya (figura 3).

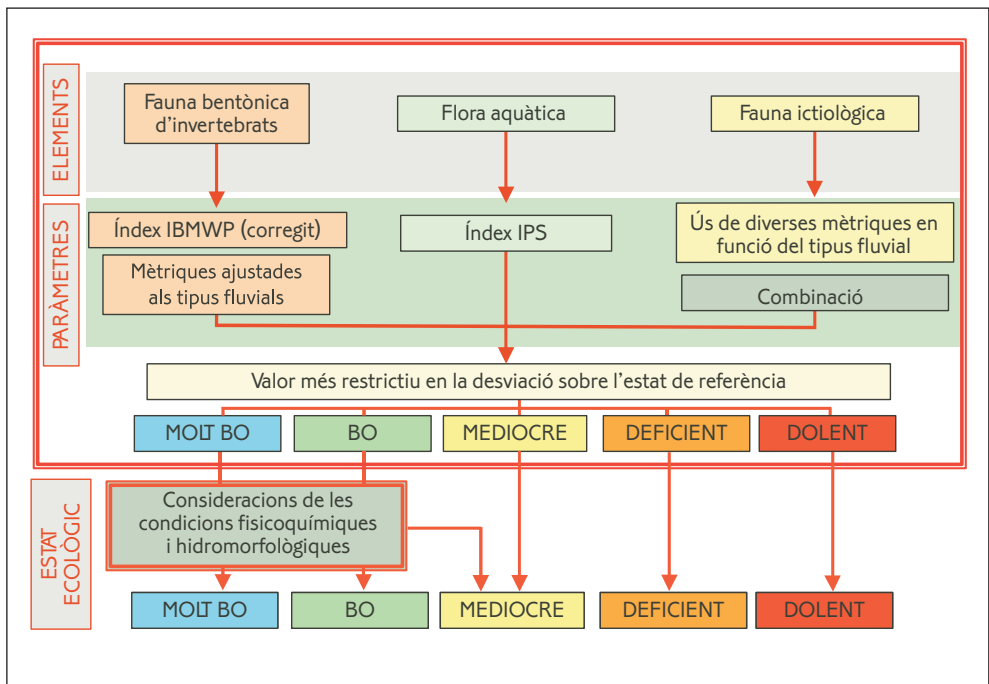


FIGURA 3. Proposta provisional de combinació de mètriques i indicadors de qualitat dels sistemes fluvials per a l'establiment de l'estat ecològic en rius catalans.

Actualment, encara no hi ha dades concretes del resultat final en l'aplicació d'un protocol integrat d'anàlisi de l'estat ecològic als rius catalans utilitzant tots els elements i indicadors proposats per la DMA, tot i que alguns autors han combinat diferents elements per a l'anàlisi integrat de l'estat de salut de certs sistemes fluvials a Catalunya (Prat *et al.*, 2000c), i de l'Estat espanyol (Jáimez-Cuéllar *et al.*, 2002). Així, del que es té informació més acurada i generalitzada és dels resultats en l'aplicació de diferents indicadors i mètriques per separat, que poden donar una idea de la situació en què ens trobem.

L'índex BMWPC s'aplica a Catalunya des de mitjan anys noranta, i els seus resultats i l'evolució al llarg del temps ens mostren una situació que encara ha de millorar (figura 4), tot i l'increment de qualitat en els darrers anys, sobretot des de la posada en marxa del Pla de Sanejament a Catalunya. Actualment existeixen, aproximadament, un 40 % dels trams fluvials analitzats amb un estat per sota de l'acceptable segons la Directiva marc de l'aigua (l'estat bo o molt bo). En aquests trams caldrà aplicar-hi programes de mesures per a millorar l'estat de salut del medi que, en algunes ocasions, no passarà solament per un millor sanejament de l'aigua, sinó per garantir un cabal mínim circulant, millorar la diversitat d'hàbitats o restaurar el bosc de ribera. Les estacions amb una qualitat biològica de l'aigua similar a la d'un estat natural, sense pertorbar

(estat molt bo), se situen en capçaleres i zones poc urbanitzades, mentre que la majoria de trams de rius en estat moderat o deficient, amb aigües eutròfiques, sobretot aquells trams amb abocaments de depuradores i poc cabal natural per a diluir-los, o trams fluvials amb sistemes de sanejament insuficients, se situen als trams baixos, i a prop de les grans concentracions urbanes.

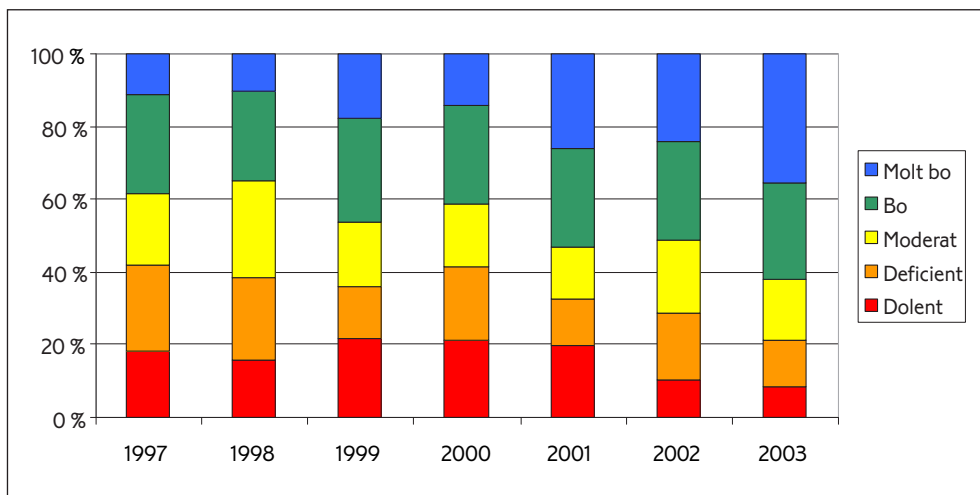


FIGURA 4. Evolució dels índexs biològics (BMWPC) en les estacions en què s'han fet mostratges a les conques internes de Catalunya des de l'any 1997 fins al 2003. Dades de l'Agència Catalana de l'Aigua.

Pel que fa a la diagnosi de qualitat mitjançant l'anàlisi de les comunitats fitobentòniques (índex IPS basat en l'ús de diatomees), la situació no varia en excés (figura 5). Als trams més baixos dels rius hi trobem els estats qualitius més degradats, sobretot als trams més urbanitzats, el Besòs i el Llobregat als costats de Barcelona, i el tram baix del Francolí i de l'Anoia. En aquests trams caldrà analitzar amb consciència la possibilitat i la viabilitat real de millora fins al bon estat i, en el cas que aquest no sigui possible, caldrà definir i adoptar la millor qualitat possible per a cada indret, el que la DMA anomena *el potencial ecològic*.

La comunitat piscícola també ha sofert un deteriorament progressiu en la qualitat de l'estructura de les poblacions existents. Certes espècies, com la bagra (*Squalius cephalus*), o l'espínol (*Gasterosteus gymnuris*), han sofert una reducció significativa en les seves àrees de distribució i biomassa, sobretot en els darrers cinquanta anys (Sostoa *et al.*, 2003), i han proliferat espècies invasores com la carpa (*Cyprinus carpio*), el peix sol (*Lepomis gibbosus*), o la perca americana (*Micropterus salmoides*), entre d'altres, que han ajudat a la desestructuració de les comunitats i la simplificació de l'ecosistema. Actualment, a Catalunya hi ha una fauna de peixos continentals d'unes 47 espècies, 21 de les quals (un 45 %) es consideren intro-

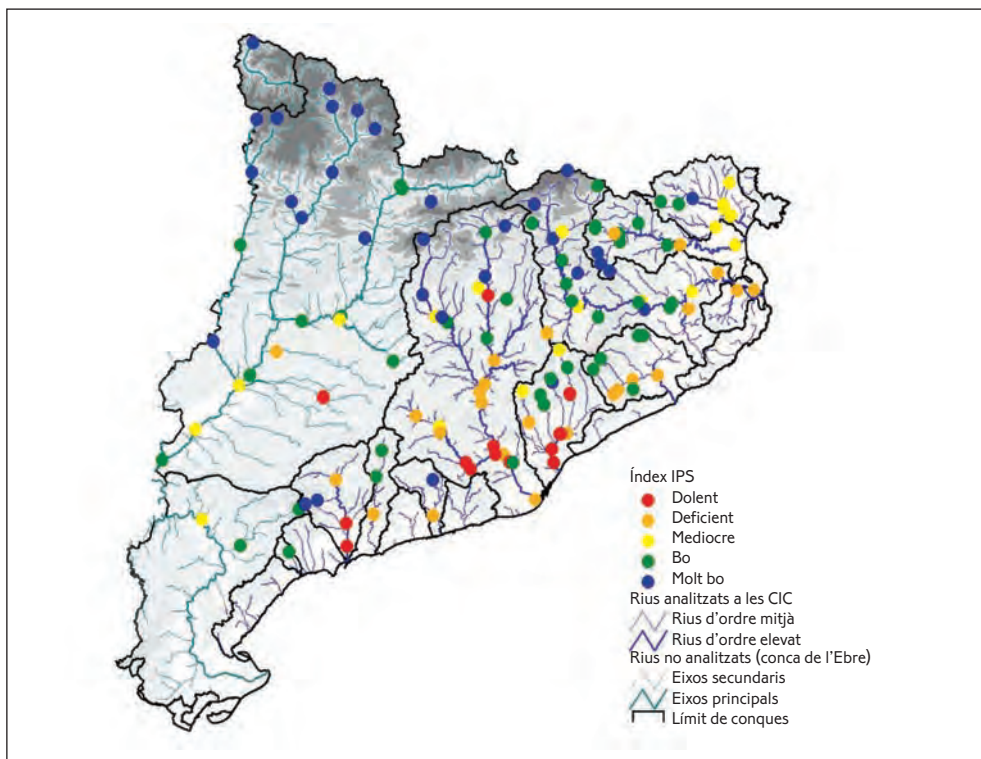


FIGURA 5. Aplicació de l'índex IPS basat en les comunitats de diatomees bentòniques als rius de Catalunya (Sabater *et al.*, 2003; Cambra *et al.*, 2003).

duïdes. Aquesta situació s'esdevé, no tan sols per la manca de qualitat fisicoquímica que han sofert molts trams fluvials i que, en recuperar-se lleugerament, han estat envaïts per espècies introduïdes i de ràpida colonització, sinó també per la constant destrucció dels hàbitats fluvials, la manca de cabals circulants adequats, amb les crescudes periòdiques (Poff *et al.*, 1997), i la manca de qualitat dels boscos de ribera. La densitat de peixos a la majoria de rius catalans es troba, avui dia, per sota dels mil individus per hectàrea, i tan sols algunes capçaleres o trams fluvials ben conservats presenten densitats per sobre els deu mil ind./ha (Sostoa *et al.*, 2003). En una primera aproximació en l'anàlisi de la qualitat fluvial a Catalunya mitjançant un índex de peixos (índex IBICAT), sobre una mostra de 317 estacions analitzades, 193 es consideraven impactades (un 61 %), i la resta, 124 estacions bàsicament situades a les capçaleres del Fluvià, el Ter i la Tordera, i a les conques altes de les Nogueres i el Segre (un 39 %), presentaven un estat de qualitat acceptable, és a dir, amb una bona estructura de la comunitat de peixos que li correspondria.

Pel que fa a la qualitat de les franges riberenques —els boscos de ribera—, també han sofert una severa degradació en els darrers anys (figura 6). Des del Departament d'Ecologia

de la UB, i amb el suport del Servei de Medi Ambient de la Diputació de Barcelona, s'està duent a terme un seguiment de la qualitat dels boscos de ribera als principals eixos fluvials de la província de Barcelona des de 1998 utilitzant l'índex QBR (Munné *et al.*, 1998*b*; Prat *et al.*, 1999; Prat *et al.*, 2002). S'observa com actualment gairebé un 70 % de les estacions estudiades es troben en un estat inacceptable, i aquesta situació sembla que té una tendència creixent en els darrers anys, segurament ateses les diverses actuacions urbanístiques o endegaments i canalitzacions executades en aquests espais. Tan sols un 10 % de les estacions analitzades es troben en un estat excel·lent o natural (figura 6). Des de l'Agència Catalana de l'Aigua s'ha recollit informació disponible en l'aplicació de l'índex QBR a diversos indrets de la geografia catalana aplicats per diverses organitzacions i entitats locals o supramunicipals (taula 3). L'anàlisi dels resultats indica l'elevat grau de degradació que pateixen moltes riberes a Catalunya, afectades per infraestructures, extraccions d'àrids, canalitzacions, plantacions i explotacions forestals poc respectuoses, i l'elevat esforç que serà necessari dedicar-hi per a millorar aquesta situació i poder assolir el bon estat ecològic si es volen complir les directives europees (DMA).

La combinació de la qualitat biològica de l'aigua, utilitzant índexs basats en macroinvertebrats, amb la qualitat del bosc de ribera, mesurat amb l'índex QBR, permet obtenir una mesura simplificada de l'estat ecològic (Prat *et al.*, 2000*c*; Jáimez-Cuéllar *et al.*, 2002). Altres organismes administratius, com l'Observatori de la Tordera, també realitzen anàlisis integrades de mesura de l'estat ecològic combinant índexs basats en macroinvertebrats, algues diatomees, la qualitat del bosc de ribera i la fauna vertebrada associada al medi fluvial (Boada *et al.*, 2003).

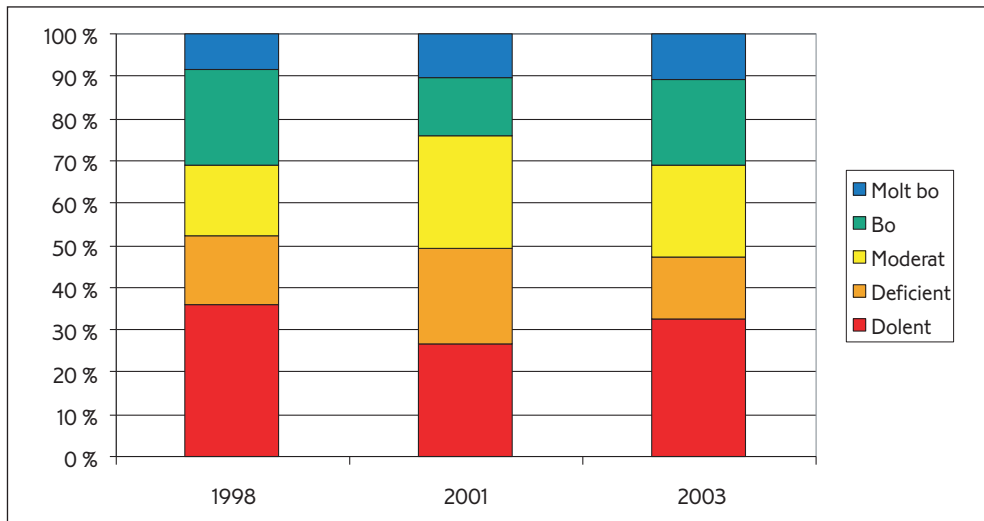


FIGURA 6. Evolució de la qualitat del bosc de ribera (índex QBR) a les estacions en què s'han fet mostratges a les conques del Foix, el Llobregat, el Besòs i la Tordera, els anys 1998 i 2001 (Prat *et al.*, 2000*b*, i dades inèdites).

TAULA 3

*Qualitat del bosc de ribera, mitjançant l'ús de l'índex QBR, a les conques catalanes.
S'indica el nombre d'estacions dins de cada rang de qualitat, així com els percentatges respectius.
Dades recopilades a partir de diverses fonts*

| <i>Estat de qualitat</i> | <i>Casos</i> | <i>%</i> |
|--------------------------|--------------|------------|
| Molt bo | 57 | 11 |
| Bo | 99 | 19 |
| Moderat | 125 | 24 |
| Deficient | 127 | 25 |
| Dolent | 104 | 20 |
| <i>Total</i> | <i>512</i> | <i>100</i> |

També l'Agència Catalana de l'Aigua ha iniciat un pla de treball (2002-2006) per a l'anàlisi integrada de conques (Planificació dels Espais Fluvials), on s'utilitzen diferents mètriques per a la diagnosi final de l'estat ecològic.

6. Perspectives de futur

La Directiva marc de l'aigua té la virtut d'integrar en un mateix àmbit de gestió (el districte de conca fluvial o demarcació hidrogràfica) les aigües superficials, les subterrànies, les costaneres i les marines que estan influenciades per les aigües continentals d'aquest districte. En el cas de Catalunya, per a les conques internes, això no és una novetat, ja que, en aquests moments, dins de l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA), ja es troben integrats tots els elements del cicle de l'aigua, des dels aquífers a les costes, tot i que queden pendents el tema de les aigües portuàries i el de l'espai marítim i terrestre, que encara depenen d'una altra conselleria i de l'Administració estatal respectivament, i l'excepció de la normativa d'aigües de les aigües mineromedicinals, un tema que caldrà debatre en el futur. També, en l'àmbit funcional, caldrà canviar les velles tendències excessivament hidraulicistes i introduir el concepte de millora i manteniment del bon estat ecològic dels ecosistemes fluvials en la gestió i les preses de decisions diàries, en els criteris d'intervenció dels espais fluvials i en la planificació de l'aigua.

La correcta implementació dels conceptes i les disposicions establerts per la Directiva marc de l'aigua esdevé un complex organigrama d'actuacions per tal d'aconseguir les eines necessàries i els criteris adients per a la nova gestió de l'aigua, basada en conceptes de sostenibilitat tant des del punt de vista ambiental, com econòmic, el manteniment dels recursos hídrics, i la plena transparència i la participació ciutadana en els plans i programes de gestió.

7. Agraïments

Pel que fa a l'administració de l'aigua a Catalunya (l'Agència Catalana de l'Aigua), les dades utilitzades han estat generades pels estudis de Gervasi Benito i Òscar Abad. Els estudis de l'estat ecològic i la qualitat biològica de l'aigua, dels quals s'han extret les dades, es duen a terme pels membres del grup de treball ECOBILL, amb Maria Rieradevall, Núria Bonada, Mireia Vila, Rosa Casanovas, Marc Plans, Tura Puntí i Cesc Múrrria, del Departament d'Ecologia de la Facultat de Biologia (UB), amb el suport de l'Àrea de Medi Ambient de la Diputació de Barcelona i la supervisió d'Isidre Gonzalvo. L'anàlisi de la qualitat del bosc de ribera s'ha aconseguit a partir de diversos programes de seguiment i control d'arreu de Catalunya (SIGMA, SITXELL, GUALMED).

8. Referències bibliogràfiques

- ALBA-TERCEDOR, J.; JÁIMEZ-CUÉLLAR, P.; ÁLVAREZ, M.; AVILÉS, J.; BONADA, N.; CASAS, J.; MELLADO, A.; ORTEGA, M.; PARDO, I.; PRAT, N.; RIERADEVALL, M.; ROBLES, S.; SÁINZ-CANTERO, C. E.; SÁNCHEZ-ORTEGA, A.; SUÁREZ, M. L.; TORO, M.; VIDAL-ALBARCA, M. R.; VIVAS, S.; ZAMORA-MUÑOZ, C. (2002). «Caracterización del estado ecológico de los ríos mediterráneos ibéricos mediante el índice IBMWP (antes BMWP)». *Limnetica*, núm. 21 (3-4), p. 175-185.
- ALBA-TERCEDOR, J.; SÁNCHEZ-ORTEGA, A. (1988). «Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978)». *Limnetica*, núm. 4, p. 51-56.
- ALLAN, J. D.; ERICKSON, D. L.; FAY, J. (1997). «The influence of catchement land use on stream integrity across multiple spatial scales». *Freshwater Biology*, núm. 37, p. 149-161.
- APARICIO, E.; VARGAS, M. J.; OLMO, J. M.; SOSTOA, A. (2000). «Decline of native freshwater fishes in a Mediterranean watershed on the Iberian Peninsula: a quantitative assessment». *Environm. Biology of Fishes*, núm. 59, p. 11-19.
- ARMITAGE, P. D.; PARDO, I.; FURSE, M. T.; WRIGHT, F. J. (1990). «Assessment and prediction of biological quality. A demonstration of a british macroinvertebrate-based method in two spanish rivers». *Limnetica*, núm. 6, p. 147-156.
- BAILEY, R. C.; KENNEDY, M. G.; DERVISH, M. Z.; TAYLOR, R. M. (1998). «Biological assessment of freshwater ecosystems using a reference condition approach: Comparing predicted and actual benthic invertebrate communities in Yukon streams». *Freshwater Biology*, núm. 39 (4), p. 765-774.
- BARBOUR, M. T.; GERRITSEN, J.; SNYDER, B. D.; STRIBLING, J. B. (1999). *Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish, Second Edition. EPA841-B-99-002*. Washington, D. de C.: U. S. Environmental Protection Agency. Office of Water.

- BARBOUR, M. T.; STRIBLING, J. B.; KARR, J. R. (1995). «Multimetric approach for establishing bio-criteria and measuring biological condition». A: DAVIS, W. S.; SIMON, T. P. *Biological assessment and criteria. Tools for water resource planning and decision making*. Boca Raton; Londres; Tòquio: Lewis Publishers, p. 63-77.
- BENITO, G.; PUIG, M. A. (1999). «BMWPC, un índice biológico para la calidad de las aguas adaptado a las características de los ríos catalanes». *Tecnología del Agua*, núm. 191, p. 43-56.
- BOADA, M.; CAPDEVILA, L.; MIRALLES, M.; GOMÀ, J.; JUBANY, J.; VARGAS, M. J.; APARICIO, E.; CARREIRA, D.; SÁNCHEZ, S.; BADOSA, E.; COLOMER, T.; MAS, J.; VENTURA, M.; VIADER, J. (2003). *L'Observatori: estació de seguiment de la biodiversitat de la conca de la Tordera. Memòria 2001-2003*. 417 p.
- BONADA, N.; PRAT, N.; MUNNÉ, A.; RIERADEVALL, M.; ALBA-TERCEDOR, J.; ÁLVAREZ, M.; AVILÉS, J.; CASAS, J.; JÁIMEZ-CUÉLLAR, P.; MELLADO, A.; MOYA, G.; PARDO, I.; ROBLES, S.; RAMÓN, G.; SUÁREZ, M. L.; TORO, M.; VIDAL-ALBARCA, M. R.; VIVAS, D.; ZAMORA-MUÑOZ, C. (2002). «Criterios para la selección de condiciones de referencia en los ríos mediterráneos. Resultados del proyecto GUADALMED». *Limnetica*, núm. 21 (3-4), p. 99-114.
- BOULTON, A. J.; SUTER, P. J. (1986). «Ecology of Temporary Streams an Australian Perspective». A: DE DECKKER, P. W.; MELBOURNE, W. D. *Limnology in Australia*, p. 313-327.
- CAMBRA, J.; GOMÀ, J.; ORTIZ, R. (2003). «Anàlisi de viabilitat i proposta d'indicadors fitobentònics de la qualitat de l'aigua per als cursos fluvials de Catalunya (Tordera, Besòs, Llobregat, Foix, Gaià, Francolí i Riudecanyes)». A: *Documents tècnics de l'Agència Catalana de l'Aigua*. 113 p.
- CAMBRA, J.; SABATER, S.; TOMÀS, X. (1991). «Diatom check-list from catalonian countries (eastern Spain)». *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural*, núm. 59, p. 41-55.
- CHACÓN, G.; CARCELLER, F. (1996). «L'índex QFO per a la valoració ecològica dels medis fluvials». *Siboc*, núm. 12.
- DIAMOND, J. M.; BARBOUR, M. T.; STRIBLING, J. M. (1996). «Characterizing and comparing bioassessment methods and their results. A perspective». *J. N. Am. Benthol. Soc.*, núm. 15 (4), p. 713-727.
- «Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y el Consejo de 23 de Octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas». *Diario Oficial de la Comunidad Europea*, L 327 (22 diciembre 2000). 72 p.
- EUROPEAN COMMISSION (2003). «Overall approach to the Classification of the Ecological Status and Ecological Potential». A: *Water Framework Directive. Common Implementation Strategy. Working Group 2A. Ecological Status (ECOSTAT)*, (27 novembre 2003). 47 p.
- FRISSEL, G. A.; LISS, W. J.; WARREN, C. E.; HURLEY, M. D. (1986). «A hierarchical framework for stream habitat classification: viewing streams in a watershed context». *Environmental Management*, núm. 10, p. 199-214.
- GASITH, A.; RESH, V. H. (1999). «Streams in Mediterranean climate regions: Abiotic influences and biotic responses to predictable seasonal events». *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, núm. 30, p. 51-81.

- GUTIÉRREZ, C.; SALVAT, A.; SABATER, F. (2001). «IVF Índex per a l'avaluació de la qualitat del medi fluvial a partir de la vegetació de ribera». A: *Documents tècnics de l'Agència Catalana de l'Aigua*. 49 p.
- ILLIES, J.; BOTOSANEANU, L. (1963). «Problèmes et méthodes de la classification et de la zonation écologiques des eaux courantes, considérées surtout du point de vue faunistique». *Mitt. Internat. Verein. Limnol.*, núm. 19, p. 1-15.
- JÁIMEZ-CUÉLLAR, P.; VIVAS, S.; BONADA, N.; ROBLES, S.; MELLADO, A.; ÁLVAREZ, M.; AVILÉS, J.; CASAS, J.; ORTEGA, M.; PARDO, I.; PRAT, N.; RIERADEVALL, M.; SÁINZ-CANTERO, C. E.; SÁNCHEZ-ORTEGA, A.; SUÁREZ, M. L.; TORO, M.; VIDAL-ALBARCA, M. R.; ZAMORA-MUÑOZ, C.; ALBA-TERCEDOR, J. (2002). «Protocolo GUADALMED (PRECE)». *Limnetica*, núm. 21 (3-4), p. 187-204.
- JUNK, J. W. BAYLEY, P. B.; SPARKS, R. E. (1989). «The flood pulse concept in river-floodplain systems». *Can. J. Fish. Aquat. Sci. Spec. Publ.*, núm. 106, p. 110-127.
- KARR, J. R. (1999). «Defining and measuring river health». *Freshwater Biology*, núm. 41 (2), p. 221-234.
- KOLKOWITZ, R.; MARSSON, M. (1908). «Ökologie de pflanzlichen Saprobien». *Ber. Dtshen. Bot. Ges.*, núm. 26, p. 505-519.
- MARGALEF, R. (1951). «Diversidad de especies en las comunidades naturales». *P. Ins. Biol. Apl.*, núm. 9, p. 15-27.
- (1969). «El concepto de polución en limnología y sus indicadores biológicos». *Agua*, núm. 7, p. 105-133. [Suplement]
- MERINO, V.; GARCÍA, J.; HERNÁNDEZ-MARINÉ, M. (1994). «Use of diatoms for pollution monitoring in the Valira Basin (Andorra)». A: *Proceedings of the 13th International Diatom Symposium*, p. 107-119.
- METCALFE, J. L. (1989). «Biological water quality assessment of running waters based on macroinvertebrates communities: history and present status in Europe». *Environmental Pollution*, núm. 60, p. 101-139.
- MINSHALL, G. W.; CUMMINS, K. W.; PETERSEN, R. C.; CUSHING, C. E.; BRUNS, D. A.; SEDELL, J. R.; VANNOTE, R. L. (1985). «Developments in stream ecosystem theory». *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, núm. 42, p. 1045-1055.
- MORENO, J. L.; SUÁREZ, M. L.; VIDAL-ABARCA, M. R. (1996). «Valor ecológico de las ramblas como ecosistemas acuáticos singulares». *RSEHN*, vol. extraordinari 125è aniversari, p. 411-415.
- MOSS, D.; WRIGHT, J. F.; FURSE, M. T.; CLARKE, R. T. (1999). «A comparison of alternative techniques for prediction of the fauna of running-water sites in Great Britain». *Freshwater Biology*, núm. 41 (1), p. 167-181.
- MUNNÉ, A. (2003). «Les rieres litorals i la Directiva marc de l'aigua». *Atzavara*, núm. 11, p. 27-36.
- MUNNÉ, A.; PRAT, N. (1999). *Cabals i qualitat biològica del riu Anoia. Diagnosi de l'estat del riu i dels trams finals dels afluents principals*. Àrea de Medi Ambient de la Diputació de Barcelona. 76 p. (Estudis de la Qualitat Ecològica dels Rius; 5)

- MUNNÉ, A.; PRAT, N. (2002). «Regionalització del sistema fluvial a les conques internes de Catalunya. Aplicació de la Directiva marc en política d'aigües de la Unió Europea». A: *Documents tècnics de l'Agència Catalana de l'Aigua*. 92 p.
- (En premsa). «Defining river types in a Mediterranean area. A methodology for the implementation of the EU Water Framework Directive». *Environmental Management*.
- MUNNÉ, A.; PRAT, N.; SOLÀ, C.; BONADA, N.; RIERADEVALL, M. (2003). «A simple field method for assessing the ecological quality of riparian habitat in rivers and streams: QBR index». *Aquatic Conserv.: Mar. Freshw. Ecosyst.*, núm. 13, p. 147-163.
- MUNNÉ, A.; SOLÀ, C.; PRAT, N. (1998a). «QBR: Un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de ribera». *Tecnología del Agua*, núm. 175, p. 20-37.
- MUNNÉ, A.; SOLÀ, C.; RIERADEVALL, M.; PRAT, N. (1998b). *Índex QBR. Mètode per a l'avaluació de la qualitat dels ecosistemes de ribera*. Àrea de Medi Ambient de la Diputació de Barcelona. 28 p. (Estudis de la Qualitat Ecològica dels Rius; 4)
- MUÑOZ, I.; PICÓN, A.; SABATER, S.; ARMENGOL, J. (1998). «La calidad del agua del río Ter a partir del uso de índices biológicos». *Tecnología del agua*, núm. 175, p. 60-67.
- MUÑOZ, I.; PRAT, N. (1994). «A comparación between different biological water quality indexes in the Llobregat Basin (NE Spain)». *Ver. Internat. Verein. Limnol.*, núm. 25, p. 1945-1949.
- PARDO, I.; ÁLVAREZ, M.; CASAS, J.; MORENO, J. L.; VIVAS, S.; BONADA, N.; ALBA-TERCEDOR, J.; JÁIMEZ-CUÉLLAR, P.; MOYÀ, G.; PRAT, N.; ROBLES, S.; SUÁREZ, M. L.; TORO, M.; VIDAL-ALBARCA, M. R. (2002). «El hábitat de los ríos mediterráneos. Diseño de un índice de diversidad de hábitat». *Limnetica*, núm. 21 (3-4), p. 115-133.
- POFF, N. L.; ALLAN, J. D.; BAIN, M. B.; KARR, J. R.; PRESTEGAARD, K. L.; RICHTER, B. D.; SPEARKS, R. E.; STROMBERG, J. C. (1997). «The natural flow regime, A paradigm for river conservation and restoration». *BioScience*, núm. 47 (11), p. 769-784.
- PRAT, N. (1979). «Gestió de les aigües continentals catalanes. Perspectives de futur». *Quaderns d'Ecologia Aplicada*, núm. 4, p. 109-111.
- (2002). «El proyecto GUADALMED». *Limnetica*, núm. 21 (3-4), p. 1-3.
- PRAT, N.; GONZÁLEZ, G.; MILLET, X. (1986). «Comparación crítica de dos índices de calidad del agua: ISQA y BILL». *Tecnología del Agua*, núm. 31, p. 33-49.
- PRAT, N.; MUNNÉ, A.; BONADA, N.; SOLÀ, C.; PLANS, M.; RIERADEVALL, M.; CASANOVAS, R.; VILA, M. (2001). *La qualitat ecològica del Llobregat, el Besòs, el Foix i la Tordera. Informe 1999*. Àrea de Medi Ambient de la Diputació de Barcelona. 171 p. (Estudis de la Qualitat Ecològica dels Rius; 9)
- PRAT, N.; MUNNÉ, A.; RIERADEVALL, M.; BONADA, N. (2000a). «La determinación del estado ecológico de los ecosistemas acuáticos en España». A: FABRA, A.; BARREIRA, A. [ed.]. *La aplicación de la Directiva Marco del Agua en España. Retos y oportunidades*. Madrid: IIDMA, p. 48-81.
- PRAT, N.; MUNNÉ, A.; RIERADEVALL, M.; CARCELLER, F.; FONTS, J.; CHACÓN, G.; IBÁÑEZ, J.; FONT, X.; CARMONA, J. M.; ROMO, A. (2000b). «Biodiversity of a Mediterranean stream drainage network». *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, núm. 27, p. 135-139.

- PRAT, N.; MUNNÉ, A.; RIERADEVALL, M.; SOLÀ, C.; BONADA, N. (1999). *La qualitat ecològica del Llobregat, el Besòs, el Foix i la Tordera. Informe 1997*. Àrea de Medi Ambient de la Diputació de Barcelona. 154 p. (Estudis de la Qualitat Ecològica dels Rius; 7)
- (2000c). *ECOSTRIMED. Protocol per a determinar l'estat ecològic dels rius mediterranis*. Àrea de Medi Ambient de la Diputació de Barcelona. 94 p. (Estudis de la Qualitat Ecològica dels Rius; 8)
- PRAT, N.; MUNNÉ, A.; SOLÀ, C.; CASANOVAS, R.; VILA, M.; BONADA, N.; JUBANY, J.; MIRALLES, M.; PLANS, M.; RIERADEVALL, M. (2002). *La qualitat ecològica del Llobregat, el Besòs, el Foix i la Tordera. Informe 2000*. Àrea de Medi Ambient de la Diputació de Barcelona. 163 p. (Estudis de la Qualitat Ecològica dels Rius; 10)
- PRAT, N.; ORDEIX, M.; VILALTA, E. (2000d). «Pla Estratègic per a la Gestió Integral de la Conca del Ter. Diagnosi sobre medi natural». *Consorti Alba-Ter*. 179 p.
- QUERALT, R. (1982). «La calidad de las aguas de los ríos». *Tecnología del Agua*, núm. 4, p. 49-57.
- REYNOLDSON, T. B.; NORRIS, R. H.; RESH, V. H.; DAY, K. E.; ROSENBERG, D. M. (1997). «The reference condition: a comparison of multimetric and multivariate approaches to assess water-quality impairment using benthic macroinvertebrates». *J. N. Am. Benthol. Soc.*, núm. 16 (4), p. 833-852.
- SABATER, S.; GUASCH, H.; PICON, A.; ROMANÍ, A.; MUÑOZ, I. (1996). «Using diatom communities to monitor water quality in a river after the implementation of a sanitation plan (river Ter, Spain)». A: WHITON, B. A.; ROTT, E. [ed.]. *Use of algae for monitoring rivers II*, p. 97-103.
- SABATER, S.; SABATER, F.; ARMENGOL, J. (1993). «Ecología de los ríos mediterráneos». *Investigación y Ciencia* (agost), p. 72-79.
- SABATER, S.; TORNÉS, E.; LEIRA, M.; TROBAJO, R. (2003). «Anàlisi de viabilitat i proposta d'indicadors fitobentònics de la qualitat de l'aigua per als cursos fluvials de Catalunya (Muga, Fluvià, Ter i Daró)». A: *Documents tècnics de l'Agència Catalana de l'Aigua*. 113 p.
- SOSTOA, A.; CASALS, F.; CAIOLA, N. M.; VINYOLÉS, D.; SÁNCHEZ, S.; FRANCH, C. (2003). «Desenvolupament d'un índex d'integritat biòtica (IBICAT) basat en l'ús dels peixos com a indicadors de la qualitat ambiental dels rius a Catalunya». A: *Documents tècnics de l'Agència Catalana de l'Aigua*. 203 p.
- STATZNER, B.; HIGLER, B. (1986). «Stream hydraulics as a major determinant of benthic invertebrate zonation patterns». *Freshwater Biology*, núm. 16, p. 127-139.
- UYS, M. C.; O'KEEFE, J. H. (1997). «Simple words and fuzzy zones: early directions for temporary river research in South Africa». *Environmental Management*, núm. 12 (4), p. 517-531.
- VANNOTE, R. L.; MINSHALL, G. W.; CUMMINS, K. W.; SEDELL, J. R.; CUSHING, C. E. (1980). «The river continuum concept». *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, núm. 37, p. 130-137.
- VERDONSCHOT, P. F. M. (2000). «Integrated ecological assessment methods as a basis for sustainable catchment management». *Hydrobiologia*, núm. 422-423, p. 389-412.

- VIDAL-ABARCA, M. R. (2001). «Los ríos mediterráneos. Características y funciones: una perspectiva ecológica». *Life Guadajoz*. P. 6-7.
- VINSON, M. R.; HAWKIND, C. P. (1998). «Biodiversity of stream insects: Variation at local, basin, and regional scales». *Annu. Rev. Entomol.*, núm. 43, p. 271-293.
- WALLIN, M.; WIEDERHOLM, T.; JOHNSON, R. (2003). *Guidance on establishing reference conditions and ecological status class boundaries for inland surface waters*. Water Framework Directive (WFD). REFCOND Working Group 2.3. 93 p. [Report final]
- WARD, J. V.; STANFORD, J. A. (1983). «The serial discontinuity concept of lotic ecosystems». A: FONTAINE, T. D.; BARTELL, S. M. *Dynamics of Lotic Ecosystems*. Ann Arbor Science, p. 29-42.
- WOODIWISS, F. S. (1964). «The biological system of stream classifications used by the Trand River Board». *Chemy. Indust.*, núm. 11, p. 443-447.
- WRIGHT, J. F.; MOSS, D.; ARMITAGE, P. D.; FURSE, M. T. (1984). «A preliminary classification of running-water sites in Great Britain based on macro-invertebrate species and the prediction of community type using environmental data». *Freshwater Biology*, núm. 14, p. 221-256.

Qualitat microbiològica de l'aigua

Joan Jofre i Francisco Lucena

Departament de Microbiologia, Facultat de Biologia, Universitat de Barcelona

Resum

Les malalties infeccioses transmeses a través de l'aigua tenen una importància capital als països en fase de desenvolupament, però molt menor als països industrialitzats. Entre els microorganismes causants de malalties n'hi ha d'autòctons, com la *Legionella*, però la gran majoria són conseqüència de la contaminació fecal. Entre aquests trobem virus, bacteris i protozous paràsits; alguns afecten només l'home mentre que d'altres són zoonòtics. Els riscos lligats a microorganismes d'origen fecal a l'aigua estan relativament ben avaluats i es disposa de regulacions actualitzades per a protegir els consumidors. La globalització, la necessitat de reutilització, els patògens emergents i els avenços en coneixement bàsic fan preveure algunes novetats en les regulacions en un futur no gaire llunyà. A Catalunya, bona part de l'aigua d'abastament és d'origen superficial amb una qualitat microbiològica pobre. Tractaments de potabilització complexos fan que la qualitat de l'aigua d'aixeta tingui una qualitat microbiològica en general prou acceptable. Les dades epidemiològiques de malalties transmeses per l'aigua són relativament semblants a les dels països del nostre entorn europeu.

Abstract

Waterborne infectious diseases have a great importance in developing countries, whereas they barely have an effect on industrialized countries. Among the microorganisms responsible for diseases we find those that are autochthonous, such as *Legionella*, but the great majority of them are due to the faecal contamination. Among them we find viruses, bacteria and protozoa; some present a risk only to humans, whereas other are zoonotic. The risks that imply faecal microorganisms in water are fairly well assessed and there are updated laws to protect consumers. Globalization, the need to reuse water, emerging pathogens and new developments in basic knowledge will likely promote in the near future some changes in laws. In Catalonia an important percentage of supply water is surface water and its microbiological quality is very poor. Complex purification treatments are regularly needed to guarantee a fairly acceptable

microbiological quality of tap water. It has been shown that epidemiological data of waterborne diseases in this region are relatively similar to those of Western Europe.

Introducció

L'aigua adequada per al consum humà, o aigua potable, és una necessitat bàsica per a la supervivència, la salut i la dignitat de totes les persones. Recentment, el Comitè de Drets Econòmics, Culturals i Socials de les Nacions Unides ha inclòs l'aigua com un més dels drets humans. Però es calcula que encara hi ha uns 1.700 milions de persones que encara no disposen d'aigua potable.

La mesura exacta dels problemes de salut que representa per a la població la mala qualitat de l'aigua és complexa, ja que alguns dels efectes són de mal detectar i alguns també poden ser causats per altres agents o vies. Considerant només una de les manifestacions més fàcilment observables, les gastroenteritis agudes, es calcula que els 5.200 milions d'habitants dels països en fase de desenvolupament tenen uns deu episodis de gastroenteritis l'any, que costen uns 2.200.000 morts l'any. Aquestes morts corresponen principalment a infants. Entre un 5 i un 10 % d'aquestes gastroenteritis i morts serien directament causades per l'aigua. Als països industrialitzats el nombre d'episodis de gastroenteritis és d'un cada dos anys per habitant, la qual cosa dóna uns 750 milions d'episodis de gastroenteritis l'any. D'aquests, entre un 2,5 i un 5,0 % serien causats per l'aigua amb una mortalitat molt inferior a la que es dóna als països en fase de desenvolupament. Pel que fa a altres infeccions amb efectes diferents a gastroenteritis, com per exemple les hepatitis A i E, les dades disponibles són molt incompletes.

A Catalunya ens trobem entre el col·lectiu que gaudeix d'aigua potable i amb baixa incidència de problemes causats pel seu consum. Com a la resta de països desenvolupats, es donen algunes circumstàncies, com l'augment del consum d'aigua *per capita*, l'augment del nombre de consumidors, l'augment de la capacitat de contaminar i l'envelliment de les infraestructures, que fan preveure alguns problemes afegits en el futur immediat.

En aquest context intentarem donar una ullada a la *qualitat microbiològica de l'aigua*, descartant aspectes de qualitat microbiològica de l'aigua no relacionats amb l'aigua potable, com per exemple l'aigua de bany, o l'aigua de reg agrícola o de cultiu de marisc.

Microorganismes a l'aigua de consum

Patògens

Entre els microorganismes patògens, o capaços de produir una malaltia infecciosa, tenen una importància especial aquells que segueixen la via de transmissió fecal-oral. Aquest tipus de

microorganismes no acostumen a multiplicar-se a l'aigua. Pràcticament tots, a més de transmetre's per l'aigua, també ho fan pels aliments i pel contacte entre les persones.

Els microorganismes d'interès sanitari pertanyen a quatre grans grups: virus, bacteris, protozous paràsits i metazous paràsits (principalment helmints). A la taula 1 n'assenyalem els més importants. Els microorganismes descrits a la taula 1 varien quant a dosi infecciosa. En general fan falta concentracions de diverses unitats logarítmiques per a iniciar les infeccions bacterianes i molt més baixes per a iniciar infeccions per virus i protozous. En aquests, les dosis infeccioses poden estar entre un i deu microorganismes.

TAULA 1
Patògens transmesos per aigua més freqüents

| Bacteris | Virus | Protozous |
|--------------------------------------------|------------------------|--------------------------------|
| <i>Salmonella typhi</i> i no- <i>typhi</i> | Picornavirus | <i>Giardia lamblia</i> |
| <i>Yersinia</i> | HAV | <i>Cryptosporidium parvum</i> |
| <i>Campylobacter jejuni</i> | Poliovirus | <i>Cyclospora cayetanensis</i> |
| <i>Vibrio cholerae</i> | Coxsackievirus | <i>Entamoeba histolytica</i> |
| <i>Shigella</i> | Adenovirus | |
| <i>E. coli</i> enteropatogèniques | Norovirus i sapovirus | |
| <i>Aeromonas</i> | Virus de l'hepatitis E | |
| <i>Plesiomonas</i> | Rotavirus | |
| | Astrovirus | |

També els diferents grups de microorganismes difereixen molt pel que fa a resistència a factors inactivadors, sien els naturals, en aquest cas propis del medi aquàtic, o els introduïts per l'home en els processos de tractament i desinfecció de l'aigua.

Els patògens més rellevants són diferents en diferents zones geogràfiques. També han variat amb el temps. Depèn de les condicions epidemiològiques de la població humana i animal. Així, per exemple, en el nostre entorn la *Salmonella typhi*, molt important en temps no gaire llunyans, quasi ha desaparegut. En canvi han augmentat notablement la *Salmonella enteritidis* i l'*Escherichia coli* O157:H7. També han variat els virus. Així, cada cop hi ha menys virus de l'hepatitis A i hi ha més norovirus (per exemple, el virus de Norwalk). Als països del nostre entorn han desaparegut els helmints com a problema lligat a l'aigua i en canvi ha aparegut el protozou *Cryptosporidium*. En els darrers anys es parla molt d'infeccions emergents, que són aquelles que o no existien o no s'havien detectat, i de les reemergents, que són aquelles que es creia que estaven superades i que apareixen de nou. Per exemple, alguns dels patògens que més ens preocupen actualment, com el *Campylobacter jejuni*, l'*E. coli* O157:H7 i el *Cryptosporidium*, no havien estat reconeguts com a transmesos per l'aigua fins fa uns quinze o vint anys, o ni tan sols sabíem que l'*Helicobacter pylori* fos l'agent causal de l'úlcer de duodè i d'estómac o que la toxoplasmosi es pogués contreure per la ingestió d'aigua contaminada. Entre els problemes emergents també s'han assenyalat els prions, com per exemple l'encefalopatia espongiforme

bovina (BSE), però no coneixem cap prova experimental ni hi ha cap evidència epidemiològica que els prions es transmetin per l'aigua.

Cal mencionar uns quants bacteris que són habitants normals del medi aquàtic i que, introduïts en alguns sistemes de distribució, o en alguns circuits tancats, poden multiplicar-se si hi troben les condicions per a fer-ho i poden causar problemes. El cas més conegut és el de la *Legionella pneumophila*, agent causal d'una forma atípica de pneumònia, que es transmet per aerosols generats en sistemes de refrigeració o dutxes. No cal oblidar tampoc els micobacteris no tuberculosos de creixement lent, dits micobacteris atípics, i tal vegada la *Pseudomonas aeruginosa*, que poden formar biopel·lícules en material d'ús mèdic, com, per exemple, equipaments de diàlisi.

Alguns cianobacteris autòctons d'aigües superficials produeixen toxines que, en cas de grans brotades (*blooms*), n'hi ha en quantitat suficient per a causar problemes a l'aigua de consum humà. L'exemple més ben conegut és el de la *Microcystis aeruginosa* i les toxines que produeixen, denominades *microcistines*.

No patògens

A l'aigua també hi trobem molts microorganismes no patògens que o bé formen part de la microbiota del medi aquàtic o bé provenen de la contaminació —per exemple, per les excretes—, però que no són patògens o que almenys no ho són per la via oral. Molts d'aquests microorganismes s'utilitzen com a indicadors per a valorar la qualitat de l'aigua, ja que tenen orígens semblants als patògens, n'hi ha més i es poden detectar més fàcilment. Alguns d'aquests grups de microorganismes indicadors no tenen valor taxonòmic i són definits per tècniques de detecció i enumeració; d'altres, en canvi, corresponen a microorganismes d'una espècie o gènere determinats. Entre els primers trobem: bacteris heteròtrofs totals crescuts a 22 °C i a 37 °C; coliformes totals, coliformes fecals, estreptococs fecals, espores de clostridis reductors de sulfit, bacteriòfags (colífags somàtics, bacteriòfags F-específics d'ARN i bacteriòfags de *Bacteroides fragilis*). Entre els segons només l'*Escherichia coli*, l'*Enterococcus* ssp i el *Clostridium perfringens*.

Hi ha alguns microorganismes autòctons de les aigües dolces, com per exemple els actinobacteris productors de geosmina, que produeixen molècules que degraden la qualitat organolèptica de l'aigua.

Procedència dels microorganismes que trobem a l'aigua

Autòctons

La *Microcystis aeruginosa*, les *Pseudomonas* ssp, la *Legionella pneumophila*, algunes espècies d'*Aeromonas* o els actinobacteris productors de geosmina són autòctons, si bé la presència i les densitats d'aquests bacteris es poden veure afectades per l'activitat de l'home.

Provinents de la contaminació

Uns altres microorganismes presents a l'aigua són al·lòctons, i és com a conseqüència directa de la contaminació, ja sigui per rentat de la superfície del sòl o per abocament directe d'aigües contaminades. Interessen aquells que procedeixen de les femtes humanes i animals. Els microorganismes presents a les aigües residuals municipals (o a les fosses sèptiques) són un bon reflex d'allò que s'aporta per aquesta via, i el que trobem a les aigües residuals d'escorxador (o als purins) és un bon exemple d'allò que aporten els animals. És molt difícil de precisar l'aportació de la fauna silvestre.

Com hem esmentat abans, els patògens aportats per les femtes humanes i animals depenen de l'estat sanitari de les poblacions humanes i animals. Tret d'unes poques excepcions, com per exemple la *Salmonella typhi*, el *Vibrio cholerae* i alguns virus, la majoria de patògens de transmissió lligada a l'aigua es troben tant en restes fecals humanes com en animals. En general les prevalences dels diferents patògens a les aigües residuals municipals a Catalunya són semblants a les que trobem en països industrialitzats del nostre entorn (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14).

En canvi els nombres de la majoria de microorganismes indicadors a les aigües residuals són molt semblants independentment de l'origen humà o animal de la contaminació fecal i també similars en diferents indrets del planeta. A la taula 2, s'inclouen algunes dades de les densitats de microorganismes indicadors d'aigües residuals municipals i d'animals a Catalunya i Europa. La determinació de l'origen de la contaminació microbiològica de les aigües té un gran interès

TAULA 2

Densitats mitjanes d'alguns indicadors microbiològics (unitats formadores de colònia per 100 mL) i químics (mg/g) en aigües residuals municipals (algunes corresponen a hospitals) i d'escorxadors

| <i>Indicador</i> | <i>Aigües residuals municipals</i> | <i>Aigües residuals d'escorxador</i> |
|---------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| Coliformes fecals | $8,3 \times 10^6$ | $2,1 \times 10^7$ |
| Enterococs fecals | $8,7 \times 10^5$ | $1,9 \times 10^6$ |
| Espores de clostridis | | |
| Reductors de sulfit | $1,1 \times 10^5$ | $1,4 \times 10^5$ |
| Colífags somàtics | $1,0 \times 10^6$ | $4,8 \times 10^6$ |
| Bacteriòfags ARN | | |
| F-específics | $1,9 \times 10^5$ | $9,3 \times 10^4$ |
| Bacteriòfags de <i>Bacteroides tethaiaomicron</i> | $1,4 \times 10^4$ | $1,4 \times 10$ |
| Coprostanol | 1.456 | 373 |
| Etilcoprostanol | 1.164 | 3.826 |
| Epicoprostanol | 1.225 | 3.072 |
| Colestanol | 1.978 | 486 |

FONT: Blanch *et al.* (15).

en la gestió dels recursos hídrics. Alguns bacteriòfags, alguns bacteris anaerobis, alguns virus humans i algunes molècules químiques (per exemple alguns esterols fecals) podrien servir per a la diferenciació (15).

Originats durant la distribució

Alguns bacteris, com les *Legionella*, les *Pseudomonas*, les *Aeromonas* i els *Mycobacterium* atípics (no causants de tuberculosi), poden incrementar els seus nombres a les xarxes de distribució.

Problemes causats per microorganismes presents a l'aigua

Problemes organolèptics

Es denominen *caràcters organolèptics de l'aigua* aquells que poden ser percebuts mitjançant els sentits. Inclouen el color, la torbesa, el gust, l'olor i també la temperatura. L'efecte més important dels microorganismes en la qualitat organolèptica de l'aigua és en l'olor. La geosmina produïda per actinomicets o el metilisoborneol produït per cianobacteris en són els més importants.

Problemes de salut

Els microorganismes causen efectes fàcilment apreciables i observables a curt termini (gastroenteritis, hepatitis, etc.), a diferència dels contaminants químics, que solen donar efectes a llarg termini com a conseqüència de processos acumulatius.

Riscos per a la salut deguts al consum d'aigua

Una gran proporció de les infeccions adquirides a través de l'aigua es donen en forma de casos esporàdics fora dels brots epidèmics (16) i solen passar desapercebudes. Però alguns estudis pioners realitzats al Canadà per Payment conclouen que d'un 14 a un 40 % de casos d'afeccions gastrointestinals podien ser atribuïbles a aigües de distribució. Aquests estudis van ser molt criticats i acusats d'esbiaixats, ja que els grups enquestats no eren veritables grups cecs i això podria haver afectat els resultats. Dades recents obtingudes als EUA confirmarien les conclusions de Payment, però unes altres obtingudes a Austràlia indiquen que el consum d'aigua de distribució té poca incidència en les afeccions gastrointestinals (17). No hi ha dubte que aquesta és una àrea d'estudi que reclama un esforç major.

La contribució total dels microorganismes presents a l'aigua a les infeccions causades per l'aigua és molt difícil de determinar, però en podem fer una estimació aproximada. En general,

s'accepta que als països industrialitzats les infeccions lligades a l'aigua són més nombroses del que es pensava i, en canvi, les morts són inferiors del que s'havia estimat fins ara (18). Als països industrialitzats, i per tant a Catalunya, al voltant d'un 5 % de les gastroenteritis són degudes a infeccions per aigua. De les mortalitats degudes a gastroenteritis, un 0,005 % del total de gastroenteritis —al voltant del 2,5 %— serien degudes a transmissió per aigua. A Catalunya, considerant un episodi de gastroenteritis per habitant cada dos anys, caldria esperar entre 150.000 i 300.000 casos de gastroenteritis l'any deguts a l'aigua, amb un nombre de morts d'un cada tres o quatre anys.

Determinació dels llindars en les densitats de microorganismes per a prevenir riscos acceptables

Així com els efectes per a la salut lligats a productes químics es deriven d'un efecte acumulatiu, aquest no és el cas dels microorganismes. En general, cada cop que s'ingereixen és un problema diferent. Les dosis infeccioses de diferents patògens són molt variables. Malgrat les millores aportades pels mètodes moleculars, no es disposa encara de mètodes per a detectar i enumerar patògens d'una manera efectiva. La idea és que en aigua potable no hi ha d'haver patògens. Aquesta absència s'intenta garantir en mantenir per sota d'uns llindars les concentracions de diversos microorganismes indicadors. Seguint el criteri de panels d'experts es pensava que mantenir els indicadors per sota dels llindars garantia l'absència de patògens. Avui sabem que no és així i que el concepte *absència de tots* és molt poc concret. S'estan desenvolupant alguns models matemàtics per a quantificar els riscos associats a la presència de cada patògen en particular (19) i en el futur segur que s'adaptarà la legislació d'acord amb els riscos que es considerin acceptables.

La perillositat dels microorganismes versus la perillositat dels productes químics

S'ha fet alguns estudis teòrics comparatius entre els riscos microbiològics i els riscos derivats dels productes de desinfecció, per les implicacions que això té en les polítiques sanitàries. Segons Regli i col·laboradors (20), en el conjunt del planeta, el risc de mort a causa dels patògens és, com a mínim, de cent a mil vegades més gran que el risc de càncer causat per productes de desinfecció, o el risc d'emmalaltir per infecció és de deu mil a un milió de vegades més gran que el risc de càncer causat pels subproductes de la desinfecció.

Havelaar i col·laboradors (21) han estimat que els efectes protectors de la desinfecció per ozó sobre les infeccions produïdes pel *Campylobacter* són set-centes vegades més grans que el risc de càncer renal causat pels bromats originats durant l'ozonització.

Legislació referent a la qualitat d'aigua de consum

La necessitat de garantir el subministrament d'aigua segura per al consumidor va fer que, des de ja fa més de cent anys, s'elaboressin diferents directives per a garantir la qualitat de l'aigua. Actualment tenim dues directives d'aplicació obligatòria a Europa, i, per tant, a Espanya i a Catalunya, que fan referència a aigües de consum humà en què hi ha requeriments de qualitat microbiològica.

Qualitat de les aigües superficials destinades a producció d'aigua potable

El Reial decret 1138/1990 es refereix a la qualitat de les aigües superficials destinades a la producció d'aigua potable. D'acord amb la Directiva marc 2000/60 CE de política d'aigües de la Unió Europea, aquesta norma queda derogada a la fi del 2007. No és clar a hores d'ara com serà coberta aquesta part de la legislació. El Reial decret estableix tres categories d'aigua en funció de la qualitat, incloent-hi la qualitat microbiològica. De més a menys neta les categories són A1, A2 i A3. Atenent als coliformes fecals, que és l'indicador de què es disposa de més dades en aigües a Catalunya, la categoria A1 fixa un màxim de 50 per 100 mL; l'A2, de 2.000, i l'A3, de 20.000. La norma estableix els tractaments a què cal sotmetre els diferents tipus d'aigua, que són de complexitat creixent des d'A1 fins a A3. Aquelles aigües de captació de tipus A3, a més de tractaments complexos, requereixen un permís especial per a poder ser potabilitzades.

Qualitat de les aigües de consum humà

Amb data de 21 de febrer de 2003 ha estat publicat el Reial decret 140/2003 de 7 de febrer, que és la transposició a la legislació espanyola de la Directiva de la Unió Europea (98/83/CE). Substitueix el Reial decret 1138/1990, vigent fins al moment. Desapareixen alguns paràmetres, com coliformes fecals, estreptococs fecals o espores de clostridis reductors de sulfits, i n'apareixen de nous i més específics, com l'*Escherichia coli*, els *Enterococcus* ssp. i el *Clostridium perfringens*.

Situació a Catalunya

Delimitarem l'estudi a aigües que arriben al consumidor per xarxa de distribució, i que per tant haurien de tenir algun tipus de control, i presentarem l'estudi amb la seqüència següent: recursos d'aigua, tractaments a què són sotmeses les aigües, aigües de xarxa i efectes contrastats sobre la salut.

Qualitat microbiològica dels recursos d'aigua

Entenem per recursos d'aigua aquella aigua de què les entitats distribuïdores disposen per a subministrar a la població. Els recursos consumits a Catalunya, entre 1 i 1,5 milions de m³ diaris, corresponen en un 80 %, aproximadament, a aigües superficials i la resta a aigües subterrànies. Si considerem les xarxes, les que es proveeixen d'aigües subterrànies són la majoria. Aquesta aparent paradoxa és deguda al fet que el subministrament a les ciutats de més de cinquanta mil habitants, que recullen una gran part de la població de Catalunya, es proveeixen preferentment d'aigua d'origen superficial. Altres opcions com l'aigua dessalada són de moment testimonials.

Pel que fa a la qualitat microbiològica dels recursos d'aigua, les dades disponibles són molt disperses i difícilment comparables. Pel que fa a aigües superficials, valors d'entre mil i deu mil coliformes fecals per 100 mL d'aigua són freqüents als cursos alts i mitjans de rius com el Ter (22, 23), el Llobregat (22, 24) o el Segre després de rebre les aigües del Valira (25). Els valors de coliformes fecals als cursos baixos poden superar clarament els vint mil per 100 mL (24). Els embassaments tenen un efecte d'autodepuració molt important (22, 23). Així, per exemple, la sèrie d'embassaments Sau, Susqueda i el Pasteral al Ter aconseguix una reducció del 99,9 % en el nombre de coliformes fecals. En alguns embassaments de diferents rius de Catalunya (Boadella, la Baells, Sant Ponç, Ciurana, Camarasa, Sant Antoni) analitzats —ja que es consideren com a zones de bany— els nombres de coliformes fecals són sempre inferiors a dos mil per 100 mL i molt freqüentment són inferiors a 100 (<http://www.gencat.net/aca/cat/principal.htm>). Pel que fa a aigües superficials, doncs, la gran majoria dels recursos és de tipus A2 i A3 establerts al Reial decret 1138/1990. Comparant la qualitat microbiològica amb altres paràmetres, com l'índex simplificat de qualitat d'aigua (ISQA) i l'amoní, que són utilitzats, entre altres paràmetres, per l'Agència Catalana de l'Aigua per a qualificar les aigües superficials (<http://www.gencat.net/aca/cat/principal.htm>), es pot observar que en general la qualitat microbiològica és significativament menor que la qualitat indicada pels altres paràmetres. El riu Valira quan prové d'Andorra il·lustra molt bé aquesta observació (25). Les relacions entre ISQA, amoní i microorganismes indiquen una gran contribució de la contaminació fecal, ja sigui domèstica o ramadera, en la contaminació de les aigües superficials a Catalunya.

Els darrers anys s'ha observat una millora, probablement com a conseqüència de la instal·lació de depuradores a moltes poblacions de Catalunya. Així, per exemple, en el curs mitjà del Llobregat (Abrera) i al Ter a l'entrada de Sau, hi ha hagut una reducció d'entre el 75 i el 80 % del nombre de coliformes fecals entre el principi i el final dels anys noranta del segle passat (23, 26). Pel percentatge d'aigua residual municipal tractada i per les reduccions en els nombres de bacteris fecals (90-95 %) que se solen aconseguir a les plantes de depuració d'aigües residual, potser caldria esperar una millora més substancial. La importància quantitativa de les aportacions de les activitats ramaderes pot ser la causa d'aquesta escassa millora. A les parts finals d'alguns rius fins i tot s'hi troben patògens en quantitats detectables. Així, en el curs baix del Llobregat es detecta *Salmonella* en aproximadament un 50 % de les mostres d'un litre d'aigua analitzades,

en nombres que oscil·len entre 2,3 i 9,3 unitats de nombre més probable per litre (27, 28), i al Llobregat a l'alçada d'Abdera es detecten enterovirus en un 70 % de les mostres d'un litre analitzades, amb uns valors que van d'una a deu unitats formadores de clapa per litre (29).

Encara que hi ha poques dades, les disponibles també indiquen un nivell de contaminació microbiològica relativament important a molts aqüífers, sobretot dels superficials. Així, prop del 50 % de fonts i pous dels aqüífers superficials de l'àrea de Barcelona (30) i de zones molt poblades de la província de Barcelona (31) contenen coliformes fecals en 100 mL.

Les dades d'una enquesta entre els membres de l'Agrupació de Serveis d'Aigua de Catalunya (ASAC) que subministren aigua a poblacions de més de 1.500 habitants, i que representen un 78 % de la població de Catalunya donen alguna informació d'interès (32). La majoria assenyalen alguns problemes tant en les captacions d'aigües superficials (57,2 %) com en les aigües subterrànies (62,8 %), si bé consideren que el tractament establert permet obtenir una aigua amb prou qualitat per al consum humà. Més d'un 20 % de les captacions identifiquen l'origen del seu problema en activitats domèstiques i ramaderes. En ambdós casos hi hauria contaminació microbiològica.

Un aspecte que voldríem considerar fa referència a la mobilització de contaminants microbiològics (30) que les pluges intenses produeixen tant en aigües superficials com en aigües subterrànies. Així, doncs, a causa de la climatologia, els recursos d'aigua de Catalunya a més d'escassos són molt vulnerables. Aquests canvis sobtats poden fer els tractaments insuficients en determinades ocasions.

Tractament de l'aigua després de la distribució prèvia

Per a adequar la qualitat de l'aigua que se subministra a les xarxes de distribució als requeriments de les normatives vigents se segueixen dues estratègies: barreges i tractaments de potabilització.

Les barreges tenen poca importància pel que fa a la millora de la qualitat microbiològica i se solen utilitzar per a reduir el contingut de determinats compostos químics. Segons l'enquesta de l'ASAC, els serveis d'abastament que disposen de fonts mixtes i que poden fer barreges són 79 serveis enfront de 135, que representen com a mínim el 62 % de la població de Catalunya.

En canvi, la gran majoria de recursos són sotmesos a tractaments de potabilització. El tractament més simple, i moltes vegades únic, és la desinfecció per clor. La filtració per filtres de sorra és el segon tractament més freqüent, seguit de la coagulació prèvia a la filtració i filtració. La coagulació i la filtració seguida de desinfecció es consideren com els tractaments convencionals. En alguns casos calen tractaments addicionals, sia per a eliminar contaminants no eliminats pels tractaments convencionals o per a eliminar subproductes de precloració. Aquests tractaments addicionals són del tipus ozonització o filtres de carbó activat. Les dades de l'enquesta de l'ASAC identifiquen 35 plantes potabilitzadores que subministren aigua a una gran part de la població de Catalunya i que fan tractaments addicionals a la desinfecció per clor.

Qualitat microbiològica de l'aigua de consum

Abans d'entrar de ple en les aigües de xarxes de distribució, voldríem assenyalar que algunes dades disponibles (30, 31) ens indiquen que l'aigua de fonts i de pous privats no té la qualitat microbiològica requerida per la legislació, i que no en totes les fonts que no reuneixen els requeriments de qualitat s'indica que l'aigua no és potable.

Pel que fa a aigües de xarxa, una mica menys d'un 0,5 % de mostres d'aigua analitzades de 24 municipis de l'àrea de Barcelona (30, 31, 33) i un percentatge similar de mostres d'un conjunt de 58 xarxes de zones rurals de la província de Barcelona —dades subministrades per la Diputació de Barcelona (<http://www.diba.es/mediambient/default.asp>)— contenen coliformes fecals. Aquestes dades són similars a dades fetes públiques en altres països de l'Europa Occidental (34) o en altres regions d'Espanya (30).

Pel que fa a la *Legionella*, ha estat aïllada en un 8,5 % de mostres d'un litre d'aigua de xarxa a l'àrea de Barcelona, si bé només un 1 % de les soques aïllades corresponen al serogrup 1 de *Legionella pneumophila*, que és el que genera els problemes d'infecció (35). Òbviament, aquestes xifres no haurien de causar problemes directament. Els problemes tenen el seu origen en el recreixement a la xarxa.

Efectes contrastats sobre la salut

Segons dades extretes de butlletins epidemiològics de Catalunya (<http://www.gencat.net/sanitat/portal/cat/spbec.htm>), es detecten a Catalunya entre 300.000 i 360.000 casos de gastroenteritis l'any. Si entre un 2,5 % i un 5 % de les gastroenteritis són atribuïbles a aigua (18), entre 7.200 i 18.000 casos de gastroenteritis serien atribuïbles a aigua. Aquest nombre està molt per sobre del nombre de casos lligats a brots informats (taula 3), que presenten una mitjana d'uns 200 casos anuals.

Només en 8 dels 42 brots dels quals s'ha informat durant aquests sis anys ha estat possible identificar els microorganismes implicats. El virus de Norwalk (norovirus) ha estat implicat en tres ocasions; el *Campylobacter jejuni* i la *Salmonella ssp.*, en dues, i la *Shigella*, en una.

TAULA 3
Brots de gastroenteritis lligats a l'aigua dels quals s'ha informat a Catalunya durant els anys 1996-2001

| | Any | | | | | | |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002* |
| Nre. de brots | 5 | 6 | 1 | 9 | 3 | 18 | 7 |
| Nre. d'afectats | 103 | 156 | 34 | 450 | 123 | 806 | 897 |
| Nre. de morts | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

*Les dades corresponents a 2002 són provisionals i no es comenten al text.

Aproximadament una tercera part dels brots té el seu origen en el consum d'aigua de pous i fonts; un altre terç, per consum d'aigua de xarxa, i la resta són brots lligats a un edifici o instal·lació (blocs de pisos, espais poliesportius, cases de colònies, escoles o residències d'avis, etc.), sense que s'hagin identificat exactament les causes del problema. En els casos lligats a xarxes de distribució, solen anar lligats a problemes en la cloració i es dona l'aparent paradoxa que la majoria dels casos es donen en zones properes als Pirineus.

Tant pels microorganismes implicats com per les causes que originen el problema, les dades a Catalunya són semblants a les d'altres països com Suècia, Anglaterra o els Estats Units (36, 37). Amb l'excepció de l'any 2001, tant el nombre de brots com el nombre d'afectats són lleugerament inferiors als de la resta de l'Estat espanyol, segons dades extretes del butlletí epidemiològic del Ministeri de Sanitat i Consum.

Durant els darrers anys la legionel·losi s'ha convertit en un problema de salut pública important. Així, per exemple, segons dades disponibles als butlletins epidemiològics de la Generalitat, només en les primeres 44 setmanes de l'any 2002 s'havien produït a Catalunya 428 casos, gairebé sempre lligats a aerosols produïts per instal·lacions d'aire condicionat.

Conclusions

En general la qualitat microbiològica de recursos d'aigua a Catalunya és baixa, si bé s'observa una millora en la darrera dècada, deguda amb tota seguretat a la posada en marxa de depuradores. Aquest fet requereix un important esforç de tractaments de potabilització.

La qualitat microbiològica de l'aigua de les xarxes de distribució és, en la gran majoria de les xarxes, dins de les normes exigides per la legislació vigent. En general, la qualitat microbiològica de l'aigua de les xarxes de les grans concentracions urbanes és millor que la de zones rurals.

La qualitat microbiològica de fonts i pous particulars corresponents a aqüífers superficials és en general deficient.

Els brots d'infeccions lligades al consum d'aigua són semblants, tant en nombre com pels microorganismes implicats, als dels països industrialitzats.

Tenint en compte que la qualitat dels recursos d'aigua, a més que no és bona, és molt influenciable per diferents factors, cal anar adaptant ràpidament una política de gestió basada en la identificació dels perills i efectuar el control en els punts identificats com a crítics.

Agraïments

Agraïm molt sincerament a l'Agència Catalana de l'Aigua, a Aigües de Barcelona, a la Direcció General de Salut Pública del Departament de Sanitat i Seguretat Social de la Generalitat de Catalunya i al Laboratori del Servei de Medi Ambient de la Diputació de Barcelona, l'accés a algunes dades que encara no s'han fet públiques.

Referències bibliogràfiques

1. A. BOSCH, F. LUCENA i J. JOFRE (1986), «Fate of human enteric viruses (rotaviruses and enteroviruses) in sewage after primary sedimentation», *Water Science and Technology*, núm. 18, p. 47-52.
2. A. ISERN, M. D. FERRER i F. FERNÁNDEZ (1987), «Estudio de la *Salmonella* en el agua de mar de la línea de playa de la ciudad de Barcelona», *Gaceta Sanitaria*, núm. 3, p. 118-122.
3. R. ARAUJO, R. ARRIBAS, F. LUCENA i R. PARÉS (1989), «Relation between *Aeromonas* and faecal coliforms in fresh waters», *Journal of Applied Bacteriology*, núm. 67, p. 213-218.
4. J. STIENT i J. SCHWARZBROD (1990), «Parasitological contamination of marine sediments in Barcelona area. Spain», *Revue des Sciences de l'Eau*, núm. 3, p. 107-118.
5. M. D. FERRER i A. ISERN (1994), «Aislamiento y caracterización de *Yersinia enterocolitica* en el agua de mar de la línea de playa de la ciudad de Barcelona», a *Libro de Abstracts del VII Simposium de Laboratorios Municipales de Salud Pública*, Bilbao.
6. M. PUIG, J. JOFRE, F. LUCENA, A. ALLARD, G. WADELL i R. GIRONÉS (1994), «Detection of adenoviruses and enteroviruses in polluted waters by nested PCR amplification», *Applied and Environmental Microbiology*, núm. 60, p. 2963-2970.
7. S. PINA, M. BUTI, R. JARDI, P. CLEMENTE, J. JOFRE i R. GIRONÉS (2001), «Genetic analysis of hepatitis A virus strains recovered from the environment and from patients with acute hepatitis», *Journal of General Virology*, núm. 82, p. 2955-2963.
8. R. PINTÓ, C. VILLENA, F. LE-GUYADER, S. GUIX, S. CABALLERO, M. POMEPUY i A. BOSCH (2001), «Astrovirus detection in wastewater samples», *Water Science and Technology*, núm. 43, p. 73-76.
9. M. MONTEMAYOR, F. VALERO, J. JOFRE i F. LUCENA (2005), «Occurrence of *Cryptosporidium* spp. oocysts in raw and treated sewage and river water in north-eastern Spain». *Journal of Applied Microbiology*, núm. 99, p. 1455-1462.
10. J. DELLUNDÉ, S. PINA, J. JOFRE i F. LUCENA (2002), «A fast and sensitive nucleic acid extraction method for the detection of *Cryptosporidium* by PCR in environmental water samples», *Water Science and Technology. Water. Supplement*, núm. 2, p. 95-100.
11. L. MOCÉ-LLIVINA, J. JOFRE, X. MÉNDEZ, D. AKKELIDOU, F. LUCENA i G. PAPAGEORGIOU (2002), «Counting cytopatogenic viruses adsorbed to cellulose nitrate membrane filters as a simple method for counting viruses in raw sewage and sewage effluents», *Journal of Virological Methods*, núm. 102, p. 83-92.
12. N. QUERALT, E. GÓMEZ i R. ARAUJO (2002), «Detection of *Helicobacter pylori* in sewage using seminested PCR», a *Abstracts of the First IWA-AWWA International Symposium on Waterborne Pathogens*, Lisboa.
13. A. BLANCH, C. GARCÍA-ALJARO, M. MUNIESA i J. JOFRE (2003), «Detection, enumeration and isolation of strains carrying the *stx2* gene from urban sewage», *Water Science and Technology*, núm. 47, p. 109-116.

14. P. CLEMENTE, S. PINA, M. BUTI, R. JARDI, M. MARTIN, S. BOFILL i R. GIRONÉS (2003), «Hepatitis E epidemiology in industrialised countries», *Emerging and Infectious Diseases*, núm. 9, p. 448-454.
15. A. BLANCH, L. BELANCHE, X. BONJOCH, J. EBDON, C. GANTZER, F. LUCENA, J. OTTOSON, C. KOURTIS, A. IVERSEN, I. KÜHN, L. MOCÉ, M. MUNIESA, J. SCHWARTZBROD, S. SKRABER, G. PAPAGEORGIOUS, H. TAYLOR, J. WALLIS i J. JOFRE (2004), «Tracking the origin of faecal pollution in surface water. An ongoing project within the European Union research programme», *Journal of Water and Health*, núm. 2, p. 249-261.
16. J. BARTRAM (2003), «Investigation of Sporadic Waterborne Disease», a P. HUNTER, M. WAITEAND i E. RONCHI (ed.), *Drinking Water and Infectious Disease: Establishing the Links*, Londres, CRC Press i IWA Publishing.
17. P. PAYMENT i P. HUNTER (2003), «Intervention studies», a P. HUNTER, M. WAITEAND i E. RONCHI (ed.), *Drinking Water and Infectious Disease: Establishing the Links*, Londres, CRC Press i IWA Publishing.
18. P. MEAD *et al.* (1999), «Food related illness and Death in the United States», *Emerging and Infectious Diseases*, núm. 5, p. 607-625.
19. S. REGLI, J. ROSE, C. HAAS i C. GERBA (1991), «Modeling the risk from *Giardia* and viruses in drinking water», *Journal of American Water Works Association*, núm. 83, p. 11-76.
20. S. REGLI, P. BERGER, B. MACLER i C. HASS (1993), «Proposed decision tree for management of risks in drinking water: consideration for health and socioeconomic factors», a G. F. CRAUN (ed.), *Safety of Water Disinfection: balancing chemical and microbial risks*, Washington D. de C., ILSI Press.
21. A. HAVELAAR, A. de HOLLANDER, P. TEUNIS, E. EVERS, H. van KRANEN, J. VERSTEEGH, J. van KOTTEN i W. SLOB (2000), «Balancing the risks and benefits of drinking water disinfection: DALYs on the scale», *Environmental Health Perspectives*, núm. 108, p. 315-321.
22. A. VIDAL, F. LUCENA, I. ARZA, F. VALERO i J. JOFRE (1997), «Análisis de enterovirus en aguas superficiales», *Tecnología del Agua*, núm. 170, p. 38-48.
23. A. E. DURAN, M. MUNIESA, J. MÉNDEZ, F. VALERO, F. LUCENA i J. JOFRE (2002), «Removal and inactivation of indicator bacteriophages in fresh water», *Journal of Applied Microbiology*, núm. 92, p. 338-343.
24. J. JOFRE, F. LUCENA, LI. MATIA i F. RIBAS (2003), *La qualitat de l'aigua de consum humà a Catalunya*, Barcelona, Institut d'Estudis Catalans.
25. A. BOSCH, F. LUCENA, J. DIEZ, R. GAJARDO, M. BLASI i J. JOFRE (1991), «Waterborne viruses associated with a hepatitis outbreak», *Journal of American Water Works Association*, núm. 83, p. 80-83.
26. I. ARZA, J. MÉNDEZ, F. VALERO, J. JOFRE i F. LUCENA (2002), «Bacteriófagos como microorganismos modelo en los procesos de tratamiento de aguas potables», *Tecnología del Agua*, núm. 223, p. 30-37.
27. J. HUGUET, J. PERRAMÓN i F. RIBAS (1996), «Occurrence of *Salmonella* ssp in raw water from

- a treatment plant for Barcelona supply», a *Abstracts from the Health Related Water Microbiology Symposium*, Mallorca.
28. J. HUGUET (2003), comunicació personal.
29. L. MOCÉ-LLIVINA (2004), *Avenços metodològics en la detecció de virus entèrics a aigües*, Barcelona, Universitat de Barcelona, tesi doctoral.
30. J. MÉNDEZ, A. AUDICANA, M. CANCER, A. ISERN, J. LLANEZA, B. MORENO, M. NAVARRO, M. L. TARANCÓN, F. VALERO, F. RIBAS, J. JOFRE i F. LUCENA (2004), «Assesment of drinking water quality using indicator bacteria and bacteriophages», *Journal of Water and Health*, núm. 2, p. 201-215.
31. R. ARMON, R. ARAUJO, Y. KOTT, F. LUCENA i J. JOFRE (1997), «Bacteriophages of enteric bacteria in drinking water, comparison of their distribution in two countries», *Journal of Applied Microbiology*, núm. 83, p. 627-633.
32. ASAC (2002), *Els serveis d'abastament d'aigua a Catalunya: Caracterització i tendències 1998-2000*, Barcelona, Agrupació de Serveis d'Aigua de Catalunya (ASAC).
33. J. JOFRE, E. OLLÉ, F. RIBAS, A. VIDAL i F. LUCENA (1995), «Potential usefulness of bacteriophages that infect *Bacteroides fragilis* as model organisms for monitoring virus removal in drinking water treatment plants», *Applied and Environmental Microbiology*, núm. 61, p. 3227-3231.
34. M. RUTTER, G. NICHOLS, A. SWAN i J. de LOUVOIS (2000), «A survey of the microbiological quality of private water supplies in England», *Epidemiology and Infection*, núm. 124, p. 417-425.
35. J. DELLUNDÉ, A. TERRADILLOS i F. RIBAS (2002), «Consideraciones acerca de la detección de *Legionella* por cultivo en aguas naturales», a *Abstracts de la IV Reunión de Grupo de Microbiología del Medio Acuático de la SEM*, Sevilla.
36. Y. ANDERSON i P. BOHAN (2001), «Disease surveillance and waterborne outbreaks», a L. FEW-TRELL i J. BARTRAM (ed.), *Water Quality: Guidelines, Standards and Health*, Londres, IWA Publishing.
37. G. CRAUN, R. CALDERÓN i N. NWACUKU (2003), «Causes of Waterborne Outbreaks reported in the United States, 1991-1998», a P. HUNTER, M. WAITEAND i E. RONCHI (ed.), *Drinking Water and Infectious Disease: Establishing the Links*, Londres, CRC Press i IWA Publishing.

Qualitat química de l'aigua: els contaminants emergents a Catalunya

Miren López de Alda, M. Dolores Hernando i Mira Petrovic

Departament de Química Ambiental, Institut d'Investigacions Químiques
i Ambientals de Barcelona, CSIC

Damià Barceló

Departament de Química Ambiental, Institut d'Investigacions Químiques
i Ambientals de Barcelona, CSIC

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

Resum

L'aigua és un recurs natural escàs, indispensable per a la vida humana i el sosteniment del medi ambient, que, com a conseqüència del ràpid desenvolupament humà i econòmic i de l'inadequat ús que se n'ha fet com a mitjà d'eliminació, ha sofert una deterioració alarmant. En aquest article es discuteixen els riscos derivats de la contaminació de l'aigua, la legislació vigent i la problemàtica derivada de la presència dels denominats contaminants emergents en el medi ambient, dels quals es comenten en més detall els detergents de tipus alquilfenol etoxilat, com a exemple de *contaminants emergents* sotmesos a legislació recentment, els fàrmacs, amb especial èmfasi en els estrògens, com a exemple de contaminants emergents associats a riscos amagats, latents, i l'èter tert-butil metílic (MTBE) com a exemple de contaminants associats a riscos creixents i inesperats. Finalment, es discuteixen les noves tecnologies disponibles per a la depuració d'aigües, com els bioreactors de membranes, i s'apunten possibles solucions per a aconseguir una millora de la qualitat química de l'aigua.

Abstract

Water is a scarce natural resource that is essential to human life and environmental sustainability. As a result of the rapid human and economic development and the inappropriate use of it as a means of disposal, the quality of water has deteriorated alarmingly. This article discusses the risks derived from water pollution, the current law, and all the problems derived from the environmental presence of the so-called *emerging contaminants*, placing special emphasis on alkylphenol ethoxylate surfactants as an example of emerging contaminants that are already subject to regulation; medicines, and particularly estrogens, as an example of emerging contaminants associated to hidden, latent risks, and methyl tert-butyl ether (MTBE) as an example of contaminants associated to growing, unexpected risks. The article also tackles new technology available for water treatment, such as membrane bioreactors, and it outlines potential solutions to obtain a better chemical quality of water.

1. Introducció

L'aigua sempre s'ha considerat com un recurs natural que cal preservar d'una mala utilització o privatització per part de col·lectius o d'individuals i, ja l'any 1879, s'establia la Llei d'aigües, que va ser derogada per l'entrada en vigor de la Llei 25/1985, de 2 d'agost (BOE núm. 189, de 8 d'agost de 1985), on es posa de manifest que «l'aigua és un recurs natural essencial, indispensable per a la vida i per a l'exercici de la immensa majoria de les activitats econòmiques; és irremplaçable, no ampliable per la mera voluntat de l'home, irregular en la seva forma de presentar-se en el temps i en l'espai, fàcilment vulnerable i susceptible d'usos successius».

Es tracta d'un recurs que cal que sigui disponible no només en la quantitat necessària, sinó també amb la qualitat indispensable, en funció de les directrius de la planificació econòmica, d'acord amb les previsions de l'ordenació territorial i en la manera que la dinàmica social pròpia demana. No obstant això, la qualitat de l'aigua, tan química com biològica, s'ha vist progressivament empitjorada amb el pas del temps, i al problema de la contaminació cal afegir ara el de l'escassetat, aspecte que està adquirint proporcions alarmants a causa de la creixent desertització que està sofrint el nostre planeta.

El problema de la contaminació de l'aigua va començar a fer-se notable al principi del segle XIX, com a conseqüència de l'acusat desenvolupament experimentat per la població mundial, de l'increment de les concentracions urbanes i de l'avanç del desenvolupament industrial.

El despertar de la consciència científica i social sobre les possibles implicacions de la presència de contaminants d'origen antropogènic en el medi ambient aquàtic va tenir lloc en l'àmbit mundial l'any 1932 amb la publicació del llibre *Silent Spring* —o *Primavera silenciosa*.¹ En aquest llibre, l'autora, Raquel Carson, alertava de l'aparició de certes alteracions en espècies animals i la conseqüent extinció massiva, alteracions que atribuïa a l'exposició a compostos químics sintètics com el DDT. Des de llavors, un gran nombre de substàncies han estat identificades com a perilloses per a la salut humana i/o mediambiental, i el seu ús ha estat o bé prohibit o bé regulat per diferents legislacions amb la finalitat de reduir, en la mesura que sigui possible, l'exposició a aquestes substàncies. No obstant això, al marge d'aquestes substàncies, hi ha un ampli nombre, encara difícil d'estimar, de contaminants ambientals dels quals, fins avui, se sap molt poc o no res.

2. Fonts de contaminació: el cicle de l'aigua

A l'aigua es troben presents nombrosos elements d'origen natural (procedents de roques, del sòl, de l'aire, etc.) i molts altres d'origen antropogènic.

1. R. CARSON (2000), *Primavera silenciosa*, Madrid, Crítica.

Els primers problemes sorgits com a conseqüència de la presència de residus en les aigües són a causa de la utilització que l'home ha fet d'aquestes com a mitjà d'eliminació. Durant dècades, tones de substàncies biològicament actives, sintetitzades per l'ús en l'agricultura, la indústria, la medicina, etc., van ser abocades al medi ambient sense reparar en les possibles conseqüències.

L'aparició d'elements *no desitjables* i tòxics, i la variació en les concentracions dels constituents comuns, té el seu origen en 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, millor dit, l'alteració de la qualitat d'aquesta. No obstant això, les principals vies d'entrada de contaminants són les aigües residuals, entre les quals s'inclouen les urbanes, les industrials i les d'origen agrícola o ramader. La prevalença d'una o una altra depèn en gran mesura del tipus de contaminació de què es tracti i del nivell de depuració o atenuació natural (si hi és) que experimenten.

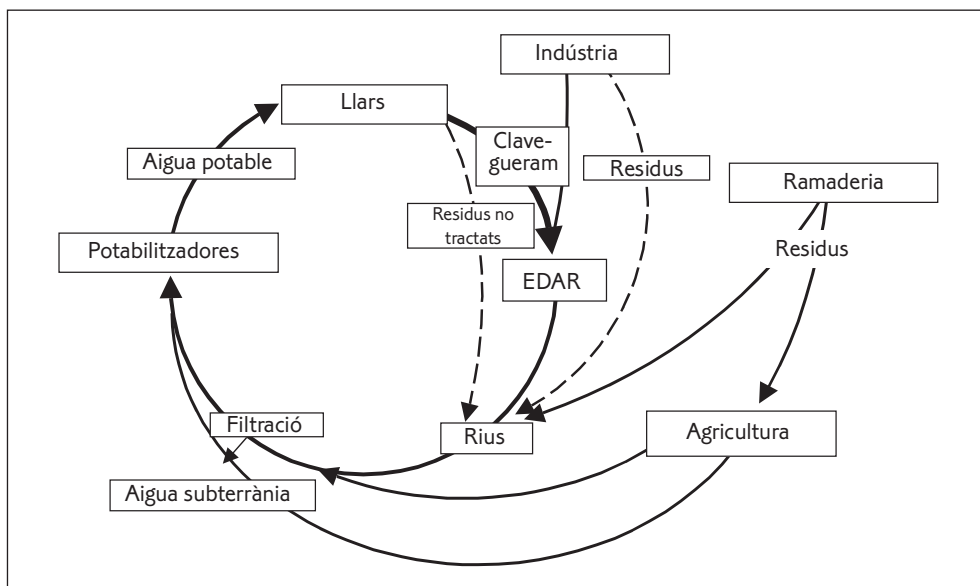


FIGURA 1. Cicle de l'aigua.

3. Riscos derivats de la contaminació de l'aigua

Els efectes que la contaminació química de l'aigua produeix són múltiples; entre els més importants cal destacar:

- acció tòxica i cancerígena,
- incidència sobre la producció d'aliments,

- limitació de l'ús de l'aigua amb finalitats recreatives,
- reducció de les possibilitats de l'ús industrial i agropecuari.

Els riscos que segueixen a la contaminació de l'aigua són difícils de precisar ja que, moltes vegades, les dosis tòxiques sobre les quals es treballa són molt petites, i el problema es complica encara més amb la presència simultània de diversos contaminants.

Els riscos derivats de la presència de contaminants químics al medi ambient es classifiquen en diverses categories:²

- riscos coneguts, com els associats als denominats *contaminants orgànics persistents* (POP) i *contaminants persistents*, bioacumulables i tòxics (PBT) regulats en les diferents legislacions;

- riscos creixents i inesperats, associats a contaminants prèviament coneguts i considerats poc perillosos, que es plantegen ara com un risc, arran del continu i creixent ús que se'n fa, com en el cas de l'èter tert-butil metílic (MTBE);

- riscos amagats, latents, associats a contaminants, prèviament coneguts o no, que no es consideraven com un risc, però que actualment són descoberts i reconeguts com a tals, com en el cas dels productes farmacèutics i de cura personal (*pharmaceuticals and personal care products*, PPCP);

- riscos emergents, que no existien prèviament però que sorgeixen com a conseqüència de la introducció de noves substàncies o noves aplicacions de substàncies conegudes;

- riscos futurs, no existents actualment, però que es poden anticipar o preveure, com a conseqüència de l'aprovació de noves generacions de compostos o fàrmacs.

4. Legislació ambiental

Des de la publicació de la Llei d'aigües, de 2 d'agost de 1985, que va derogar la centenària de 1879, i sobretot des de la incorporació d'Espanya a la UE, en igualtat de drets i deures amb la resta de països membres, han estat moltes les mesures legislatives que, amb variat rang normatiu, s'han anat adoptant progressivament amb la finalitat de protegir els recursos hídrics existents i d'harmonitzar la nostra legislació amb l'europea.

Així, doncs, la normativa vigent en matèria d'aigües es troba, avui en dia, dispersa en una àmplia varietat d'eines legislatives que presenten diferents nivells de competència —europeu (directives), nacional (reials decrets, ordres, etc.) o autonòmic (lleis, decrets legislatius)—, àmbits d'aplicació (aigües de consum humà, aigües subterrànies, aigües destinades a la producció d'aigua potable, etc.) i aspectes que cal regular (paràmetres de qualitat, freqüències de mostres i anàlisis, etc.).

2. C. G. DAUGHTON i T. A. TERNES (1999), *Environ. Health Perspectives*, núm. 107, p. 907.

No obstant això, en els pròxims anys, es preveu que moltes de les normes actuals quedin derogades per la recentment adoptada Directiva 2000/60/CE (i aquelles que la modifiquin), per la qual s'estableix un marc comunitari d'actuació per a la protecció de les *aigües superficials continentals, de transició, costaneres i subterrànies*, per a prevenir o reduir-ne la contaminació, promoure'n l'ús sostenible, protegir el medi ambient, millorar l'estat dels ecosistemes aquàtics i atenuar els efectes de les inundacions i les sequeres.

Així, transcorreguts set anys des de l'entrada en vigor d'aquesta Directiva, que va tenir lloc el 22 de desembre de 2000, quedarà derogada la legislació següent:

— Directiva 75/440/CEE del Consell, de 16 de juny de 1975, relativa a la qualitat requerida per a les aigües superficials destinades a la producció d'aigua potable als estats membres;

— Decisió 77/795/CEE del Consell, de 12 de desembre de 1977, per la qual s'estableix un procediment comú d'intercanvi d'informacions relatiu a la qualitat de les aigües continentals superficials a la comunitat;

— Directiva 79/869/CEE del Consell, de 9 d'octubre de 1979, relativa als mètodes de mesura i a la freqüència dels mostresos i de l'anàlisi de les aigües superficials destinades a la producció d'aigua potable als estats membres.

Així mateix, transcorreguts tretze anys des de l'entrada en vigor de la Directiva 2000/60/CE, quedaran derogades les directives següents:

— Directiva 78/659/CEE del Consell, de 18 de juliol de 1978, relativa a la qualitat de les aigües continentals que requereixen protecció o millora per a ser aptes per a la vida dels peixos;

— Directiva 79/923/CEE del Consell, de 30 d'octubre de 1979, relativa a la qualitat exigida a les aigües per a la cria de mol·luscs;

— Directiva 80/68/CEE del Consell, de 17 de desembre de 1979, relativa a la protecció de les aigües subterrànies contra la contaminació causada per determinades substàncies perilloses;

— Directiva 76/464/CEE del Consell, de 4 de maig de 1976, relativa a la contaminació causada per determinades substàncies perilloses abocades al medi aquàtic de la Comunitat (exceptuant l'article 6, que quedarà derogat a partir de la data d'entrada en vigor de la Directiva 2000/60/CE i de la recent Directiva 2006/11/CE).

A la Directiva 2000/60/CE, també denominada Directiva marc de l'aigua, que es caracteritza perquè presenta una visió global i un marc d'acció local, s'especifiquen les mesures que s'han de prendre per a assolir la protecció integrada de l'aigua i la qualitat química i ecològica d'aquesta, mitjançant la reducció progressiva de la contaminació existent i, en el cas de les denominades *substàncies perilloses prioritàries*, mitjançant el cessament o la progressiva eliminació d'abocaments, emissions i fugides. Les substàncies que aquesta Directiva estableix com d'interès prioritari a l'aigua (33 en total) es troben recollides en una llista dinàmica (Decisió núm. 2455/2001/EC) que es revisa cada quatre anys i que es mostra a la taula 1.

TAULA 1

Llista de substàncies prioritàries en l'àmbit de la política d'aigües (Decisió núm. 2455/2001/EC)*

| | Núm. CAS** | Nom de la substància prioritària | Substància identificada com a substància perillosa prioritària |
|------|---------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| (1) | 15972-60-8 | Alaclor | |
| (2) | 120-12-7 | Antracè | (X) **** |
| (3) | 1912-24-9 | Atrazina | (X) **** |
| (4) | 71-43-2 | Benzè | |
| (5) | no aplicable | Difenilèters bromats***** | X ***** |
| (6) | 7440-43-9 | Cadmi i els seus compostos | X |
| (7) | 85535-84-8 | C10-13-cloroalcans*** | X |
| (8) | 470-90-6 | Clofenvinfós | |
| (9) | 2921-88-2 | Cloropirifos | (X) **** |
| (10) | 107-06-2 | 1,2-dicloroetà | |
| (11) | 75-09-2 | Diclorometà | |
| (12) | 117-81-7 | Di(2-etilhexil)ftalat (DEHP) | (X) **** |
| (13) | 330-54-1 | Diuron | (X) **** |
| (14) | 115-29-7 | Endosulfan | (X) **** |
| | 959-98-8 | (alfa-endosulfan) | |
| (15) | 206-44-0 | Fluorantè***** | |
| (16) | 118-74-1 | Hexaclorobenzè | X |
| (17) | 87-68-3 | Hexaclorobutandiè | X |
| (18) | 608-73-1 | Hexaclorociclohexà | X |
| | 58-89-9 | (gamma-isòmero, lindà) | |
| (19) | 34123-59-6 | Isoproturon | (X) **** |
| (20) | 7439-92-1 | Plom i els seus compostos | (X) **** |
| (21) | 7439-97-6 | Mercuri i els seus compostos | X |
| (22) | 91-20-3 | Naftalè | (X) **** |
| (23) | 7440-02-0 | Níquel i els seus compostos | |
| (24) | 25154-52-3 | Nonilfenols | X |
| | 104-40-5 | (4-(para)-nonilfenol) | |
| (25) | 1806-26-4 | Octilfenols | (X) **** |
| | 140-66-9 | (para-ter-octilfenol) | |
| (26) | 608-93-5 | Pentaclorobenzè | X |
| (27) | 87-86-5 | Pentaclorofenol | (X) **** |
| (28) | no aplicable | Hidrocarburs poliaromàtics | X |
| | 50-32-8 | (Benzo(a)pirè) | |
| | 205-99-2 | (Benzo(b)fluorantè) | |
| | 191-24-2 | (Benzo(g,h,i)perilè) | |
| | 207-08-9 | (Benzo(k)fluorantè) | |
| | 193-39-5 | (Indeno(1,2,3-cd)pirè) | |
| (29) | 122-34-9 | Simazina | (X) **** |
| (30) | 688-73-3 | Compostos del tributiltín | X |
| | 36643-28-4 | (Tributiltín catió) | |

TAULA 1 (Continuació)

Llista de substàncies prioritàries en l'àmbit de la política d'aigües (Decisió núm. 2455/2001/EC)*

| | Núm. CAS** | Nom de la substància prioritària | Substància identificada com a substància perillosa prioritària |
|------|------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| (31) | 12002-48-1 120-82-1 | Triclorobenzens (1,2,4-triclorobenzè) | (X) **** |
| (32) | 67-66-3 | Triclorometà (cloroform) | |
| (33) | 1582-09-8 | Trifluralina | (X) **** |

* En els casos en què s'han seleccionat grups de substàncies, se citen substàncies representatives típiques individuals com a paràmetres orientatius (entre parèntesis i sense nombre). Els controls que s'estableixin aniran dirigits a aquestes substàncies individuals, sense perjudici que s'hi puguin incloure, si escau, altres substàncies representatives individuals.

** Número de registre del Chemical Abstract Services.

*** Aquests grups de substàncies normalment inclouen un nombre considerable de compostos individuals. Actualment, no és possible establir paràmetres indicatius apropiats.

**** Aquesta substància prioritària està subjecta a estudi per a identificar-la com a possible substància perillosa prioritària. La Comissió presentarà al Parlament Europeu i al Consell una proposta per a classificar-la finalment en un termini no superior a dotze mesos després de l'aprovació d'aquesta llista. Aquesta revisió no afectarà el calendari establert a l'article 16 de la Directiva 2000/60/CE per a les propostes de controls de la Comissió.

***** Només pentabromobifenilèter (nombre CAS 32534-81-9).

***** El fluorantè figura a la llista com a indicador d'altres hidrocarburs poliaromàtics més perillosos.

Com a complement d'aquesta Directiva, 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, que deroga l'anterior Reial decret 1138/1990, de 14 de setembre, pel qual es traslladava la Directiva comunitària 80/778/CEE, de 15 de juliol de 1980, i amb el qual queda incorporada a l'ordenament jurídic espanyol la Directiva comunitària 98/83/CE. Els paràmetres químics regulats en aquest Reial decret es mostren a les taules 2 i 3.

Ambdues llistes contenen, com pot veure's, una varietat de compostos orgànics, inorgànics i metalls considerats perillosos per a la salut humana i/o del medi ambient i les corresponents concentracions màximes admissibles. Molts d'aquests compostos, com els hidrocarburs aromàtics policíclics, els pesticides i la major part dels metalls, han estat objecte d'estudi i regulació durant dècades. Uns altres, per contra, han estat inclosos a les llistes de substàncies prioritàries recentment, com és el cas, per exemple, dels alquilfenols (productes de degradació de detergents de tipus alquilfenol etoxilat) o dels difenilèters bromats (utilitzats fonamentalment com a retardants de flama), que fins fa poc es consideraven contaminants emergents.

TAULA 2

Paràmetres químics regulats en el Reial decret 140/2003, de 7 de febrer, pel qual s'estableixen els criteris sanitaris de la qualitat de l'aigua de consum humà

| Paràmetre | Valor paramètric | Paràmetre | Valor paramètric |
|----------------------------------------------|------------------|---------------------------------|------------------|
| 1. Antimoni | 5,0 µg/L | 18. Nitrits: | |
| 2. Arsènic | 10 µg/L | Xarxa de distribució | 0,5 mg/L |
| 3. Benzè | 1,0 µg/L | A la sortida de l'ETAP/dipòsit | 0,1 mg/L |
| 4. Benzo(a)pirè | 0,010 µg/L | 19. Total de plaguicides | 0,50 µg/L |
| 5. Bor | 1,0 mg/L | 20. Plaguicida individual | 0,10 µg/L |
| 6. Bromat: | | Excepte per als de: | |
| A partir de l'01/01/2009 | 10 µg/L | Aldrín | 0,03 µg/L |
| De l'01/01/2004 al 31/12/2008 | 25 µg/L | Dieldrín | 0,03 µg/L |
| 7. Cadmi | 5,0 µg/L | Heptaclor | 0,03 µg/L |
| 8. Cianur | 50 µg/L | Heptaclor epòxid | 0,03 µg/L |
| 9. Coure | 2,0 mg/L | 21. Plom: | |
| 10. Crom | 50 µg/L | A partir de l'01/01/2014 | 10 µg/L |
| 11. 1,2-Dicloroetà | 3,0 µg/L | De l'01/01/2004 al 31/12/2013 | 25 µg/L |
| 12. Fluorur | 1,5 mg/L | 22. Seleni | 10 µg/L |
| 13. Hidrocarburs policíclics aromàtics (HPA) | 0,10 µg/L | 23. Trihalometans (THM): | |
| Suma de: | | Suma de: | |
| Benzo(b)fluorantè | µg/L | A partir de l'01/01/2009 | 100 µg/L |
| Benzo(ghi)perilè | µg/L | De l'01/01/2004 al | |
| Benzo(k)fluorantè | µg/L | 31/12/2008 | 150 µg/L |
| Indeno(1,2,3cd)pirè | µg/L | Bromodiclorometà | µg/L |
| 14. Mercuri | 1,0 µg/L | Bromoform | µg/L |
| 15. Microcistina | 1 µg/L | Cloroform | µg/L |
| 16. Níquel | 20 µg/L | Dibromoclorometà | µg/L |
| 17. Nitrat | 50 mg/L | 24, 25 i 26, vegeu la taula 3 | |
| | | 27. Tricloroetà + Tetracloroetà | 10 µg/L |

TAULA 3

Paràmetres químics que es controlen segons les especificacions del producte, regulats al Reial decret 140/2003, de 7 de febrer, pel qual s'estableixen els criteris sanitaris de la qualitat de l'aigua de consum humà

| Paràmetre | Valor paramètric | Notes |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------|
| 24. Acrilàmida | 0,10 µg/L | 1 |
| 25. Epiclorhidrina | 0,10 µg/L | 1 |
| 26. Clorur de vinil | 0,50 µg/L | 1 |
| 1. Aquests valors paramètrics corresponen a la concentració monomèrica residual a l'aigua, calculada d'acord amb les característiques de la migració màxima del polímer corresponent en contacte amb l'aigua. | | |

5. Contaminants emergents

Durant dècades, la comunitat científica ha centrat els seus esforços en l'estudi dels compostos químics regulats en les diferents legislacions. Com a conseqüència, diferents grups de contaminants, sobretot contaminants apolars, tòxics, persistents i bioacumulables, com els hidrocarburs aromàtics policíclics, els policlorobifenils (PCB) o les dioxines, han estat extensament estudiats, i el coneixement que es té sobre la presència d'aquests, així com de la destinació, i la persistència en el medi ambient aquàtic, és ampli.

No obstant això, en els últims anys, el desenvolupament de nous i més sensibles mètodes d'anàlisi ha desviat l'atenció de la comunitat científica cap a nous contaminants, no previstos en la legislació. Aquests nous contaminants, denominats *emergents*, es defineixen com a contaminants prèviament desconeguts o no reconeguts com a tals, i inclouen productes d'ús diari, tals com detergents, fàrmacs, productes per a la cura i la higiene personal, additius de gasolines, plastificants, etc.

5.1. *Detergents de tipus alquilfenol etoxilats: exemple de contaminants emergents sotmesos a legislació recentment*

Alguns dels contaminants denominats, fins ara, *emergents*, com per exemple els alquilfenols (nonilfenols i octilfenols), que es formen com a productes de degradació dels detergents de tipus alquilfenol etoxilat —utilitzats, sobretot, a la indústria de la pell però que en els darrers anys han experimentat una forta davallada en l'ús com a conseqüència de la reducció voluntària a les empreses de la pell catalanes, sobretot durant el tractament secundari de les aigües residuals—,³ no estaven, fins fa poc, sotmesos a legislació (figura 2). No obstant això, diversos estudis portats a terme en els últims anys, alguns a Catalunya, han posat de manifest que aquests compostos, igual que alguns derivats clorats i bromats d'aquest mateix tipus de detergents, que es formen durant els tractaments intermedis de potabilització de l'aigua,⁴ presenten una activitat estrogènica i una toxicitat aguda major, amb freqüència, que la dels compostos originals, i aquest fet n'ha motivat la inclusió d'alguns en les llistes de substàncies prioritàries (vegeu la taula 1).

5.2. *Fàrmacs: exemple de contaminants emergents associats amb riscos amagats, latents*

En les dues últimes dècades, els fàrmacs també han estat objecte de creixent preocupació i estudi. El consum de fàrmacs als països de la UE es xifra en tones per any, i molts dels més usats,

3. M. PETROVIC, M. SOLÉ, M. J. LÓPEZ DE ALDA i D. BARCELÓ (2002), *Environ. Toxicol. Chem.*, núm. 21, p. 2146.

4. M. PETROVIC, A. DÍAZ, F. VENTURA i D. BARCELÓ (2003), *Environ. Sci. Technol.*, núm. 37, p. 4442.

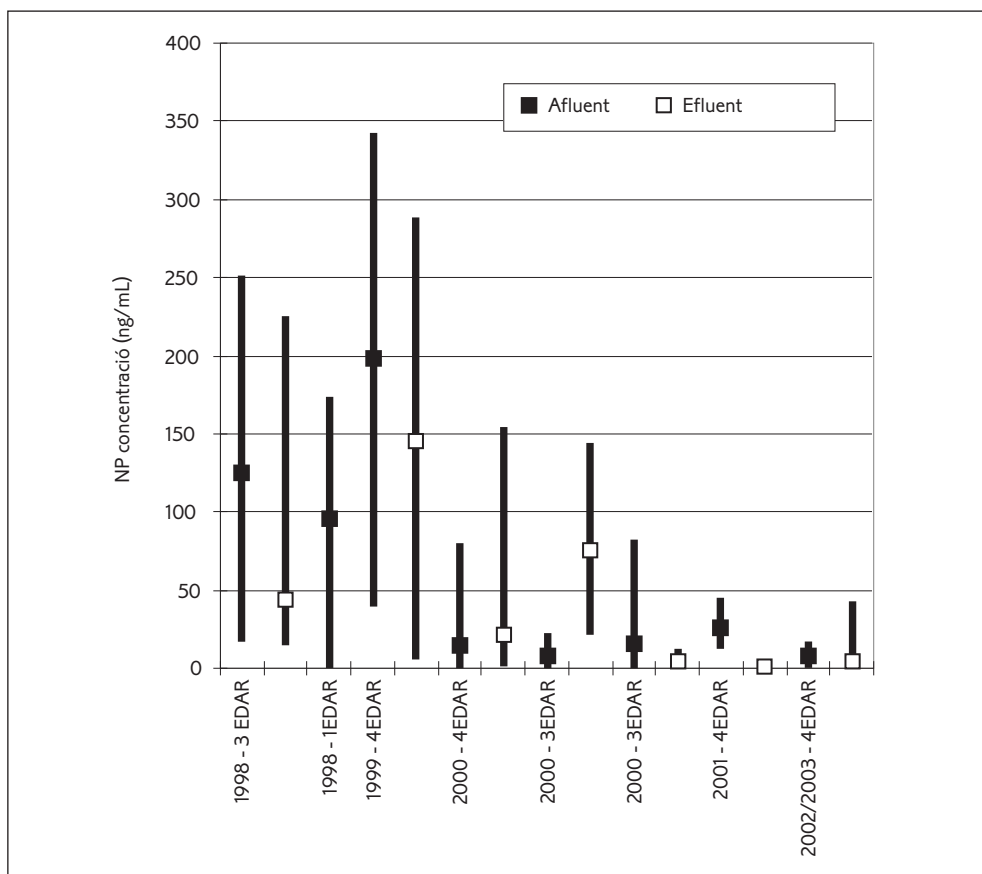


FIGURA 2. Concentració d'NP en aigües d'entrada i sortida d'estacions depuradores d'aigües residuals (EDAR) a Catalunya en el període comprès entre el 1998 i el 2003.⁵

entre els quals hi ha els antibiòtics, s'empren en quantitats similars a les dels pesticides.⁶ La figura 3 mostra les classes de fàrmacs que s'han consumit més en l'àmbit mundial l'any 2003.

De tots els fàrmacs, els estrògens (usats en píndoles anticonceptives i per al tractament de desordres hormonals tan freqüents com la menopausa) i els antibiòtics (usats per al tractament i la prevenció d'infeccions) són els compostos que probablement susciten més preocupació actualment: els primers per l'activitat que tenen com a disruptors endocrins, i els segons per la possibilitat que, com a conseqüència de l'ús extensiu que se'n fa, sobretot en granges i piscifactories, es desenvolupin ceps bacterians resistents que facin que aquests compostos deixin de ser efectius per al fi amb què van ser dissenyats.⁷

5. S. GONZÁLEZ, M. PETROVIC i D. BARCELÓ (2004), *J. Chromatogr. A*, núm. 1052, p. 111.

6. O. A. JONES, N. VOULVOULIS i J. N. LESTER (2001), *Environ. Toxicol.*, núm. 22, p. 1383.

7. S. DÍAZ-CRUZ, M. J. LÓPEZ DE ALDA i D. BARCELÓ (2003), *TrAC-Trends Anal. Chem.*, núm. 22, p. 340.

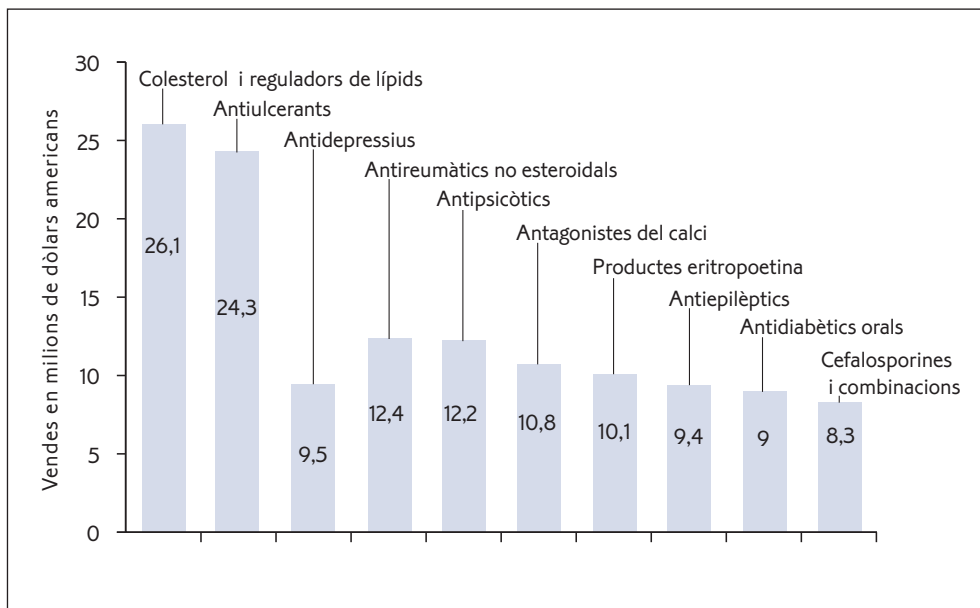


FIGURA 3. Classes de fàrmacs més venuts en l'àmbit mundial l'any 2003.

FONT: MS World Review 2004 (International Marketing Services).

El primer d'aquests grups de fàrmacs, els estrògens, juntament amb els detergents anteriorment mencionats (alquilfenol i derivats), van ser estudiats recentment en les aigües i els sediments dels rius Anoia i Cardener, afluents del riu Llobregat, a partir del qual es produeix gran part de l'aigua que se subministra a la ciutat de Barcelona, i, en aquest estudi, ambdós grups de compostos van ser identificats com a responsables de l'estrogenicitat que es va observar en els peixos capturats a les àrees d'estudi, alguns dels quals presentaven, a més d'un elevat nivell de vitel·logenina plasmàtica (proteïna utilitzada com a mesura de l'exposició a compostos estrogènics), òrgans reproductors masculins i femenins simultàniament.⁸

En un altre estudi realitzat recentment a Espanya (i simultàniament en altres països europeus) en què es va investigar la presència de diversos fàrmacs reguladors de lípids (bezafibrat, àcid clofíbric, gemfibrozil, fenofibrat), β -bloquejants (sotalol, metoprolol, betaxolol, atenolol) i antiinflamatoris (ibuprofè, diclofenac, naproxèn, ketoprofèn) en aigües residuals d'entrada i de sortida de plantes depuradores i en diversos rius, els antiinflamatoris juntament amb l'àcid clofíbric van ser els compostos detectats amb major freqüència i en major concentració (de fins a 7 $\mu\text{g/L}$).⁹ No obstant això, per a la major part dels fàrmacs, si s'exceptuen els estrògens, i potser els citostàtics i alguns compostos individuals, les conseqüències de la presència que tenen al medi ambient encara no estan clares. L'alarma sorgeix, més aviat, del fet que molts d'aquests

8. M. PETROVIC, M. SOLÉ, M. J. LÓPEZ DE ALDA i D. BARCELÓ (2002), *Environ. Toxicol. Chem.*, núm. 21, p. 2146.

9. M. D. HERNANDO, E. HEATH, M. PETROVIC i D. BARCELÓ (2006), *Analytical and Bioanalytical Chemistry* (en premsa).

no s'eliminen mitjançant els procediments habituals de depuració d'aigües residuals, tenen gran mobilitat en el medi ambient aquàtic i, per la continuada introducció en aquest, no necessiten ser persistents per a causar efectes negatius.¹⁰

5.3. MTBE: un clar exemple de risc creixent i inesperat

L'èter tert-butil metílic (MTBE) és un clar exemple de compost que presenta un risc creixent i inesperat per al medi ambient a causa del gradual i continuat ús que se'n fa. L'MTBE és el compost més utilitzat, actualment, com a additiu oxigenat en gasolines. A la fi dels anys noranta, després de l'establiment de l'anomenat Clean Air Act —amb el qual es pretenia reduir el nivell de CO₂ i d'ozó a l'aire de zones urbanes—¹¹ la utilització que se'n feia, com a substitut del plom per a adequar l'índex d'octà de les gasolines, va experimentar un espectacular augment. L'MTBE és, per les seves característiques fisicoquímiques, un compost soluble en aigua, mòbil i persistent, que, una vegada a l'aigua, és molt difícil d'eliminar. Aquest i altres additius oxigenats (èter tert-butil etílic, èter tert-pentil metílic i DIPE) van ser estudiats en 21 pous d'aigua subterrània a Catalunya, que en algun moment es van poder veure afectats per fugides de gasolineres, indústries químiques o refineries de petroli pròximes, i es va observar que 7 dels 21 pous investigats presentaven nivells de MTBE superiors o iguals a 20-40 µg/L, concentració a partir de la qual l'MTBE dona a l'aigua un gust i una olor característics, i que en un d'ells l'aigua contenia una concentració de MTBE (670 µg/L) molt superior al nivell de toxicitat suggerit per Dinamarca (350 µg/L).¹² Aquests nivells es troben, no obstant això, molt lluny d'aquells que s'estima que provoquen toxicitat aguda en invertebrats (entre 44 i ≥ 1.000 mg/L) i vertebrats (388 i ≥ 1.000 mg/L) aquàtics,¹³ però una infiltració continuada de MTBE a les aigües subterrànies, unida a la persistència, podria donar lloc en el futur a concentracions més elevades, suficients per a representar un risc.

A la figura 4 es mostra un cas de contaminació per MTBE a Catalunya publicat recentment.¹⁴ En aquest cas particular hi va haver un abocament des d'una gasolinera l'any 1999. Es van detectar nivells de fins a 1.860 i 830 µg/L per a l'MTBE i el BTX durant l'any 1999. Dos anys més tard, que és el que s'indica a la figura, es detectaren nivells de MTBE de 48 µg/L en un pou situat a 1,2 quilòmetres d'on es va produir l'abocament, i que s'indica a la figura 4. Tot fa pensar, com ho mostra la figura, que el plomall de MTBE a l'aigua subterrània és molt estret en direcció a l'est.

10. M. PETROVIC, S. GONZÁLEZ i D. BARCELÓ (2003), *TrAC - Trends Anal. Chem.*, núm. 22, p. 685.

11. Vegeu l'adreça: <http://www.epa.gov/oar/caa/caa.txt>.

12. M. ROSELL, S. LACORTE i D. BARCELÓ (2003), *Investigación y Ciencia* (agost), p. 6.

13. Vegeu l'adreça: http://www.tsrtf.ucdavis.edu/mtberpt/vol3_3.pdf.

14. M. ROSELL, S. LACORTE, A. GINEBREDÀ i D. BARCELÓ (2003), *J. Chromatogr. A*, núm. 995, p. 171.

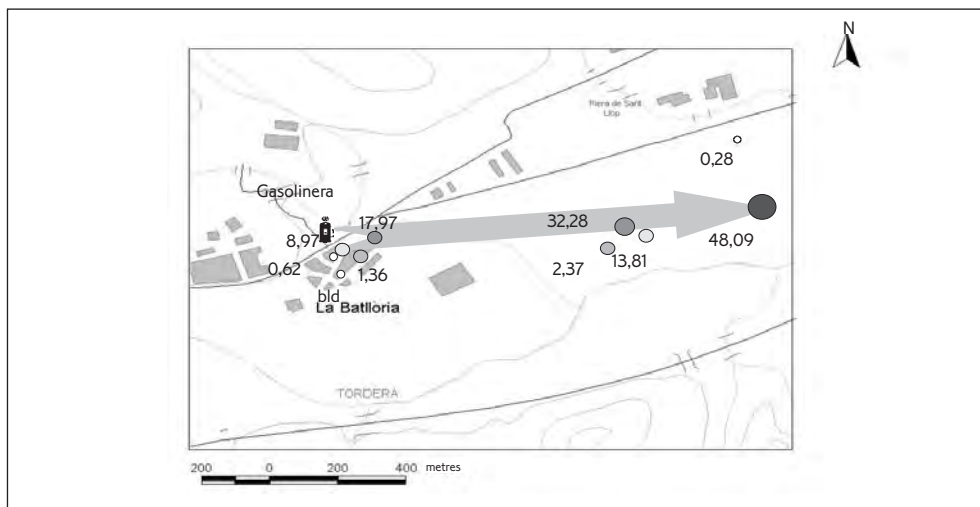


FIGURA 4. Nivells de MTBE expressats en µg/L en diferents pous situats a la Batllòria on una gasolinera va produir un abocament l'any 1999. Les dades corresponen a valors de mostres analitzades l'any 2001, on també s'indica el moviment del plomall de MTBE.

6. Tractament d'aigües

La majoria dels contaminants orgànics coneguts s'eliminen en major o menor mesura mitjançant els mètodes tradicionals de tractament d'aigua (primari o fisicoquímic i secundari o biològic) i, en major grau, mitjançant els tractaments terciaris (ozonització, filtració en carbó actiu, etc.), cada vegada més aplicats. No obstant això, n'hi ha d'altres que no s'eliminen i romanen a les aigües de sortida de les estacions depuradores d'aigua residual (EDAR), com és el cas d'alguns fàrmacs. Una altra possibilitat és que els compostos siguin només parcialment degradats i formin subproductes, tal com s'ha comentat per al cas dels nonilfenols etoxilats.

Un altre problema que sorgeix en el camp del tractament de les aigües residuals fa referència als inconvenients propis dels processos aplicats, com ara la gran demanda energètica dels processos d'aireig, els requeriments d'espai per als tractaments primaris i secundaris convencionals o l'elevada producció de fangs.

Actualment, l'avaluació de noves tecnologies que permetin superar aquestes limitacions optimitzant el rendiment i l'eficàcia dels processos de depuració i reduint els costos és de gran interès, no només per al tractament i la reutilització d'aigües residuals, sinó també per a l'obtenció d'aigua potable. Entre aquestes tecnologies cal citar les següents:

- Tecnologia de membranes
 - Bioreactor de membranes (MBR)
 - Nanofiltració/ultrafiltració
 - Osmosi inversa

- Tecnologies amb processos d'oxidació avançada (catalítics o fotocatalítics)
- Tecnologies avançades amb processos de bioactivació (aerobis o anaerobis)
- Electròlisi/electrodialísi, irradiació per emissió electrònica, tractaments electromagnètics, irradiació UV o descàrrega en arc, ultrasons, plasma fred i nous tipus de barreres reactives permeables.

De tots aquests, l'MBR es considera, actualment, un dels tractaments més prometedors. El principal avantatge d'aquest sistema, que combina la tecnologia de membranes amb els processos biològics, és que permet obtenir un alt grau de depuració, i que elimina no només les partícules sòlides en suspensió, sinó també els bacteris i els organismes patògens, i fins i tot els virus, depenent de si s'apliquen membranes de microfiltració o ultrafiltració, al mateix temps que minimitza en gran mesura la generació de fangs i les necessitats d'espai, ja que, una única unitat de processat permet efectuar el tractament equivalent al desenvolupat en els tancs d'aïreig convencionals (tractament biològic aerobi), tanc d'estabilització i de filtració (vegeu la figura 5). A pesar d'aquests avantatges, estudis preliminars realitzats en una planta pilot proveïda amb aquest sistema indiquen que l'MBR, tal com es mostra a la figura 6, no és eficaç al 100 % en l'eliminació d'alguns fàrmacs, com l'àcid clofíbric, el diclofenac o el triclosan en una planta pilot de MBR instal·lada des del mes d'abril del 2004 a l'EDAR de Rubí.

7. Conclusions i propostes d'actuació

L'aigua és un recurs natural escàs, indispensable per a la vida humana i el sosteniment del medi ambient, que, com a conseqüència del ràpid desenvolupament humà i econòmic i de l'i-

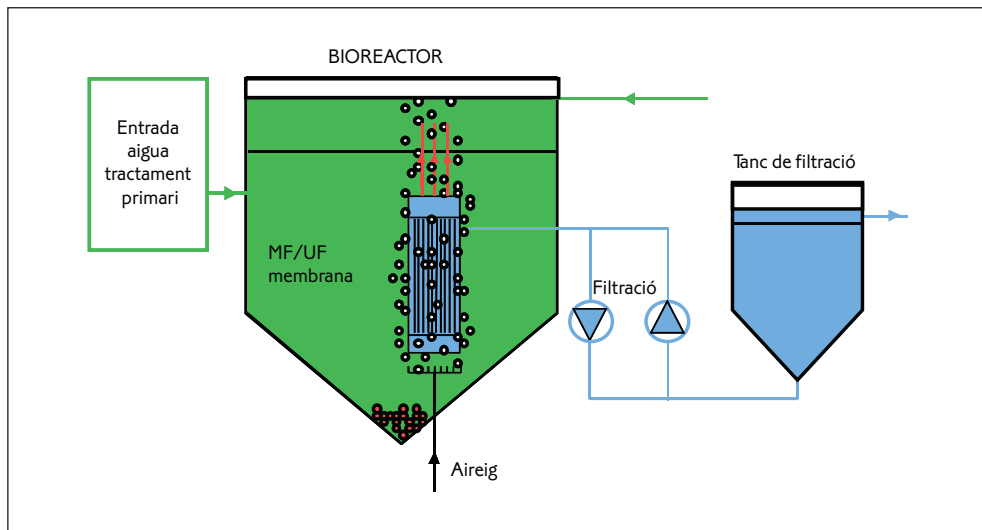


FIGURA 5. Esquema de l'MBR.

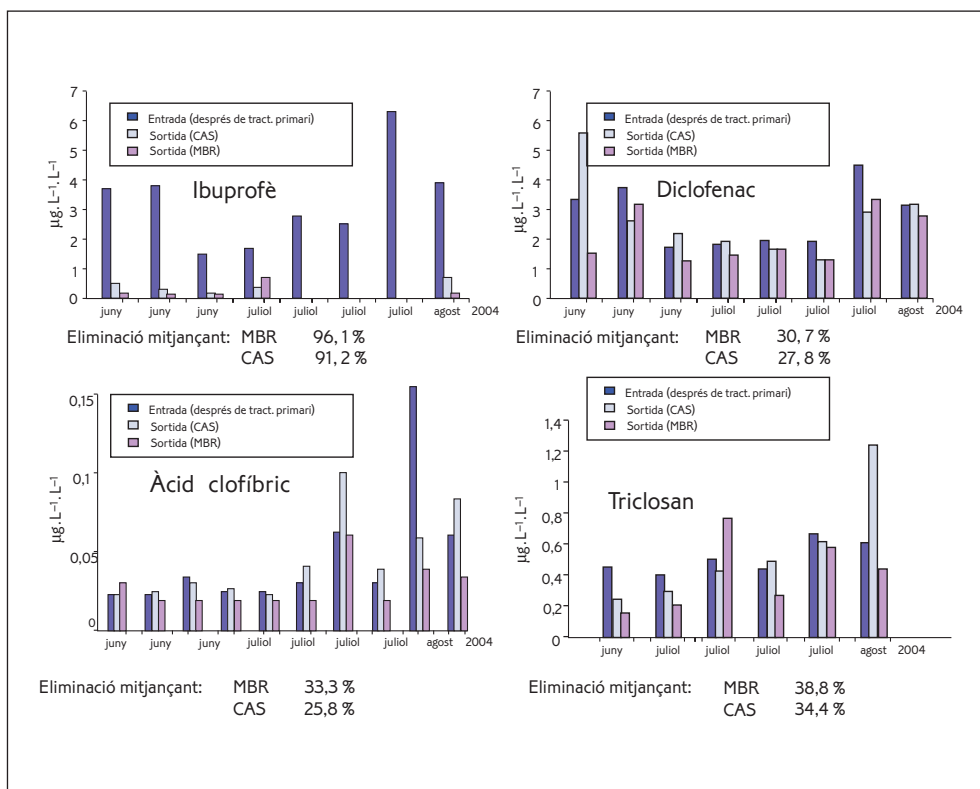


FIGURA 6. Eliminació de fàrmacs mitjançant diferents tractaments de depuració d'aigües. CAS: fang activat convencional (*Conventional Activated Sludge*); MBR: bioreactor de membranes (*Membrane Bio-Reactor*). Instal·lat a l'EDAR de Rubí.

nadequat ús que se n'ha fet com a mitjà d'eliminació, 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 han contribuït a pal·liar parcialment aquesta situació. No obstant això, la demanda creixent i el descobriment continu de nous contaminants potencialment perillosos deixen clara la necessitat de seguir avançant en l'aplicació de mesures reguladores, en la investigació de la naturalesa de la contaminació i en la recerca de tecnologies de tractament alternatives avançades que permetin aconseguir i mantenir un nivell de qualitat de les aigües adequat, impedir l'acumulació de compostos tòxics o perillosos i evitar qualsevol altra situació que pugui causar-ne la degradació.

Les solucions que s'apunten per tal d'assolir una major qualitat química de l'aigua passen per promoure la reutilització de les aigües residuals depurades (actualment molt baixa), regular, o bé restringir l'ús de productes perillosos, millorar la depuració d'aigües residuals urbanes, incrementar significativament l'aplicació de tractaments de depuració terciaris, tractar per se-

parat i de forma diferenciada les aigües de procedència industrial des de l'origen i maximitzar la reutilització de l'aigua industrial per mitjà de circuits tancats i autodepurats, entre d'altres. També, per a una protecció eficaç de la qualitat integral de les aigües, caldrà promoure programes de vigilància ambiental per als contaminants emergents, de manera que es garanteixi la conservació del medi aquàtic natural, la gestió integral dels recursos hídrics, l'eficiència en l'ús de l'aigua i la reutilització. No hem d'oblidar que qualsevol part del cicle de l'aigua és important, i que, en definitiva, si millorem la qualitat de l'aigua en el seu origen o evitem escapaments, el proveïment d'aigua de tota la població tindrà més qualitat i serà major.

8. Agraïments

Aquest treball ha estat finançat per la Unió Europea (mitjançant el projecte MODELKEY SSPI-CT2003-511237-2) i pel Ministeri de Ciència i Tecnologia (projecte EVITA CTM2004-6265-CO3-01). María J. López de Alda i Mira Petrovic agraeixen al Ministeri de Ciència i Tecnologia la concessió dels seus contractes Ramón y Cajal.

El canvi climàtic i el cicle de l'aigua

Josep Enric Llebot

Departament de Física i Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals

Universitat Autònoma de Barcelona

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

Resum

En aquest treball es pretén explorar, de manera breu i concisa, com el canvi climàtic afecta el cicle de l'aigua. L'aproximació a aquesta qüestió, però, s'assolirà passant d'una visió global del problema a interpretar de manera molt general la paraula *cicle hidrològic* quan s'analitza quines conseqüències poden donar-se arran dels canvis de la circulació termohalina a l'Atlàntic Nord, i s'acabarà particularitzant, a la segona part del treball, en aquells aspectes més concrets que poden afectar el nostre país.

Abstract

This work tries to explain concisely how climate change affects the water cycle. First it presents a global view of the relationship between climate change and the hydrological cycle, focusing on what consequences may have variations in the North Atlantic thermohaline circulation due to abrupt climate changes. The second part of the work is devoted to the analysis of the implications that this could have for Catalonia.

Introducció

El clima terrestre ha estat canviant des de l'inici de la història geològica del nostre planeta. La successió de períodes glacials i interglacials va propiciar l'estudi sobre les causes que fan que el comportament mitjà del temps meteorològic —el que al capdavant coneixem com a clima— canviï. No obstant això, durant la segona meitat del segle xx ha sorgit un altre tema, el canvi climàtic d'origen antropogènic, que interessa i preocupa la societat i que ha plantejat serioses preguntes al camp de la ciència. És important adonar-se, però, que per a respondre moltes d'aquestes preguntes no s'ha de saber únicament com funciona el sistema climàtic sinó, també,

com evolucionen alguns indicadors socials, com l'economia, la tecnologia i la demografia, per exemple.

El sistema climàtic és un conjunt de complexes interaccions i intercanvis de massa i d'energia entre l'atmosfera, la hidrosfera, la coberta de neu i de glaç, la litosfera i la biosfera. El comportament físic d'aquest sistema es veu influenciat per l'energia que ens arriba del Sol, que depèn de l'activitat que tingui i de les característiques de l'òrbita de la Terra al voltant del Sol. Així, en analitzar el comportament del sistema climàtic trobem un sistema caracteritzat per moltes escales de temps diferents: escales de temps externes associades als cicles característics de variació de l'energia solar, que comprèn des del cicle d'onze anys de les taques solars fins a cicles de vint-i-un mil, quaranta-dos mil i cent mil anys associats als canvis en les característiques de l'òrbita de la Terra al voltant del Sol i escales de temps internes al sistema climàtic que són també molt diferents: des de les hores o els pocs dies que caracteritzen els cicles d'evolució de l'atmosfera, passant pels cicles estacionals de la biosfera fins a arribar a fenòmens que tenen temps característics de milers o, fins i tot, milions d'anys, com són els desplaçaments de les conques oceàniques i de les escorces continentals.

Tot aquest context està amanit per fenòmens difícils de predir, com les erupcions volcàniques, i, des de fa uns dos-cents anys, pels impactes que els canvis en la composició d'alguns gasos minoritaris a l'atmosfera tenen per l'ús dels combustibles fòssils i els canvis en els usos del sòl.

És clar i ben conegut el fet que la composició atmosfèrica canvia (Houghton, 2001), com es pot veure a la figura 1, que conté una representació gràfica de les mesures del contingut de CO₂ des de l'any 1958. El mateix es pot obtenir si es representa el contingut de metà, o el de l'hexafluorur de sofre o d'halocarburs, etc.

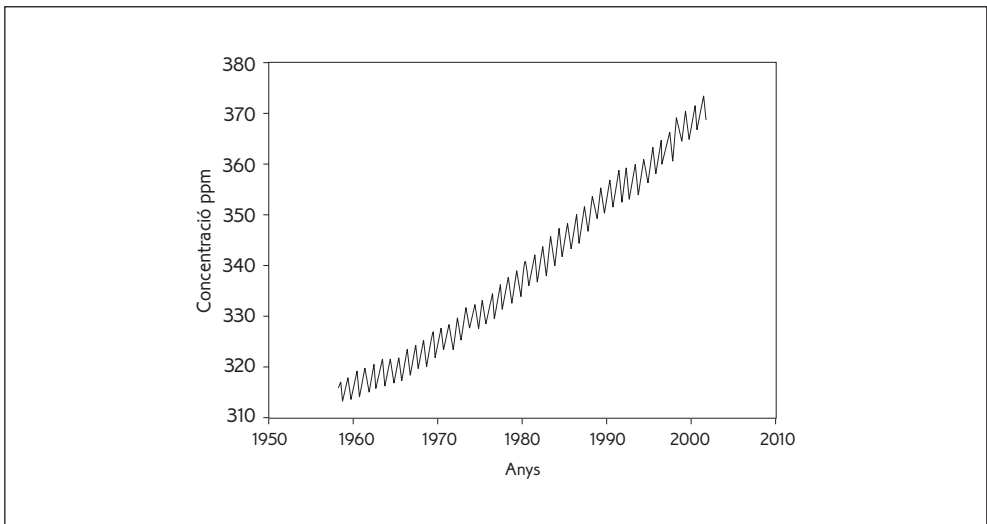


FIGURA 1. Concentració de CO₂ a l'observatori de Mauna Loa, a Hawaii.

FONT: NOAA.

Per tant, l'increment de gasos causants de l'efecte d'hivernacle a l'atmosfera fa deduir algunes de les conegudes prediccions que estipulen que la temperatura superficial mitjana pot augmentar, en el període que va del 1990 al 2100, entre 1,4 °C i 5,8 °C, o que la precipitació i la humitat atmosfèrica augmentaran a les latituds altes i mitjanes, especialment a l'hivern, i que en latituds baixes podran donar-se augments o disminucions, depenent del lloc. Així mateix, es preveu que de manera genèrica la mitjana de precipitacions anuals creixi arreu, amb algunes excepcions. També, els estudis prospectius preveuen canvis en la freqüència d'esdeveniments meteorològics extrems (més dies càlids, menys dies freds, augment de les precipitacions fortes, augment de les secades, etc.).

A la segona part d'aquest article es tracten aquests aspectes particularitzant la regió mediterrània. En aquesta primera part del treball es parla, però, d'una qüestió força especulativa, malgrat que darrerament està despertant molta activitat entre la comunitat científica i que té alguna cosa a veure amb el balanç hídric, però a escala global. Es tracta de fer una breu discussió sobre com el canvi del règim hídric a l'oceà pot alterar-ne substancialment el funcionament.

El canvi climàtic i el cicle hidrològic global: els canvis climàtics sobtats

Fins a la darrera dècada, el punt de vista dominant sobre els canvis climàtics que s'han donat en el passat es plantejava considerant que el clima variava lentament, en escales de temps de milers d'anys. S'interpretaven els canvis associant-los amb les variacions lentes de l'energia del Sol rebuda a la Terra, produïdes per les variacions de l'activitat de l'astre, amb la deriva continental, però, sobretot, amb les oscil·lacions periòdiques de les característiques de l'òrbita de la Terra al voltant del Sol, la precessió, l'excentricitat de l'òrbita i l'angle de l'eix terrestre amb el pla de l'òrbita (Milankovitch, 1920). No obstant això, durant els anys 1990 s'han realitzat nombrosos estudis paleoclimàtics que aporten evidències geològiques sobre com ha canviat el clima de manera ràpida, és a dir, sobre com s'ha produït, en el decurs d'una o dues dècades, la variació de la temperatura superficial de l'aire aproximadament d'una o dues desenes de graus o d'un factor dos en la precipitació en una o dues dècades (Alley i Clark, 1999).

El sistema climàtic en el passat ha experimentat grans canvis entre estats molt diferents, que caracteritzen comportaments típics del clima. Els que es coneixen d'una manera una mica més precisa, com sembla lògic, corresponen als que s'han donat durant els darrers cent mil anys durant l'establiment i la recuperació del darrer període glacial. Si el nostre interès és saber si és possible que en el futur immediat es pugui donar un canvi climàtic ràpid per tal de preveure'n les conseqüències, ens és imprescindible poder entendre i conèixer els fenòmens que els han provocat en el passat. Així sí, fins fa pocs anys, es tenia el convenciment que si el canvi en la composició atmosfèrica era gradual també ho seria el canvi en el clima, l'estudi dels canvis climàtics sobtats ens fa especular sobre la possibilitat que les accions de l'home puguin induir a

un canvi que es doni en pocs anys i que, en conseqüència, tinguin lloc transformacions molt ràpides en tots els sistemes naturals i socials.

Certament, aquells que consideren seriosa aquesta possibilitat encara són minoria entre la comunitat científica, malgrat que durant els darrers anys s'ha estudiat amb insistència i dedicació els canvis climàtics sobtats. Encara hi ha avui un gran buit en la comprensió dels processos que sembla que els controlen o dels que els desencadenen ja que, fins ara, aquells mecanismes que s'han proposat per a explicar-los encara no són capaços, per si sols, de descriure i reproduir de manera completa els canvis sobtats del registre paleoclimàtic ni del registre històric.

Es pot definir un canvi climàtic com a ràpid o sobtat quan el canvi en el comportament del sistema climàtic és forçat per una causa que, una vegada s'ha superat un cert llindar, desencadena una transició fins a una nova situació d'equilibri del clima que es produeix amb una rapidesa superior a la dinàmica d'evolució de la causa. L'exemple més característic d'un canvi climàtic ràpid té alguna cosa a veure amb un canvi substancial del balanç hídric a l'hemisferi nord, el col·lapse de l'actual corrent termohalí a l'Atlàntic Nord.

A l'Atlàntic Nord, l'escalfament diferencial entre les latituds altes i les latituds baixes fa que hi hagi una tendència a accelerar les aigües superficials cap al pol. Així, l'aigua que arriba a latituds altes procedent de l'equador és aigua força salina, és a dir, força densa a causa de la gran evaporació a què està sotmesa l'aigua al voltant dels tròpics. La densitat de la massa d'aigua augmenta a mesura que la temperatura disminueix. Per tant, l'aigua que arriba al voltant del cercle polar àrtic és una aigua densa que tendeix a enfonsar-se. Aquesta tendència és contrastada, en part, per l'efecte que té el vessament de l'aigua dolça dels rius i, sobretot, de l'aigua procedent de la fusió dels gels. Actualment l'aigua encara és prou densa com per a enfonsar-se a les latituds altes. En baixar fins a fondàries d'entre tres mil i quatre mil metres, l'aigua es desplaça cap al sud, i tanca, així, un cicle que es coneix com a *circulació termohalina de l'Atlàntic Nord*.

Si, com a conseqüència de l'escalfament global, la temperatura atmosfèrica creix i, per tant, a altes latituds a l'Atlàntic es dona la fusió d'una major quantitat de gel i de neu i, a més, augmenta també la precipitació, la salinitat de l'aigua disminuirà i es pot produir l'aturada de la circulació termohalina actual i el corresponent canvi del clima. Les conseqüències de la interrupció del corrent termohalí a l'Atlàntic Nord afectarien, per exemple, la península escandinava, que tindria hiverns amb temperatures molt més baixes de les que té actualment.

No es pensa solament en un únic mecanisme. També els processos caòtics que es donen en el sistema climàtic poden produir que sigui impossible determinar l'existència d'una única causa com la inductora d'un canvi important en les propietats ambientals.

Quan es vol estudiar això que hem descrit de manera tan resumida, s'analitza teòricament l'acoblament dels dos subsistemes més importants pel que fa a la seva dinàmica: l'oceà i l'atmosfera. Partint de la base que múltiples simulacions que comprenen des de models simples fins a arribar als complicats models de circulació general, ara es pot dir que el sistema oceà-atmos-

fera sotmès als mateixos forçaments externs pot assolir diferents règims d'equilibri estables (Pujol, 2000a i 2000b). La transició entre aquests estats estables es dona de manera molt ràpida quan determinats paràmetres climàtics assoleixen uns valors llindars. Aquest comportament, que necessàriament és no lineal, s'acostuma a descriure mitjançant la imatge d'un cicle d'histeresi, cicle que es dona en altres disciplines de la física i que evidencia de manera molt clara l'existència de dos estats d'equilibri estables diferents. Aquest cicle s'acostuma a representar mitjançant la temperatura de l'aigua a l'Atlàntic Nord i del flux d'aigua dolça procedent dels rius, la pluja i la fusió dels blocs de gel (vegeu la figura 2).

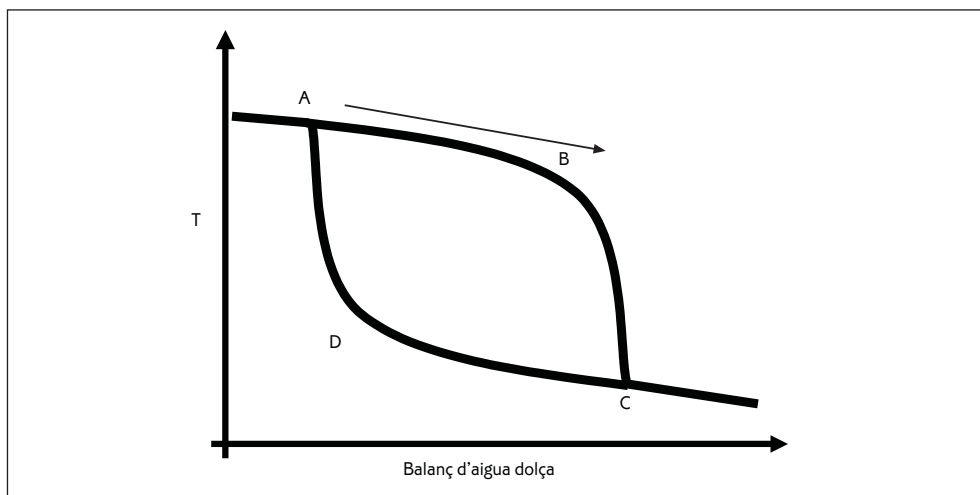


FIGURA 2. Esquema del funcionament d'un procés no lineal que caracteritza els canvis climàtics sobtats. La branca que va d'A a B simbolitza el corrent termohalí actual de l'aigua caracteritzat per una temperatura de l'aigua superficial relativament alta. Quan el flux d'aigua dolça supera un cert llindar (B) el sistema passa a ser descrit per la línia CD, que és distintiva d'un estat d'equilibri caracteritzat per una temperatura baixa i per una circulació de l'aigua del mar diferent de l'actual. La tornada al règim actual es produiria si el flux de l'aigua dolça assolís el valor caracteritzat pel punt D. Les transicions de B a C i de D a A corresponen a canvis climàtics ràpids.

Aquest corrent termohalí que es dona a l'Atlàntic Nord no es dona al Pacífic, ja que en aquest gran oceà l'aigua és menys salina que a l'Atlàntic. Així, la diferència de densitats controla la convecció que es dona a la major part de l'Atlàntic Nord. Pel fons de la conca oceànica l'aigua va cap al sud, on acaba tornant a pujar, a poc a poc, a la superfície en zones tropicals. Aquest cicle, que és força lent, mitjançant el moviment de les aigües superficials transporta calor a les latituds altes i ventila les aigües profundes, fixant CO_2 de l'atmosfera a les aigües profundes de l'oceà.

L'escala de temps dels canvis climàtics sobtats és tan petita que la societat i els ecosistemes naturals poden tenir problemes d'adaptació. Per tant, des d'una perspectiva actual, una de les qüestions fonamentals, ara per ara sense resposta, és saber si les activitats humanes poden

desencadenar un canvi climàtic sobtat i, en el cas que la resposta sigui afirmativa, saber a quina distància temporal estem del desencadenament del procés de canvi.

Els mecanismes que causen els canvis climàtics sobtats

Els diferents components del sistema climàtic tenen diferents temps característics de resposta a les pertorbacions. L'atmosfera, que caracteritza els meteors que es donen a la superfície terrestre i que determinen la meteorologia, té un temps de resposta ràpid i constitueix el subsistema climàtic de resposta més ràpida (Peixoto i Oort, 1984). La hidrosfera o la criosfera tenen, en canvi, respostes molt més lentes. Els mecanismes fonamentals que caracteritzen els processos de canvi climàtic sobtat no són pas diferents dels que caracteritzen els canvis climàtics lents. Però han de tenir una característica addicional que superi la inèrcia i el comportament característic i *lent* d'un element fonamental per al sistema climàtic: els fluxos d'aigua als oceans. Per tant, un mecanisme que porti a canvis climàtics sobtats ha de reunir les condicions següents (Alley, 2002): 1) ha de desencadenar un procés o una pertorbació caòtica que porti a superar el valor llindar d'una variable del sistema climàtic que desencadena l'esdeveniment; 2) ha de ser un amplificador o un globalitzador que intensifiqui i estengui la influència dels canvis locals, i 3) ha de ser una font de persistència que permeti a l'estat del clima alterat mantenir-se per desenes, centenars o milers d'anys.

Molts canvis del clima s'han descrit com a petites desviacions a partir d'un estat de referència, sovint en equilibri amb els forçaments externs. La idea habitual i més senzilla és suposar que si els forçaments externs o el comportament intern del sistema climàtic varia lleugerament respecte de la situació d'equilibri, la resposta del sistema serà proporcional a la causa, és a dir, el sistema assolirà un estat d'equilibri molt pròxim al de partida; és el que s'anomena *model lineal*. No obstant això, el model lineal no és aplicable al cas dels canvis sobtats en què una petita pertorbació pot produir un canvi molt més gran en les variables característiques del sistema. Per tant, en analitzar aquestes situacions s'ha de tenir en compte consideracions no lineals i processos transitoris que habitualment no es tenen en compte. En aquestes situacions la utilització dels models computacionals ha jugat un gran paper; tanmateix, hi ha tres tipus de models analítics que han configurat el camí que pot portar als canvis climàtics sobtats.

El primer és el model de dues caixes formulat per Henry Stommel (Stommel, 1961; Marotzke, 2000). El model de Stommel fou publicat l'any 1961 però pràcticament no fou reconegut per ningú fins passats vint-i-cinc anys. El model mostra com els diferents temps de resposta a la calor absorbida, de la superfície de l'oceà i de l'aigua dolça, donen lloc a diferents estats d'equilibri. Això comporta que els forçaments i les condicions de contorn, per si soles, no defineixin l'estat d'equilibri del sistema (vegeu la figura 2). La no-linealitat del model de Stommel sorgeix perquè els camps de fluxos de l'aigua als oceans que transporten la calor i la salinitat són a la vegada funció de la temperatura i de la salinitat. Així, les no-linealitats i els equilibris múl-

tiples són els conceptes fonamentals darrere la gènesi dels canvis climàtics sobtats (vegeu la figura 3). La circulació d'aigua marina, q , és proporcional a la diferència de la densitat de l'aigua entre les latituds altes i les baixes. Així, si la densitat al voltant de les aigües àrtiques és més gran que la densitat en latituds baixes el flux d'aigua és positiu ($q > 0$) i a l'inrevés. Les aigües tropicals guanyen calor i perden aigua degut a l'evaporació. Les aigües polars, en canvi, perden calor cap a l'atmosfera i guanyen aigua dolça del desglaç dels gels continentals. Per tant, tant la temperatura com la salinitat són més grans a les latituds baixes que a les latituds altes. Les dues variables, doncs, tenen efectes oposats sobre la densitat. Els valors de q en el model són, per tant, petits i, en conseqüència, la transició entre $q > 0$ (circulació de sud a nord) i $q < 0$ (circulació de nord a sud) pot ser molt ràpida.

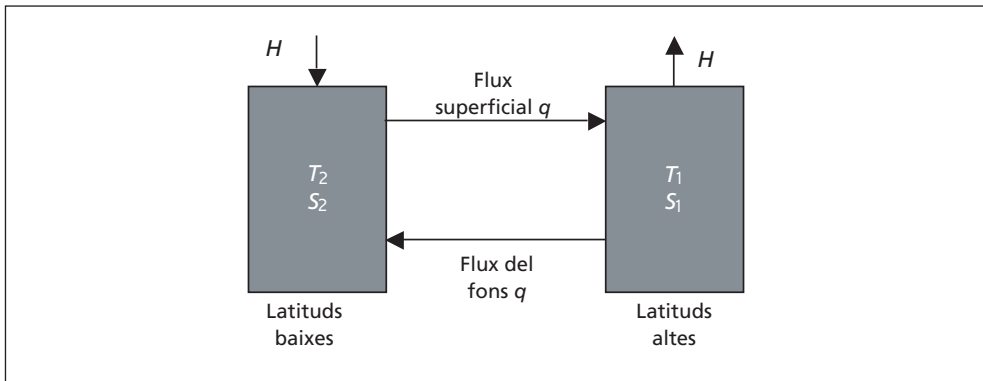


FIGURA 3. Representació esquemàtica del model de Stommel. T és la temperatura i S la salinitat. H és el flux de salinitat produït per l'evaporació o barreja amb aigua dolça. Al voltant de l'equador l'evaporació de l'aigua del mar és gran i augmenta la salinitat, mentre que en latituds altes els vessaments d'aigua dolça producte de la fusió dels gels la disminueixen. Els fluxos d'aigua són moguts per la diferència de densitats entre les diferents masses d'aigua.

El segon és el model de Sellers (Sellers, 1969), que és un model senzill de balanç d'energia. En aquest model es mostra que per a una determinada quantitat de radiació solar s'aconsegueix un planeta càlid en equilibri o un planeta fred. Les no-linealitats aquí s'introdueixen mitjançant la descripció d'un acoblament neu-albedo que s'aplica únicament en un determinat interval de temperatures. Quan el planeta és fred, i la neu reflecteix la radiació solar, el sistema es manté fred. Una terra més càlida té menys neu, absorbeix més llum del sol i està en equilibri també amb la radiació incident. L'element desencadenant del canvi entre un estat i l'altre és la radiació solar o altres paràmetres que influeixen el balanç radiatiu, com la cobertura de neu.

El model de Lorentz (Lorentz, 1963) proporciona una descripció simplificada de la circulació atmosfèrica. A banda dels equilibris múltiples en què es poden situar els sistemes en funció dels valors dels paràmetres, aquests models exhibeixen oscil·lacions autosostingudes. Un sistema oscil·la entre un o dos centres preferits de l'espai de fases, els anomenats *atractors*, que

correspondrien a dos estats del sistema climàtic. En el model de Lorentz, la transició entre un estat i l'altre es dona espontàniament i de manera no previsible.

Mitjançant simulacions del clima realitzades amb l'ús de models de circulació general s'ha comprovat que pot donar-se la possibilitat d'un corrent termohalí a l'Atlàntic Nord diferent de l'actual en resposta a l'augment de la concentració atmosfèrica dels gasos causants de l'efecte d'hivernacle (Stocker, 1997). No obstant això, és difícil fer prediccions sobre quina és la probabilitat que es donin aquests canvis tan ràpids. Per això els científics s'han dedicat a estudiar el passat climàtic de la Terra, a partir del qual es pot afirmar que durant la darrera glaciació s'han produït canvis en la circulació termohalina en resposta a petits canvis en el cicle hidrològic. Aquests canvis s'han estimat que són d'aproximadament 0,1 Sv ($1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) (Clark, 2002). Les dades paleoclimàtiques i els resultats dels models indiquen, però, que l'estabilitat o la inestabilitat del corrent termohalí de l'Atlàntic Nord depenen de cada estat climàtic mitjà.

El canvi climàtic i el cicle hidrològic local

Des del començament dels estudis que analitzaven les possibles conseqüències de l'escalfament global s'ha reconegut la importància d'aquest fenomen en el cicle hidrològic a escala regional i local. Canvis en el repartiment dels recursos hídrics entre el continent, el mar i l'atmosfera per una zona determinada poden tenir importants efectes sobre l'agricultura, el transport, la generació d'energia elèctrica, etc. Abans de donar una perspectiva dels lligams que s'albiren entre el canvi climàtic d'origen antròpic i els recursos hídrics al nostre país, cal assenyalar que el canvi climàtic és només una de les pressions amb què s'enfronten el sistema hidrològic i els recursos hídrics. Els canvis d'usos del sòl, la gestió del sòl i els canvis en les pràctiques agrícoles, les creixents demandes de consum i algunes transformacions tecnològiques sotmeten a tensions la disponibilitat d'aquest recurs fonamental per a la vida, que acostumen a ser majors que les que pugui eventualment produir l'escalfament de l'atmosfera (McCarthy, 2001).

El cicle hidrològic estableix el balanç d'aigua en l'àmbit de la conca hidrogràfica. Per això les unitats de gestió administrativa de l'aigua estan organitzades al voltant de les conques hidrogràfiques. Per a establir un balanç s'ha de tenir en compte la precipitació d'aigua o neu que cau en un període determinat, les pèrdues a l'atmosfera per evaporació i evapotranspiració, l'escorriments superficial dels rius, la infiltració cap al subsòl, etc. La quantitat total d'aigua de què es pot disposar es calcula, però, a partir de la diferència entre la precipitació total i l'evapotranspiració

$$A = P - ET,$$

on A és l'aportació d'aigua de la conca, P és la precipitació i ET és l'evapotranspiració. Aquestes variables depenen, naturalment, del temps tot i que habitualment s'utilitzen valors mitjans

anuals, però també depenen de la temperatura i de la coberta vegetal. En un context com el del nostre país i amb l'objectiu d'estudiar el possible efecte del canvi climàtic sobre el cicle de l'aigua, les mitjanes anuals no serveixen sempre. Interessa precisar-ho en intervals temporals inferiors per tal de poder tenir en compte efectes característics de la variabilitat climàtica o la freqüència d'episodis extrems (Mas-Pla, 2005).

L'avaluació dels possibles impactes del canvi climàtic sobre el cicle hidrològic comporta, naturalment, l'ús de models de predicció climàtica. Una pràctica habitual és calcular a partir dels escenaris d'emissions habitualment usats les variables meteorològiques i utilitzar-les com a elements d'entrada de models hidrològics. La primera dificultat sorgeix en l'escala. Mentre que els models climàtics tenen una resolució d'uns quants centenars de quilòmetres, els models hidrològics necessiten una resolució molt superior, de pocs quilòmetres. Durant els darrers anys s'han desenvolupat tècniques per a assolir aquesta fita, però encara no estan desenvolupades arreu.

La precipitació

La precipitació és el principal factor de variabilitat del balanç hídric en l'espai i en el temps. La variabilitat hidrològica està influenciada per les variacions de la precipitació a escala diària, estacional, anual i escales temporals superiors. La freqüència de les inundacions i de les seques està afectada per canvis de la variabilitat any a any de la precipitació i canvis de les característiques de les pluges i de les tempestes.

La tendència genèrica que els estudis dels models aporten és que la precipitació, en general, augmentarà a l'hemisferi nord a les latituds mitjanes i altes i a les regions equatorials, particularment a la tardor i a l'hivern, mentre que a les regions subtropicals hi haurà una disminució general. Arreu, els canvis seran petits comparats amb la variabilitat climàtica natural, que també augmentarà, especialment a l'àrea mediterrània. A la figura 4 es pot veure un resum de les prediccions dels models elaborat per l'IPCC (Houghton, 2001). Els canvis potencials en la intensitat de la precipitació són difícils d'obtenir a partir dels models globals. Han començat a aparèixer alguns estudis que obtenen com a probable un augment de la intensitat de les pluges (McCarthy, 2001). D'altra banda, l'augment de la temperatura mitjana significa una menor proporció de precipitació en forma de neu. En aquelles zones on la precipitació de neu és escassa, aquesta pot desaparèixer en poc temps, la qual cosa pot induir a un impacte que cal considerar en els règims hidrològics.

Pel que fa a les tendències enregistrades fins ara a Catalunya, segons Martín Vide (Martín Vide, 2005) no resulten evidents canvis significatius en la quantitat de la precipitació (vegeu la figura 5). No obstant això, amb dades de l'observatori Fabra de Barcelona, s'ha produït una tendència negativa estadísticament significativa del nombre anual de dies de precipitació (Lana, 2003), és a dir, que tendeix a haver-hi menys dies en què plou. En canvi, no s'observa

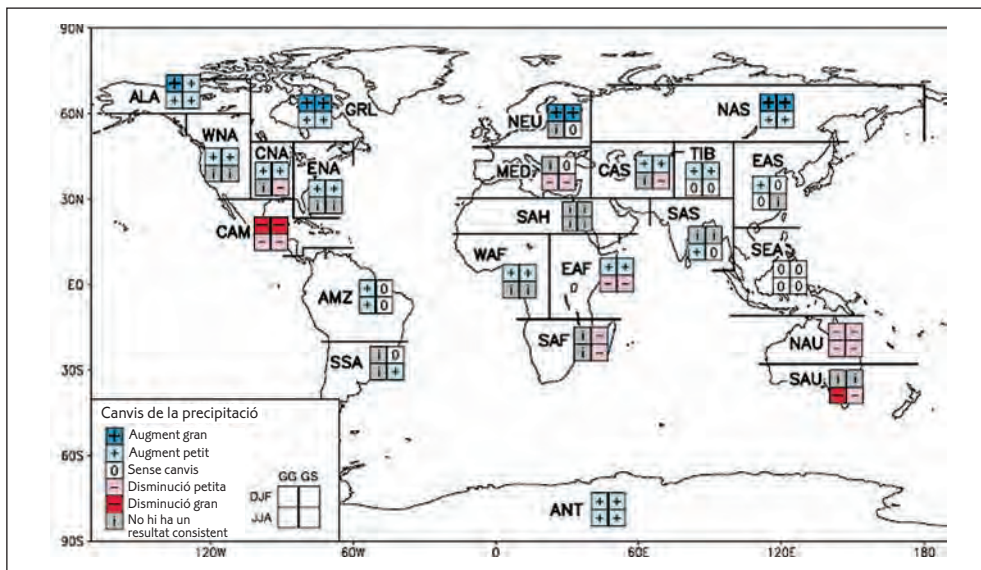


FIGURA 4. Canvis estacionals en la precipitació segons diferents models (Houghton, 2001).

un augment dels màxims de precipitació tot i que en algunes anàlisis sembla que pot començar-se a detectar (Lana, 2001). A la figura 6 Martín Vide observa que, si es compta el nombre de dies amb una precipitació igual o superior a 30, 50 i 100 mm des de 1950 fins a 1990, no hi ha cap senyal estadísticament significatiu.

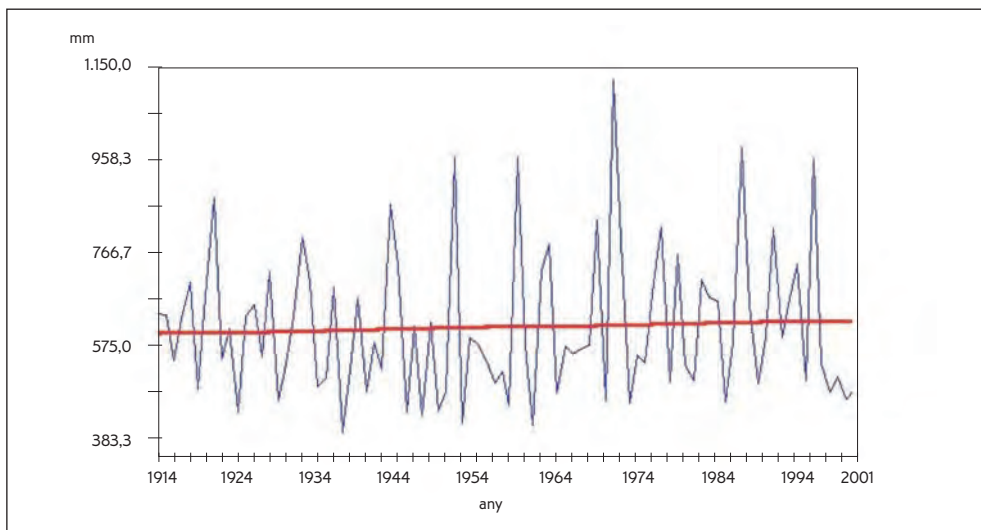


FIGURA 5. Evolució temporal de la precipitació anual a l'observatori Fabra durant el període 1914-2001. FONT: Martín Vide (2005).

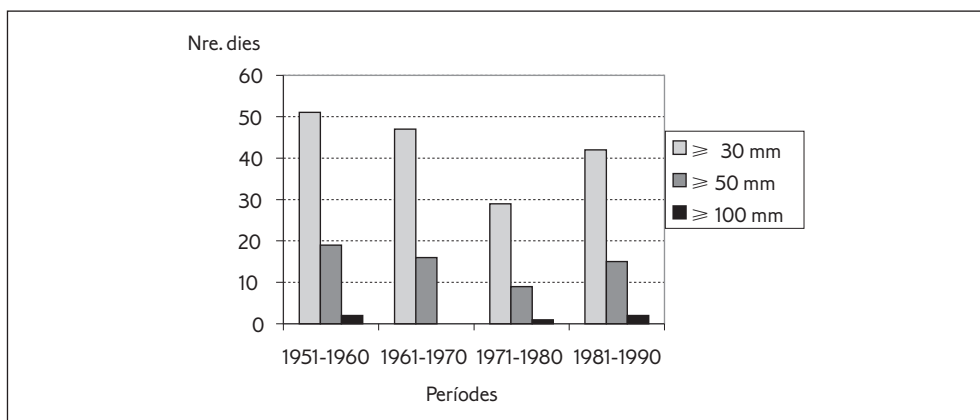


FIGURA 6. Nombre de dies amb precipitació de més de 30, 50 i 100 mm a Barcelona (Martín Vide, 2005).

Al nostre país hi ha dos marcats períodes de pluges durant el període que va del setembre al novembre i del març al maig. Una de les tendències que sembla que s'observa és el desplaçament del període de pluges de la tardor cap al novembre i, com s'ha dit abans, que no hi ha variacions significatives quant a la quantitat total de precipitació anual. Una altra característica és la gran variabilitat espacial i temporal de les tendències estacionals de la pluja, la qual cosa fa pensar que hi ha molts factors locals que influencien en la manera i la quantitat com es produeix la precipitació. Entre els factors que influencien aquest fenomen hi ha les activitats humanes i els processos ecològics i de degradació. En un detallat estudi (González-Hidalgo *et al.*, 2001) que analitza estacionalment el comportament de la precipitació al País Valencià, es ratifica que no hi ha una tendència perceptible anual tot i que es constata una disminució de pluges durant la tardor i un augment irregular la resta de l'any, sense que es puguin treure conclusions de la tendència espacial i temporal.

En aquest context, què diuen els models? Com ja s'ha dit abans, els models climàtics encara tenen una resolució massa pobre per tal de poder ser útils en la predicció precisa d'allò que pot passar al cicle hidrològic d'una conca. No obstant això, s'elaboren prediccions que estableixen que per a la península Ibèrica la reducció de les precipitacions mitjanes a l'horitzó del 2060 serà d'un 2% a les conques del nord i d'un 17% a les conques del sud (Ayala-Carcedo, 2000). Tot i això, cal avançar en el desenvolupament d'estratègies de modelització que permetin millorar aquestes prediccions recollint les variades característiques de la climatologia del nostre país.

L'evaporació

En considerar l'evaporació es té en compte la que prové de la superfície del sòl, de l'aigua del mar i dels llacs, els rius, els embassaments, etc., i, també, naturalment, de l'evapotranspi-

ració de les plantes. La taxa d'evaporació depèn de les característiques meteorològiques i també de les característiques de les plantes i del terra. El canvi climàtic antròpic sembla que exerceix un potencial d'afectació d'aquest procés, però encara no se sap en quina direcció, ja que diferents components de l'evaporació en diferents llocs són afectats de manera diferent. Per exemple, no és el mateix considerar l'evaporació en zones humides o en zones àrides. En el primer cas, l'evaporació varia en funció de l'energia rebuda del Sol i en funció de la humitat; per tant, a l'hora de saber l'impacte del canvi climàtic s'ha de saber com canviaran ambdues variables. En canvi, en zones àrides, on la humitat atmosfèrica és molt baixa, l'evaporació únicament depèn de l'energia, és a dir, de la temperatura, i en augmentar aquesta augmentarà l'altra. En general podem dir, però, que es preveu un augment de l'evaporació potencial, tot i que és difícil avaluar-ne quantitativament la magnitud. Tanmateix, l'evaporació depèn de la disponibilitat d'aigua de manera que una reducció de l'aigua disponible a l'estiu pot induir a una reducció de l'evaporació.

La humitat del sòl

Els efectes locals del canvi climàtic sobre la humitat del sòl varien no només pels diferents graus en què el canvi climàtic es manifestarà sinó també depenent de les característiques de cada sòl. L'avaluació més propera a nosaltres és la realitzada per Carlos Gracia (Gracia *et al.*, 2002), on estima, especialment per als sòls forestals, que la reserva hídrica actual és de 32 mm de mitjana anual, i que l'any 2040 serà de 24 mm, és a dir, un 25 % menys, com a conseqüència de l'augment del període vegetatiu i d'una demanda superior d'evaporació.

Les aportacions dels rius

Malgrat que aquest és un punt que ha estat profusament estudiat de manera general, és difícil identificar les tendències en les aportacions dels rius relacionades amb el canvi climàtic perquè aquests estan molt regulats per infraestructures. En termes generals, arreu, els cabals evolucionen de la mateixa manera que ho fan les precipitacions, malgrat que sovint és difícil distingir els efectes nets del canvi climàtic. A Catalunya sembla que, atenent als escenaris de precipitació que es formulen, tendiran a augmentar les situacions de cabals baixos als rius. Josep Mas-Pla (Mas-Pla, 2005) ha estudiat l'evolució del cabal del riu Fluvià des del 1912 fins a l'actualitat. Aquest riu és adequat per a ésser estudiat, ja que no té grans infraestructures de regulació i els únics aprofitaments es deuen a les derivacions dels usos domèstics i industrials. A l'esmentat estudi s'observa que a partir de 1960 hi ha una tendència a augmentar la variabilitat interanual dels cabals mitjans diaris; també augmenta la variabilitat interanual dels cabals mitjans, i sembla que es comença a detectar que els cabals mitjans diaris anuals també pre-

senten els valors més alts en els anys més recents. Aquestes conclusions, amb les precaucions pertinents, poden extrapolar-se als altres rius de la nostra geografia.

Freqüència d'esdeveniments extrems

Aquest és un altre efecte important, especialment a la conca mediterrània. Com s'ha dit abans, no s'ha detectat el senyal de canvi, ni en la freqüència ni en la intensitat dels esdeveniments extrems. Ayala-Carcedo proposa (Ayala-Carcedo, 2000) una fórmula per a calcular el coeficient de variació, relacionat amb la intensificació dels episodis extrems. El coeficient de variació es calcula a partir de l'aportació A i de la precipitació P , segons la fórmula empírica

$$C_v = (A/P)^{-0.39}.$$

Quan es calcula aquest coeficient per a la península Ibèrica es troba que augmenta arreu llevat de les conques internes de Catalunya. Això significa que, a la major part de la península Ibèrica, els esdeveniments extrems augmentaran.

Les zones litorals

Un dels resultats ben coneguts, i àmpliament difós, relacionat amb els impactes del canvi climàtic és l'ascens del nivell del mar. Aquest efecte es deu essencialment a la dilatació tèrmica de l'aigua produïda per l'augment de la temperatura de l'aire i per la contribució de la fusió dels casquets glacials i geleres continentals. Els registres dels mareògrafs tenen poca història i, per tant, s'han de prendre amb molta precaució, però en qualsevol cas mostren una tendència a l'alça. Efectivament, durant el període que va del 1990 al 2000, el mareògraf d'Alacant va mesurar un ascens d'uns 6,5 mm/any, registre molt semblant al del mareògraf de l'Estartit, que durant el mateix període va mesurar un ascens de 6 mm/any. Els mareògrafs del Cantàbric, en canvi, registren ascensos més alts de 10-15 mm/any. Això produeix un impacte important, especialment als deltes i als aiguamolls de casa nostra. En la major part d'escenaris futurs, la penetració de l'aigua dolça per la llera dels rius donarà lloc a una falca salina i a un augment de la salubritat de les aigües superficials en èpoques de cabals baixos, la qual cosa probablement també produirà un deteriorament dels cabals subterranis (Mas-Pla, 2003).

Conclusions

Pel que fa a escala global, durant els propers anys hi haurà un progrés considerable en l'anàlisi dels canvis climàtics ràpids que portarà a millorar els models de simulació del clima i, a

la vegada, a una millor comprensió dels impactes del canvi climàtic en els recursos hídrics i, especialment, en la circulació termohalina a l'oceà. Pel que fa a l'àmbit local, malgrat que encara no es pot dir que hi hagi constància d'un senyal de canvi climàtic pel que fa a les precipitacions, sembla molt clar que els canvis en la disponibilitat dels recursos hídrics serà un dels principals problemes associats als futurs canvis ambientals. Això comportarà que els canvis estacionals en els episodis pluviomètrics induïxin a una disminució de l'aigua infiltrada al sòl i a la generació d'avingudes. Així mateix, es preveuen etapes amb els cabals dels rius baixos durant llargs períodes, la qual cosa faria baixar els nivells freàtics a causa dels problemes en la recàrrega dels aqüífers.

Referències bibliogràfiques

- ALLEY, Richard B.; CLARK, P. U. (1999). «The deglaciation of the Northern Hemisphere: A global perspective». *Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences*, vol. 27, p. 149-182.
- ALLEY, Richard B. [et al.] (2002). *Abrupt Climate Change: Inevitable Surprises*. Washington, D. de C.: National Academy Press.
- AYALA-CARCEDO, Francisco J.; IGLESIAS, A. (2000). «Impacto del posible cambio climático sobre los recursos hídricos, el diseño y la planificación hidrológica en la España peninsular». A: BALAIRON, L. [ed.]. *El cambio climático*. Madrid: Servicio de Estudios del BBVA, p. 201-222.
- CLARK, Peter U. [et al.] (2002). «The role of the thermohaline circulation in abrupt climate change». *Nature*, vol. 415, p. 863-869.
- GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C. [et al.] (2001). «Spatial distribution of seasonal rainfall trends in a western mediterranean area». *International Journal of Climatology*, vol. 21, p. 843-860.
- GRACIA, Carlos A. [et al.] (2002). «El cambio climático y la reducción de la reserva de agua en el bosque mediterráneo». *Ecosistemas* [en línia], núm. 2. <<http://www.aet.org/ecosistemas/022/investigación4.htm>>
- HOUGHTON, John T. [ed.] (2001). «Intergovernmental Panel on Climate Change». A: *IPCC Third Assessment Report: The Scientific Basis*. Cambridge: Cambridge University Press.
- LANA, Xavier [et al.] (2001). «Patterns of monthly rainfall shortage and excess in terms of the standardized precipitation index for Catalonia (NE Spain)». *International Journal of Climatology*, vol. 21, p. 1669-1691.
- (2003). «Trends affecting pluviometric indices at the Fabra Observatory (Barcelona, NE Spain) from 1917 to 1999». *International Journal of Climatology*, vol. 23, p. 315-332.
- LORENTZ, Edward N. (1963). «Deterministic non-periodic flow». *Journal of the Atmospheric Sciences*, vol. 20, p. 130-141.
- MCCARTHY, James J. [et al.] [ed.] (2001). «Intergovernmental Panel on Climate Change». A: *IPCC Third Assessment Report: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge: Cambridge University Press.

- MAROTZKE, Jochem (2000). «Abrupt climate change and thermohaline circulation: Mechanisms and predictability». *PNAS*, vol. 97, p. 1347-1350.
- MARTÍN VIDE, Javier (2005). «Factors geogràfics, regionalització climàtica i tendències de les sèries climàtiques a Catalunya». A: LLEBOT, J. E. [ed.]. *Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. P. 81-111.
- MAS-PLA, Josep (2005). «Recursos hídrics, dinàmica hidrològica i canvi climàtic». A: LLEBOT, J. E. [ed.]. *Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. P. 485-516.
- MILANKOVITCH, Milutin (1920). *Theorie Mathematique des Phenomenes Thermiques produits par la Radiation Solaire*. París: Gauthier-Villars.
- PEIXOTO, José P.; OORT, Abraham H. (1984). «Physics of Climate». *Reviews of Modern Physics*, vol. 56, p. 365-429.
- PUJOL, Toni; LLEBOT, Josep Enric; FORT, Quim (2000a). «Extremal climatic states simulated by a 2-dimensional model. Part I: Sensitivity of the model and present state». *Tellus*, vol. 52A, p. 422-439.
- (2000b). «Extremal climatic states simulated by a 2-dimensional model. Part II: Different Climatic Scenarios». *Tellus*, vol. 52A, p. 440-454.
- SELLERS, W. D. (1969). «A global climate model based on the energy balance of the earth-atmosphere system». *Journal of Applied Meteorology*, vol. 8, p. 392-400.
- STOCKER, Thomas F.; SCHMITTNER, Andreas (1997). «Influence of CO₂ emission rates on the stability of the thermohaline circulation». *Nature*, vol. 388, p. 862-865.
- STOMMEL, Henry (1961). «Thermohaline convection with two stable regimes of flow». *Tellus*, vol. 13, p. 224-230.

Tractament d'aigües residuals

Miquel Salgot

Departament de Productes Naturals, Biologia Vegetal i Edafologia
Facultat de Farmàcia, Universitat de Barcelona

Resum

La depuració d'aigües residuals és una de les eines actuals per a millorar la qualitat sanitària i ecològica de les aigües naturals al país. Cal considerar aquesta activitat integrada en la gestió global dels recursos hídrics, ja que existeix una relació certa entre quantitat i qualitat de l'aigua, i el tractament de l'aigua residual permet reduir les despeses i tecnologies emprades en la potabilització. D'altra banda, els abocaments d'aigua residual tractada adientment faciliten la gestió de les masses d'aigua tan continentals com marines pel que fa a la qualitat i la quantitat.

A Catalunya es va implantar el primer Pla de Depuració d'Aigües Residuals el 1982, i més tard han seguit diversos canvis i actuacions en el mateix sentit. El model de depuració, que ha estat pioner en l'Estat espanyol, ha arribat a un punt clau, en el qual s'estan experimentant certes tensions pel que fa al finançament i a l'extensió del Pla als sistemes urbans reduïts, així com a les aigües industrials i ramaderes. Un cop comentats els punts febles detectats i les bases legals i d'actuació, així com les tecnologies emprades, es fa un exercici de prospectiva i suggeriments per a les properes actuacions en aquest camp, i es consideren els aspectes de perill i risc, les eines de presa de decisió i les possibilitats de regenerar i reutilitzar les aigües residuals a Catalunya.

Abstract

Sewage treatment is used nowadays to improve the health and ecological quality of natural waters in Catalonia. An integrated and global management of water resources should include sewage treatment because there is a true relationship between water quality and water quantity, and sewage treatment allows a reduction in expenses and technologies used for tap water supply. Moreover, properly treated wastewater disposals in water bodies allow a better quantitative and qualitative management of inland and marine water resources.

The first sewage management plan was introduced in Catalonia in 1982, and it has been followed

by several additional plans and modifications of that first one. The treatment model followed in this region was a pioneering one in Spain, and few years ago it reached a key point. This is due to several concerns about the financing and the extension of the management plan to small facilities and also to the agricultural and industrial sewage. After the analysis of the identified weak points, the technologies used and the legal and implementation basis, a prospective exercise is conducted. Several suggestions for the next activities in this field are made, considering the hazard and risk perspectives, the decision support systems that could be used and the possibilities to regenerate and reuse sewage in Catalonia.

1. Introducció

La preocupació per gestionar l'aigua residual va néixer ja en èpoques molt anteriors a la nostra, i es poden trobar sistemes d'evacuació de l'aigua residual als palaus de Knossos, a Creta, i a les restes de moltes ciutats gregues i romanes. Fins i tot a Barcelona hi ha clavegueres de l'època romana que encara aconsegueixen la seva tasca.

En un principi, això es feia per a allunyar dels llocs habitats un material ofensiu per a la vista i l'olfacte; però al mateix temps permetia una millora de les condicions sanitàries de la població. Durant l'edat mitjana, aquest concepte es va perdre, i les excretes circulaven a cel obert pel mig dels carrers. Això, juntament amb la gran aglomeració humana, afavorí les grans epidèmies de l'edat mitjana.

No fou fins molt més tard, a Londres, el 1853, i mitjançant les deduccions de John Snow, quan es va relacionar l'abocament d'aigua residual al riu Tàmesi amb les malalties que afectaven la gent que havia begut aigua riu avall dels abocaments, i es va establir científicament la primera relació entre l'aigua residual, l'aigua de beguda i les malalties d'origen hídric; és a dir, les malalties de transmissió hídrica.

A partir d'aquest fet, es va anar evolucionant lentament cap al coneixement de la qualitat biològica de l'aigua, i el convenciment de la necessitat d'un tractament abans de vessar l'aigua residual al medi per a mantenir la salut de les persones, o bé de portar-la lluny de les ciutats. El segle XIX van aparèixer a França i a Alemanya els camps on es vessaven les aigües per no llençar-les directament als rius. Al principi del segle XX es van fer les primeres depuradores més o menys com les coneixem avui, amb despesa d'energia «artificial», elèctrica, per a fer la seva tasca. I, actualment, hi ha al món moltes ciutats que ja estan servides per la tercera depuradora de la seva història.

Alternativament, la salut es va poder preservar mitjançant els sistemes de potabilització avançada de les aigües naturals. Pel que fa a això, també els romans havien descobert fa molts segles els filtres de sorra i, més tard, també s'havien utilitzat els filtres de Pasteur, emprant arena porosa per a filtrar l'aigua. Durant molts anys, es van considerar les aigües subterrànies com a símbol d'aigua pura, encara que avui dia això no és gaire cert. Actualment, la tecnologia

permet aconseguir aigua de consum, o fins i tot destil·lada, pràcticament des de qualsevol qualitat d'aigua, si hi ha els recursos econòmics suficients.

Més tard, amb l'evolució de les eines analítiques, s'ha pogut comprovar que no són tan sols els microorganismes els que generen un risc sanitari important, sinó que també hi ha contaminants químics que tenen efectes negatius sobre la salut humana.

Tradicionalment, s'ha associat el concepte de *sanejament* a les aigües residuals d'origen urbà o domèstic i s'ha oblidat molt sovint que també hi ha aigües residuals d'origen industrial i ramader. Això no vol dir que aquestes aigües no es depurin, molt especialment les de les indústries, que tradicionalment són més controlables que les explotacions ramaderes. L'agricultura no acostuma a generar aigües residuals com a tals, encara que sí es pot parlar de les cues de reg, o de la generació de contaminació difusa.

1.1. *La depuració, el concepte actual*

Si analitzem la legislació vigent en temes de depuració d'aigües residuals, veurem que l'eficiència i la fiabilitat de les estacions depuradores d'aigües residuals es fixa en funció de dos paràmetres fisicoquímics: el contingut de matèria orgànica i el de sòlids en suspensió. En algun altre cas concret, es troba com a eina de control el contingut en nutrients si l'aigua ha de ser vessada en zones sensibles.

El contingut en microorganismes patògens o en productes tòxics no apareix enlloc pel que fa a depuració, i tan sols comença a ser tractat quan es planteja una reutilització de l'aigua residual per a determinats usos, com és el reg de verdures.

Podem dir, per tant, que en algun moment entre el 1853 i l'actualitat, el concepte de *sanejament*, interpretat com una millora de les condicions sanitàries de les aglomeracions humanes, va perdre el sentit tradicional i va passar a ser una eina d'enginyeria. Aquesta eina pretenia treure les aigües de la ciutat (tant les residuals com les pluvials) i allunyar-les com més aviat millor. El concepte *sanitari*, del qual deriva la paraula *sanejament*, ha passat a ser secundari. Pot ser que això hagi succeït en fer-se absolutament fiables els processos de tractament de les aigües potables i hem de dir que el clor i els seus derivats han tingut un paper important en aquesta tasca.

De totes maneres, el concepte actual de depuració segueix implicant l'alliberament al medi d'una quantitat prou important d'organismes patògens i de contaminants químics, amb capacitat de generar problemes importants de toxicitat. El fet que els problemes de toxicitat i patogenicitat no es tradueixin en problemes de salut importants ha fet caure una mica en l'oblit la transcendència sanitària dels processos de tractament d'aigua, i especialment la depuració. Les millores assistencials i tecnològiques, i l'emascament que permet el clor, han fet baixar la vigilància pel que fa a la qualitat sanitària de les aigües. De fet, en els darrers anys s'està parlant de patògens o malalties emergents i reemergents, i s'indica que pa-

tògens que ja es donaven per oblidats s'han revifat en perdre's la immunitat pel que fa a la població.

D'altra banda, tot això que hem indicat es potencia per un cert concepte antropocèntric del sanejament; de fet, pràcticament no es considera el possible impacte negatiu de les aigües residuals, depurades o no, al medi ambient (la biocenosi i el biòtop). Fins i tot, hem hagut d'escoltar manta vegada l'afirmació que la Mediterrània és una mar pobra, i que l'addició d'aigües residuals contribueix a fertilitzar-la.

A més a més, les polítiques de sanejament al nostre país, i en molts d'altres, s'han basat tradicionalment a fer servir tecnologies prou provades i basades en un ús intensiu d'energia. Això s'ha fet amb independència d'altres condicionants, com són el cabal que s'ha de depurar, el preu dels terrenys, la climatologia, els avanços tecnològics... Aquesta situació contrasta amb la d'altres països europeus (França, Alemanya, Dinamarca) en què d'altres solucions, més naturals, s'han fet servir a bastament i es continuen potenciant.

Les tecnologies amb elevat consum d'energia, bàsicament sistemes denominats *de llots activats*, en totes les seves variants, es basen en la transferència d'oxigen a l'aigua, i en la barreja d'aigua residual i cultiu microbià en un sistema biològic amb biomassa suspesa. Es tracta de sistemes adients per a comunitats relativament grans, que generen una aigua residual sense tòxics, que ocupen comparativament poc espai i que són possiblement el sistema més estès a Catalunya i a la resta del món, especialment als països desenvolupats.

L'alternativa són les tecnologies de poc consum d'energia, que tenen l'inconvenient principal que ocupen molt espai. Són sistemes que es fan servir normalment per a comunitats petites o mitjanes, també amb aigües sense tòxics, i la biomassa pot ser suspesa o fixada. Encara n'hi ha molt pocs al nostre país. L'exemple clàssic són els sistemes de llacunatge o estanys de depuració, encara que tecnologies més eficients (en la relació entre la capacitat de depuració i l'espai) s'estan implantant. Els exemples són les zones humides construïdes (*wetlands*) i els sistemes d'infiltració-percolació.

1.2. La història de la depuració a Catalunya

Malgrat un cert retard en relació amb d'altres països d'Europa, Catalunya fou la primera comunitat autònoma a Espanya que desenvolupà la depuració. Algunes petites depuradores a Barcelona i unes quantes a la Costa Brava foren les pioneres en els anys setanta. Hi havia, però, un precedent a Reus cap als anys trenta del segle passat, amb la depuradora del Molinet (poc més que un tractament primari), on fins i tot hi havia uns estatuts per a una comunitat de regants que aprofitava l'aigua depurada.

No obstant això, la depuració s'endegà realment amb l'aparició del Pla de Sanejament del 1982, que seguia la creació de la Junta de Sanejament l'any 1981. La Llei del Parlament català que va iniciar aquestes activitats va inventar, també, un impost, el Cànon de Sanejament que,

amb alguns canvis, ha perdurat fins als nostres dies. Aquesta taxa o impost, com en vulguedir, és un impost finalista —només es pot fer servir per a la depuració— i va ser molt discutit, ja que gravava un fet que en teoria havia d'estar cobert pels pressupostos generals.

El resultat del Pla de Sanejament fou que Catalunya va ser pionera en la implantació de la depuració, i que els successius plans que s'ocupaven de la depuració van anar implantant aquestes infraestructures.

Actualment, s'ha acabat pràcticament el PSARU (Pla de Sanejament de les Aigües Residuals Urbanes) i ha aparegut un PSARU 2002. També hi ha un PSARI (per a les aigües industrials), i un Pla per a les Aigües Residuals Ramaderes. Són a punt d'establir-se un Pla de Reutilització d'Aigües Residuals i un Pla de Manteniment de les Depuradores.

A l'estiu del 2003, hi ha pràcticament tres-centes depuradores que serveixen les poblacions grans, amb algunes petites (o no tant) mancances. Per exemple, les dues grans depuradores de Barcelona encara no estan acabades. La previsió és que hi hagi unes mil depuradores més per a les comunitats més petites en un període de temps no gaire llarg.

Si ens plantegem l'estat de la depuració de les aigües residuals industrials, podem indicar que s'ha aconseguit ja fa temps un control prou important, i que moltes empreses han posat en funcionament programes de reciclatge i, fins i tot, de reutilització de les seves aigües. Com que és un món força complex i canviant, cal mantenir els esforços i acabar d'implantar els controls i les millores pertinents.

D'altra banda, la depuració de les aigües residuals ramaderes no segueix, ni de bon tros, l'èxit de la depuració dels altres tipus d'aigua. A la tradicional manca de col·laboració dels autors per causes que no vénen al cas, s'uneix una falta certa de tecnologies adients i econòmicament viables per a la depuració d'aquestes aigües residuals. El cert és que les aigües residuals ramaderes necessiten tecnologies específiques per a depurar unes aigües molt carregades de matèria orgànica, i amb una certa quantitat d'impureses i de matèries sòlides, en funció del tipus d'estabulació del bestiar. També s'ha detectat algun problema amb determinats aprofitaments teòricament secundaris però que han esdevingut objectius principals.

1.3. *La Junta de Sanejament i l'Agència Catalana de l'Aigua*

Com ja hem indicat, l'organisme que va iniciar la política global de depuració d'aigües residuals a Catalunya, fou la Junta de Sanejament. Aquest organisme va iniciar el cobrament del cànon, que havia de finançar la construcció de depuradores, i va dividir el país en uns quants sectors. La teoria inicial és que amb el que es recaptava del cànon es podia finançar el sanejament de Catalunya. Al cap d'un temps es va veure que això no era així i es va recórrer a l'endeutament per a acabar el Pla de Sanejament en un temps raonable. Val a dir que el cànon es cobrava i es cobra encara amb el rebut de l'aigua potable.

Més tard, la Junta de Sanejament es va integrar en l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA), que

governa tot el cicle de l'aigua a les conques internes de Catalunya. Per acord amb la Confederació Hidrogràfica de l'Ebre, també es fa càrrec del sanejament a les terres de l'Ebre. Encara que puguem dir que l'ACA dirigeix la depuració a Catalunya, en certa manera ha transferit una part de les seves competències al que es denominen *administracions actuant*s, com són consorcis (el de la Costa Brava, el de la defensa de la conca del riu Besòs, per exemple), mancomunitats o consells comarcals (EMSSA, SA —Empresa Metropolitana de Sanejament— a l'àrea de Barcelona), algun ajuntament, etc. Tot sovint, però, el dia a dia o la gestió dels sistemes de depuració s'adjudica (generalment amb concursos) a empreses especialitzades.

No hem d'oblidar, però, que la responsabilitat i la gestió dels sistemes de clavegueram depèn encara dels ajuntaments, que cobren un impost específic per a aquesta tasca.

2. Els sistemes de sanejament

La depuració d'aigües residuals intenta retornar a l'aigua la qualitat inicial amb què fou servida. Tecnològicament, això és perfectament possible actualment, encara que cal definir la relació cost/benefici en funció de la qualitat final d'aigua que es desitgi, el punt d'abocament i la qualitat d'efluent marcada per la legislació. Els sistemes de depuració, prou complexos, s'han de considerar de manera integrada. En tot cas, el mot *sanejament* té un significat més ampli que depuració i és el que farem servir per a significar el conjunt d'accions i infraestructures que acaben en la depuració i segueixen amb l'abocament o eliminació de l'aigua tractada.

El procés de sanejament s'inicia amb l'aigua que se serveix (abastament urbà, industrial), a la qual s'afegeixen determinats contaminants. Cal aplicar, aquí, el principi que el millor contaminant és el que no s'afegeix a l'aigua i intentar reduir o eliminar la contaminació en origen tant com es pugui.

Si plantejem l'addició de contaminants no evitables, com són les excretes, s'ha de treballar amb un concepte diferent, i reduir tant com sigui possible l'addició d'aigua. Aquest concepte, així com el de la separació d'excretes sòlides i líquides, s'està expandint com a teoria en molts països del nord d'Europa. És obvi que això té molts avantatges, almenys des del punt de vista teòric, però en la pràctica és de traducció molt difícil, ja que els sistemes de clavegueram de les ciutats estan dissenyats perquè l'aigua arrossegui les restes de tota mena que van a parar a les clavegueres.

Aquí hem de dir que durant molt temps s'ha plantejat la necessitat de fer sistemes de clavegueram separatius, és a dir, que condueixin les aigües pluvials per una banda i les residuals per una altra. La idea subjacent és que l'aigua de pluja és neta i que no cal barrejar-la amb la residual. Així, es pot garantir una millor gestió dels dos tipus d'aigua. La teoria és molt bonica, però la pràctica ens diu que l'aigua de pluja és tan contaminada com la residual, almenys en les primeres etapes d'una precipitació. Si no hi ha clavegueram separatiu, l'aigua de pluja i la residual van juntes, de manera que, quan se sobrepassa la capacitat del clavegueram de portar ai-

gua, es fa un abocament al medi o *bypass*. Llavors, es vessa al medi una barreja d'aigua residual i de pluja, que genera un impacte negatiu prou considerable. L'alternativa actual més vàlida sembla la gestió conjunta dels dos tipus d'aigua, tot fent sistemes de retenció d'aigües pluvials, com és el cas de Barcelona, on s'està fent una xarxa de grans dipòsits de retenció de l'aigua barrejada, que un cop passat l'episodi es retorna a la xarxa de clavegueres i pot ser tractada per la depuradora.

La gestió dels sistemes de clavegueram no és gens senzilla, ja que s'ha de combinar la presència d'aquests dos tipus d'aigua, l'existència d'abocaments que poden esdevenir tòxics, la possible fermentació de matèria orgànica, els cabals prou diferents segons l'hora del dia o l'estació —especialment en sistemes de segona residència—, el sobredimensionament en llocs com els que acabem d'indicar que porta a temps d'estada massa llargs, etc.

De totes maneres, l'aigua residual arriba al final de la xarxa, on es poden produir entrades paràsites, per exemple, d'aigua de mar, i normalment es bombeja o es condueix per gravetat al sistema de depuració.

2.1. *Graus de tractament*

En general, la depuració d'aigües residuals s'entén actualment com una depuració secundària, cosa que implica un tractament biològic. Tal com s'indica en un altre lloc, és possible que la necessitat de vessar en zones declarades sensibles o la reutilització d'aigües residuals impliqui la necessitat d'un tractament més avançat. Hi ha discussions sobre si cal considerar els tractaments d'eliminació de nutrients com a secundaris, o bé com a avançats o terciaris.

En tot cas, una desinfecció o una filtració avançada sí que es consideren tractaments terciaris.

Hem dit que el sistema més emprat a Catalunya és el de llots activats clàssic, que dona qualitats finals que compleixen amb la legislació, però que energèticament no és excessivament rendible. Tal com hem dit, la necessitat de vessar en zones sensibles o per a reutilitzar fa que s'hagin d'emprar d'altres tractaments. Per a vessar acostuma a ser necessari eliminar nutrients, mentre que, per a reutilitzar, la desinfecció és la tecnologia necessària.

2.2. *La millor tecnologia a l'abast (MTA)*

En general, quan es planifica la depuració d'aigües residuals s'ha de buscar la tecnologia més adaptada a la zona on s'ha d'implantar el sistema de depuració. No s'han de tenir en compte únicament les tecnologies, sinó que també cal considerar la capacitat econòmica dels actors, l'acceptació social i la capacitat de fer funcionar el sistema des del punt de vista tècnic entre d'altres limitacions.

Es parla de la millor tecnologia a l'abast o disponible (MTA o MTD): BAT (*Best Available Technology*, en anglès). Aquesta tecnologia ha de ser la més adaptada a totes les circumstàncies del lloc on cal instal·lar el sistema de depuració.

No s'ha d'oblidar que cal incloure-hi també el tractament de fangs, generats en tractar l'aigua. Com que el tractament i l'eliminació de fangs s'han d'incloure en el concepte de sanejament, la MTA ha de considerar la generació i d'altres necessitats de la denominada *línia de fangs*.

2.3. Eines tècniques i tecnològiques en depuració

En la depuració d'aigües residuals es fan servir diferents tipus d'eines; des de les que empren tecnologia molt avançada (membranes, per exemple), fins a les més simples (els llacunatges clàssics).

Com ja hem indicat, els sistemes de llots activats han estat la tecnologia de referència, complementada localment amb varietats i evolucions d'aquesta. Els noms habituals —canal d'oxidació, SBR, alta càrrega, etc.— s'estan complementant amb innovacions més recents, com el bioreactor amb membrana. Aquestes tecnologies intensives fan el gruix de la feina en sistemes molt carregats de matèria orgànica o amb cabals importants. Si parlem de l'eliminació de nutrients, amb les instal·lacions actuals aquesta s'ha de fer a còpia d'esmerçar diners en energia, ja que —explicant-ho de manera simple— els dissenys d'eliminació de nitrogen i fòsfor impliquen que l'aigua doni més voltes en els reactors existents i passi per diferents fases d'aerobiosi, anaerobiosi i anòxia. Cal fer anàlisis acurades del cicle de vida per a veure què surt més a compte, si vessar amb una certa quantitat de nutrients, eliminar-los totalment o no plantejar-se'n l'eliminació.

En certa manera, estem parlant de tecnologies importades quasibé totes elles. La recerca en aquest camp pràcticament no ha existit, molt possiblement perquè representa una inversió difícilment recuperable i es parteix d'una situació d'endarreriment crònic, amb algunes honorades excepcions.

L'altra banda d'aquesta consideració són les tecnologies toves. Contràriament al que hem dit anteriorment, a l'estranger el gran esforç tecnològic es va fer ja fa uns anys, i hi ha una certa inèrcia. Possiblement perquè les inversions necessàries són inferiors i s'obtenen respostes més ràpides, i també per un cert atreviment, hi ha determinades tecnologies que s'han adaptat i s'han desenvolupat molt més ràpidament. Podem pensar en les zones humides construïdes o en la infiltració-percolació. Al costat de sistemes d'aquest tipus més o menys ben pensats i planificats podem trobar disbarats tecnològics locals, impossibles de fer funcionar o amb sistemes construïts molt poc professionalment.

Pel que fa als tractaments de desinfecció, també es treballa amb tecnologies forànies, i s'han adaptat a les nostres condicions les tecnologies d'ultraviolats, diòxid de clor, ozó, etc.

Aquí és imprescindible dir que la tecnologia que no s'hauria d'escollir és la cloració clàssica, per la reconeguda capacitat de formar subproductes tòxics amb la matèria orgànica que té, present en les aigües residuals en concentracions força més importants que en les aigües potables.

3. Anàlisi de la depuració

Com ja hem dit, inicialment, la implantació de les depuradores a Catalunya no es va plantejar dins una política global de sanejament. La primera sèrie de depuradores (a part de les del municipi de Barcelona) es va instal·lar a la Costa Brava com una manera de mantenir la qualitat de les aigües de banyada. La depuració es pagava amb un rebut específic, recaptat per la mateixa empresa explotadora de la depuració. Aquestes primeres depuradores es van instal·lar durant els anys setanta.

Posteriorment, es va generalitzar la implantació del sanejament i les circumstàncies actuals són prou diferents. La depuració a Catalunya és un fet pràctic, i, *a posteriori*, s'hi poden fer algunes crítiques constructives, que trobareu en l'apartat de discussió.

De totes maneres, quan ja s'han cobert —o estan a punt de cobrir-se— les necessitats de depuració, i s'està planificant i començant l'extensió a les petites aglomeracions, és clar que a Catalunya hi ha un cert avantatge en comparació amb la resta de l'Estat, que les depuradores semblen, en general, més ben gestionades, i que, no obstant això, en els darrers anys s'han concedit contractes de gestió que fan l'efecte d'un repartiment per motius econòmics, més que per capacitat tecnològica.

Tampoc no està gaire ben resolt, en aquests moments, com s'han de tractar durant i després de la depuració els fangs, i encara menys com s'han d'eliminar.

3.1. *La relació entre la depuració i el risc*

En la depuració d'aigües residuals es fa servir una «primera matèria» que presenta un risc per a les persones que hi entren en contacte o pel medi on es vessa després de la depuració. Tal com hem dit abans, hi ha unes possibles conseqüències de toxicologia i de patogenicitat. La gestió d'aquestes possibilitats no se circumscriu a les eines de depuració, sinó que també cal refiar-se de les pràctiques higièniques, i de la gestió integrada del cicle de l'aigua, que inclou els processos de tractament de l'aigua per a usos potables. No obstant això, val a dir que hi ha determinades passes del cicle antròpic de l'aigua que no han estat considerades dins el marc global de què parlem. És el cas típic de les aigües de reg. D'altra banda, encara hi ha fortes discussions pel que fa a la qualitat desitjada per a les aigües de banyada, tant de costa com de rius, i la qualitat de les aigües superficials interiors tampoc no ha estat gaire considerada.

Per tant, no es pot atribuir a les aigües residuals depurades tot el risc amb relació a l'aigua; cal plantejar el risc globalment, malgrat que és gairebé impossible de fer estudis epidemiològics planificats.

De totes maneres, i tornant a la depuració, també falten estudis de fiabilitat dels diversos tractaments que es fan servir al país, i seguiments de les relacions entre els efluent vessats a medis aquàtics i les aigües naturals, ja siguin subterrànies, de rius, embassaments o mar.

Les eines de càlcul de risc ens permetrien reduir les despeses necessàries per a fer estudis epidemiològics i toxicològics adients. Falta també comparar les dades existents pel que fa a malalties d'origen hídric i qualitats de l'aigua en les diferents matrius ambientals i en els sistemes de proveïment.

3.2. *Les eines de presa de decisió en depuració*

Quan s'ha procedit a la depuració d'aigües residuals, i més endavant a considerar possibles reutilitzacions, s'ha trobat a faltar una planificació potser més acurada. Les decisions tecnològiques s'han fet donant prioritat a una pretesa «seguretat» de depuració més que a uns criteris de planificació a llarg termini i de novetat tecnològica. La contrapartida, com ja s'ha indicat, ha estat possiblement una despesa més gran pel que fa a l'energia emprada. Cal, també, un cop les instal·lacions estan construïdes, continuar treballant en la presa de decisions pel que fa a les qualitats de l'abocament (i per tant a les inversions en funcionament) i no fer funcionar els sistemes de la mateixa manera durant tot l'any. Això es podria traduir a fer funcionar els sistemes en funció de la qualitat desitjada en el medi receptor, més que en la qualitat de l'abocament.

En aquest sentit, el desenvolupament d'eines com els índexs de qualitat (i més concretament els relacionats amb els invertebrats) pot ser la base per a una millora en la gestió global de l'aigua natural.

4. La reutilització d'aigües residuals

Com segurament s'indica en una altra ponència, a Catalunya, encara que en teoria hi hagi prou aigua si considerem les mitjanes, manca una certa garantia d'abastament. Aquesta afirmació és discutida i discutible segons el punt de vista, tan personal com geogràfic. El cert és que hi ha un volum determinat de recursos convencionals (aigües superficials i subterrànies) que s'aprofiten prou íntegrament i que en moltes ocasions no donen més de si. La manca de recursos es fa més palesa en època de sequera, especialment si aquesta dura més d'un o dos anys. S'ha encetat una discussió, sovint aferrissada, sobre si cal o no dur aigua addicional del Roine o de l'Ebre a determinats punts del territori. No hem d'entrar aquí en aquesta discussió, sinó que això ens serveix per a certificar que hi ha d'altres fonts d'aigua al país que s'han de te-

nir en compte si es vol fer una bona planificació dels recursos. Ens volem referir als denominats *recursos no convencionals*, tal com s'indiquen a la taula 1.

Entre aquests recursos no convencionals ens interessen aquí les aigües residuals regenerades. Aquesta aigua ha seguit tot el cicle antròpic de l'aigua, des de la captació al tractament de potabilització, la recollida en el sistema de clavegueram i la depuració; tot això, abans de ser vessada. Es pot indicar que fins aquí s'ha gastat molts diners en uns cabals importants d'aigua, concentrats en un punt determinat. Fa, doncs, una certa pena llençar aquesta aigua a rius o al mar, pel fet que s'estan llençant al mateix temps molts diners.

TAULA 1
Classificació dels recursos d'aigua segons l'origen

| <i>Dins la conca</i> | | <i>Externs a la conca*</i> |
|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Convencionals</i> | <i>No convencionals</i> | |
| Aigües superficials Aigües subterrànies | Aigua salabrosa continental Aigua de mar Escorrentiu Aigua residual regenerada Rosada, gebre... | Transferències clàssiques entre conques Altres moviments (vaixell, tren...) |

*La classificació entre convencionals i no convencionals també es podria fer aquí, si calgués.

En el marc d'intentar reconvertir els residus en recursos, es pot considerar que amb una certa inversió addicional l'aigua es pot recuperar i tornar a fer servir de nou.

No obstant això, el mateix avantatge de tenir l'aigua residual depurada concentrada en punts molt concrets del país, generalment a la línia de costa, és també un inconvenient. Hi ha grans volums d'aigua tractada, amb una qualitat constant, lluny dels llocs on es necessita més: les zones agrícoles. Si es vol reutilitzar l'aigua caldrà plantejar-se també la possibilitat d'implantar infraestructures de transport d'aquesta aigua, de la mateixa manera que es fa a Israel, encara que fins ara la simple menció d'aquesta possibilitat ha estat considerada més un disbarat o una elucubració científica que altra cosa.

Per a poder procedir a la reutilització cal, no obstant això, i de nou, fer una planificació adient, començant per les tecnologies de regeneració.

4.1. *Tractaments de regeneració*

La regeneració de l'aigua residual per a una posterior reutilització és una eina que requereix una inversió, en planificació, implantació (construcció), operació i manteniment. Això vol dir augmentar la factura del tractament de l'aigua residual, incloent-hi les despeses de regeneració (amb el control, la distribució, etc.).

La pregunta següent és qui es fa càrrec d'aquesta despesa, si l'usuari de l'aigua regenerada o l'organisme de l'administració hidràulica. Si ens qüestionem sobre si la reutilització és purament un benefici per a l'usuari o bé si aquest té la capacitat econòmica suficient, la resposta sembla clara. En canvi, si aquesta capacitat econòmica no existeix o es fa el canvi d'un recurs hídric per l'altre, sembla que és més justificat que pagui la despesa de regeneració l'Administració.

Pel que fa als tractaments, hi ha dues tendències: els sistemes durs, que inclouen coagulació-floculació, filtració, tecnologies de membrana, tecnologies de desinfecció, etc., i les tecnologies toves, amb sistemes de llacunatge, infiltració-percolació, etc.

Cal indicar que en alguns llocs s'ha construït sistemes de regeneració que no s'han arribat a fer servir, que es fan servir poc, que es fan servir malament o que no es controlen. Això pot crear una consciència o un estat d'opinió negatiu pel que fa a la reutilització de l'aigua residual.

4.2. *La reutilització a Catalunya*

En teoria, Catalunya és un dels llocs on la reutilització d'aigües residuals hauria de tenir més èxit. D'una part la depuració de les grans zones urbanes està pràcticament acabada; de l'altra, la qualitat de la depuració és prou adient. Considerem també que hi ha una demanda puntual estival força elevada, per causa del turisme, que cada cop més s'ha de transformar el paisatge litoral i interior, que continua havent-hi una demanda important per a usos agrícoles i que ens trobem amb un recurs relativament poc segur, considerant les sequeres habituals i la manca de capacitat d'emmagatzematge.

Aquestes consideracions, i d'altres, han servit per a justificar, en la teoria, la necessitat que a Catalunya es reutilitzi l'aigua residual. Això ho hem sentit manta vegada, però la traducció pràctica no ha correspost encara a la implantació real de la reutilització.

D'altra banda, hi ha el problema del context legal de la reutilització. No es tracta d'un problema únic de Catalunya, sinó que és comú a l'Estat espanyol. Malgrat els reiterats anuncis, encara no es disposa de legislació sobre reutilització, ni en l'àmbit català ni en l'espanyol. En els darrers mesos sembla que els esborranys existents van prenent cos, i que es podrà tenir una base legal en poc temps.

5. *Prospectiva de la depuració*

La depuració i la regeneració d'aigües residuals també se sotmet a les modes: modes del tipus de tractament, de demandes de qualitat, de disseny de depuradores, etc. Aquesta tendència no és tan sols pròpia del nostre país, sinó que la podem estendre a molts països europeus. Algunes d'aquestes tecnologies perduren i d'altres desapareixen.

Com a modes prou conegudes, podem destacar la construcció de sistemes de llacunes aire-jades, als anys vuitanta; els biodiscs, també a la mateixa època; determinats sistemes amb macrofits, actualment...

Una de les altres modes o discussions ha estat la centralització o descentralització dels sistemes de depuració. La pregunta subjacent era: cal fer grans depuradores que recullin l'aigua residual de diferents municipis? O, ben al contrari, les petites depuradores són més adaptades al país? En el primer cas es recorre a l'economia d'escala, tot pensant que la depuració de grans volums optimitza el tractament. En el segon cas, la descentralització, les depuradores es fan més a prop del lloc on es genera l'aigua residual i es redueixen les despeses i l'impacte de fer grans transports d'aigua residual.

5.1. *Les previsions de futur*

La depuració d'aigües residuals ha assolit a Catalunya el que d'altres països del nostre entorn ja tenen des de fa anys: la plena depuració dels grans municipis. El pas següent és doble, d'una banda, començar a plantejar la substitució de depuradores que han quedat obsoletes, i de l'altra, implantar la depuració als nuclis petits i als habitatges unifamiliars.

Cal aprofitar l'avinentsa que determinades instal·lacions s'han fet velles, s'han malmès per defectes de construcció o han quedat al mig dels pobles per a refer-les tot reduint la despesa energètica i modernitzant les tecnologies emprades. També cal pensar en la possibilitat de reutilitzar les aigües residuals.

Cal pensar, també, que una gran part de Catalunya, i també d'Espanya, ha estat declarada per les nostres pròpies autoritats com a zona sensible, segons la legislació europea, marcada per la Directiva 90/271. Aquesta declaració implica la necessitat de reduir els nutrients presents en els abocaments.

5.2. *Bioquímica, bioenginyeria, biotecnologia, ecologia microbiana o còpia de processos naturals?*

L'aproximació bioquímica o microbioquímica que havia estat un dels punts capdavanters en el tractament d'aigües residuals i que es recollia, per exemple, en els textos clàssics de l'escola francesa ha anat deixant pas a un plantejament molt més hidràulic i d'enginyeria de disseny. Tot el que es pugui controlar amb aixetes i temporització sembla molt més efectiu que l'activitat d'uns microorganismes, difícilment qualificable i quantificable si no és a gran escala.

Exceptuant els casos en què hi hagi una recerca molt especialitzada o en processos d'enginyeria molt determinats, els microorganismes es troben en comunitats que inclouen una gran diversitat genètica i fenotípica. Les interaccions entre els diferents tipus de microbis i el seu ambient constitueixen el que es denomina *ecologia microbiana*.

El disseny i l'operació dels processos d'enginyeria en biotecnologia ambiental són les maneres pràctiques amb les quals l'ecologia microbiana es manipula, de manera que una comunitat microbiana assoleix un objectiu marcat per l'home. De fet, els enginyers creen reactors en què els tipus adients o correctes de microorganismes es troben presents (comunitats microbianes).

A efectes pràctics, la depuració d'aigües residuals no és ni més ni menys que una còpia dels fenòmens que succeeixen a la naturalesa; això sí, una mica o molt accelerats. L'acceleració s'aconsegueix incrementant la quantitat d'energia introduïda al sistema, ja sigui molta (processos durs o intensius) o poca (processos tous). De fet, aquests darrers poden arribar a funcionar no més amb l'energia aportada per la llum del sol (llacunatges, zones humides...).

6. Conclusions

A Catalunya, l'esforç en depuració d'aigües residuals ha estat prou important, i, bàsicament, s'ha cobert el que marca la llei europea sobre depuració (la Directiva 91/271). Hi ha algunes excepcions notables, com ha estat l'endarreriment de les dues grans depuradores de Barcelona.

Aquest esforç ha estat pioner en l'Estat espanyol, encara que cal dir que el ciutadà ha hagut de pagar més diners que el de la resta de l'Estat per a aquesta activitat.

Encara que un cop fetes les coses és fàcil criticar-les, val a dir que es poden detectar algunes mancances, tot i que el conjunt és molt positiu.

La depuració d'aigües residuals necessita una aproximació més integrada que l'actual, que tingui en compte tots els processos d'enginyeria, però en què es considerin, des del mateix moment del disseny, les característiques bioquímiques i socials, la possibilitat de reutilització, la gestió dels fangs generats... Aquest concepte resta lligat al de la millor tecnologia a l'abast (o *disponible*: BAT en anglès).

La factura d'energia és molt important, i cal dir que molt possiblement s'hagi apostat per tecnologies molt consumidoras d'electricitat. Caldria fer una ACV (anàlisi del cicle de vida) i intentar que els futurs desenvolupaments tinguin més en compte els processos de tipus natural o extensiu, menys consumidors d'energia elèctrica, així com la possibilitat de generar menys fangs o llots residuals.

Per a les noves depuradores (des de l'any 2002) ja s'han començat a fer servir els denominats *sistemes de suport a la decisió* (SSD).

Pel que fa a la gestió i el manteniment de les depuradores, potser es podria dir que aquestes no són homogènies; mentre que algunes presenten un estat excel·lent, en d'altres s'observa una certa manca de cura. Els problemes són més importants en les depuradores de tipus tou; deixant a part algunes eleccions de tecnologia i construccions no gaire afortunades, es pot dir que algunes empreses que es dediquen a aquestes activitats tenen problemes de desconeixement de la tecnologia i de com s'han de mantenir les depuradores extensives. En aquest sen-

tit, la gestió, sembla que s'hagi dut a terme una política molt més basada en l'estalvi econòmic que en la bondat de la gestió.

En aquests moments hi ha discussions, pel que fa a la necessitat de millorar la depuració, respecte als continguts de nutrients de l'aigua depurada que es vessa. Això assoleix un clima pel que fa als continguts d'amoni, que limiten la vida dels peixos als rius. Caldria, però, pensar que una reducció més gran d'aquest component implica un consum més elevat d'energia. Molt possiblement, caldria fer també una ACV i recórrer més sovint a l'ús de tecnologies menys consumidores d'energia.

S'ha oblidat molt sovint el contingut de patògens a l'aigua depurada, cosa que pot contribuir a recrear problemes quasi oblidats de sanitat de la població.

Encara que en teoria s'ha potenciat la reutilització d'aigües residuals, això no s'ha traduït en una pràctica real, de cabals importants.

En aquest sentit, i només a tall d'exemple, s'ha creat una polèmica possiblement innecessària amb els camps de golf, als quals s'ha obligat a regar només amb aigua residual. Si s'analitza aquesta mesura, es pot pensar fàcilment que no s'aconsegueixen estalvis apreciables d'aigua. Una altra cosa fóra si aquesta política s'emmarqués en una gestió integrada de tots els recursos i s'impliquessin més actors socials (usuaris) en els estalvis d'aigua de primera mà.

Malgrat totes aquestes crítiques, que s'han d'entendre com a constructives, el conjunt de l'establiment de la depuració a Catalunya es pot considerar força positiu.

Les aigües de consum: criteris de qualitat i control

Leonard Matia
Aigües de Barcelona

Resum

La recent aparició a Espanya del Reial decret 140/2003, pel qual s'estableixen els criteris sanitaris de la qualitat de l'aigua de consum humà, adapta la legislació al progrés científic, tècnic i d'informació sobre la qualitat de l'aigua. S'entén que la seva aplicació suposa que els abastaments d'aigua han d'oferir aigua de consum saludable i, alhora, han de tenir la confiança dels consumidors. El control de la qualitat en els abastaments comença per conèixer la qualitat de l'aigua durant tot el procés, des de la captació fins a l'aixeta del consumidor. Una de les eines que cal utilitzar en el futur per realitzar aquest control seran els sistemes basats en l'anàlisi de perills i de punts crítics de control, tal com s'esdevé en la indústria alimentària, entenent que aquests sistemes es tindran en compte en les futures normatives.

Abstract

The recently published Royal Decree 140/2003 in Spain establishing the health criteria of the quality of water intended for human consumption adapts the law to the scientific and technical progress, and to matters relating to the information about water quality. It is understood that its implementation means that water supplies must offer healthy drinking water and, at the same time, must have the consumer confidence. The control of quality in supplies begins by knowing the quality of water throughout the process, from the collecting to the consumer's tap. One of the tools to be used in the future to carry out this control will be the systems based on the analysis of risks and study of critical points, as in the case of the food industry, with the understanding that these systems will be taken into account in future regulations.

Introducció

És important quan s'ha de parlar d'un tema com les aigües de consum humà de definir clarament el marc al qual es fa referència. S'entén que, en aquest cas, la millor definició sobre aigües de consum és l'oficialment acceptada i, per tant, la que s'estableix en el nou Reial decret 140/2003, que és el que actualment regula la qualitat sanitària de l'aigua de consum i estableix els criteris sanitaris que han de complir els sistemes de distribució d'aquesta aigua (1).

Així, doncs, es defineixen com a aigües de consum humà:

— «Totes aquelles aigües, sigui en l'estat original, sigui després de ser tractades, que són utilitzades per a beure, cuinar, preparar aliments, per a la higiene personal i per a altres usos domèstics, sigui quin sigui l'origen que tinguin i independentment que se subministrin al consumidor, mitjançant xarxes de distribució públiques o privades, de cisternes, de dipòsits públics o privats».

— «Totes aquelles aigües utilitzades en la indústria alimentària amb la finalitat de fabricació, tractament, conservació o comercialització de productes o substàncies destinats al consum humà, així com les utilitzades en la neteja de superfícies, objectes i materials que puguin estar en contacte amb els aliments».

— «Totes aquelles aigües subministrades per al consum humà i que formen part d'una activitat comercial o pública, amb independència del volum mitjà diari d'aigua subministrada».

Un altre aspecte que cal remarcar és que bona part dels escrits que fan referència al tema genèric de l'aigua de consum humà citen aspectes com els següents:

— «L'aigua és indispensable per a la vida. És necessari posar a disposició dels consumidors aigua amb garantia sanitària total i de la millor qualitat possible, i evitar, en qualsevol moment, qualsevol risc sobre la salut pública de la població que ha rebut aquest subministrament» (2).

— «L'aigua adequada per al consum humà o aigua potable constitueix una necessitat bàsica per a la supervivència, la salut i la dignitat de totes les persones. Recentment, el Comitè de Drets Econòmics, Culturals i Socials de les Nacions Unides ha inclòs l'aigua com un més dels drets humans» (3).

Si es medita sobre aquestes sentències, escrites en publicacions científicotècniques, hom s'adonarà que respecte a l'aigua de consum s'ha de tenir en compte no solament l'aspecte estrictament tècnic sinó també l'aspecte emotiu, molt poc tingut en compte fins ara. Aquest aspecte és sovint molt destacat en articles de premsa adreçats al públic en general en titulars com «El desconegut i increïble poder de l'aigua. L'estructura de l'aigua canvia amb el so, les emocions i els pensaments» (4). Es vol destacar, doncs, que, en la gestió de les aigües de consum, s'ha de tenir en compte no solament els aspectes tecnicosanitaris sinó també l'opinió del consumidor que, de ben segur, tindrà en compte la perspectiva emocional de l'aigua de consum.

L'aigua de consum i el consumidor. És una nova faceta que cada vegada preocupa més les autoritats sanitàries i els responsables dels abastaments, tant si són entitats públiques com privades. Així, doncs, les noves normatives sobre l'abastament i control de la qualitat de les aigües de consum fan referència sempre a la informació al consumidor (1).

Per altra banda, s'està donant un nou enfocament en l'assegurament de la qualitat d'aquestes aigües, aspecte que es basa en l'anàlisi de perills i de punts crítics de control, des de la captació, el tractament, el transport, la distribució i fins que arriba l'aigua a l'aixeta del consumidor. Així ho palesa l'esborrany de les noves guies de l'Organització Mundial de la Salut (OMS) sobre la qualitat de l'aigua de consum (5). En aquest sentit és previsible que, en els propers anys, malgrat que hi ha una normativa que s'acaba d'estrenar, es produiran alguns canvis relativament importants en les legislacions referents a la qualitat de l'aigua de consum, basats, no solament en el control de la qualitat del producte final, sinó també a prendre mesures pel que fa a estratègies de gestió, com per exemple l'anàlisi de perills i de punts crítics de control (HACCP) (6,7) que tan bons resultats està donant en el control de qualitat en la indústria alimentària.

La confiança del consumidor

L'aigua té un elevat contingut emocional. Així doncs, el concepte *aigua* remet a una «idea d'aigua» que les persones, tenim al cap. Així, l'aigua és un concepte molt potent en l'imaginari de les persones, ja que conté uns significats propis que la doten d'una forta càrrega emotiva i ancestral. S'entén com un bé comú que és de tots i per a tots, amb el sentiment de ser fruit de la naturalesa i base de la vida juntament amb el sol i la terra. És vitalitat lligada a la vida i puresa associada a la natura. Tots els pensaments i totes les imatges de les persones sobre la idea *aigua* s'engloben en tres àrees de valors: origen/vida, regeneració i puresa. Per altra banda, les persones identifiquen dos submons per a l'aigua:

— Aigua ideal: aigua pura, incolora, inodora i insípida. És l'aigua que no ha entrat en contacte amb l'home, que no ha estat ni manipulada, ni contaminada, ni tractada. És el submón amb què es volen associar les aigües envasades.

— Aigua real: representa el grau més terrenal de l'aigua. Ha entrat en contacte amb l'home i és una aigua sotmesa, canalitzada i manipulada. Té un sabor variable, més o menys acceptable. És l'univers al qual pertany l'aigua de l'aixeta. És una aigua per a tots i la seguretat per al consumidor la dóna el compliment d'una normativa de qualitat sanitària.

Aquests pensaments i sentiments sobre l'aigua, inherents a la persona en el món occidental, són determinants a l'hora d'avaluar l'aigua de consum. En definitiva, les avaluacions dels consumidors són objectives i racionals, però també subjectives i emocionals.

Estudis realitzats a Aigües de Barcelona sobre el que pensen els consumidors de l'aigua subministrada, entenen que aquesta empresa subministra bàsicament dos tipus d'aigua de qualitats organolèptiques, pel que fa al gust i l'olor, diferenciades, ens han dut a les conclusions següents (8):

— L'hàbit adquirit de beure determina la percepció del sabor. El que realment fa que el consumidor valori millor el sabor de l'aigua és l'hàbit de consum i no el tipus d'aigua distribuïda.

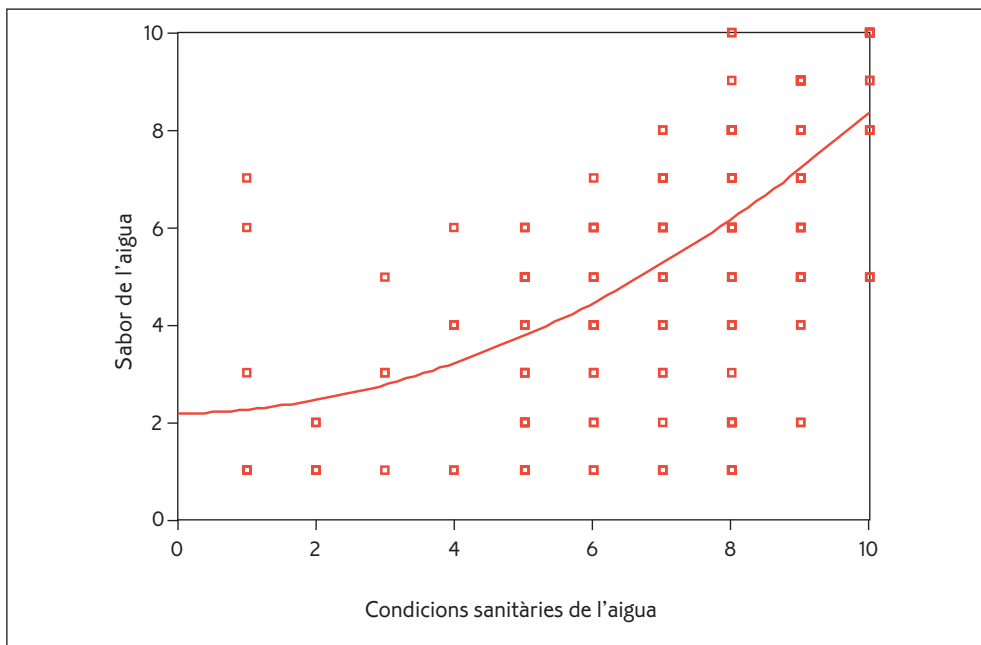


FIGURA 1. Corba de correlació de Pearson entre les puntuacions atorgades pels consumidors al sabor i a les condicions sanitàries de l'aigua.

— La percepció del sabor influeix sobre la percepció de les condicions sanitàries. Això queda reflectit a la figura 1, on es mostra la corba de correlació de Pearson entre el sabor de l'aigua i les condicions sanitàries en una enquesta realitzada en l'àmbit de subministrament d'Aigües de Barcelona. Així, els consumidors que puntuen baix el sabor de l'aigua també acostumen a puntuar baix la qualitat sanitària que té i a l'inrevés.

— L'hàbit adquirit de beure aigua de l'aixeta també afecta altres variables desvinculades del sabor, com, per exemple, la pressió de l'aigua o la imatge de la companyia.

Així doncs, les persones que beuen aigua de l'aixeta també puntuen millor els atributs de posició de la companyia, com són tenir-hi confiança, estar propera a les persones i ser respectuosa amb el medi ambient.

En definitiva, l'hàbit de beure del consumidor és un factor que determina la confiança que té en el subministrador. A més, aquesta confiança, la dóna la integració de la gestió de tres aspectes objectius inherents a l'aigua: qualitat, quantitat i seguretat. En definitiva, el consumidor vol una aigua saludable (lliure de microorganismes patògens i productes químics indesitjables), de sabor agradable, sempre disponible i amb pressió adient.

Per tal d'aconseguir la confiança dels consumidors s'han de tenir en compte tots aquests aspectes, d'entre els quals l'assegurament de la qualitat sanitària de l'aigua de consum és un dels més essencials. Un dels objectius de tot abastament d'aigua ha de ser una *aigua de consum saludable i amb la confiança dels consumidors*.

La nova normativa tecnicosanitària sobre les aigües de consum

El 22 de febrer de 2003 va entrar en vigor el nou RD 140/2003 pel qual s'estableixen els criteris sanitaris de la qualitat de l'aigua de consum humà (1). Aquesta reglamentació adapta la normativa espanyola sobre l'aigua de consum a la de la Unió Europea (9). Amb aquesta nova normativa es pretén adaptar la legislació al progrés científic, tècnic i d'informació sobre la qualitat de l'aigua.

És evident que les normatives relatives a la qualitat de consum han anat canviant i perfeccionant-se a través del temps, a mesura que han anat evolucionant els sistemes de distribució d'aigua, els coneixements toxicològics sobre els elements que s'hi troben presents, l'epidemiologia de les malalties de transmissió hídrica, els mètodes d'anàlisi, la interpretació dels resultats, la transmissió de la informació, etc.

Així doncs, un dels primers treballs realitzats amb la finalitat d'estructurar una proposta de reglament per al control de la potabilitat de les aigües a Espanya va ser el que serví de base per a la redacció de les normes recollides al capítol XVII, «Aguas y hielo», del *Código Alimentario Español* (10). L'avançament d'una manera especial de les tècniques d'anàlisi va fer que aquesta normativa fos inviable, ja que considerava aigües *no potables* aquelles que tinguessin indicis de fosfats, nitrats, amoni, tensioactius, etc., substàncies que, en algunes d'aquestes aigües, s'hi detectaven sempre. Així doncs, l'any 1982 apareix la nova reglamentació tecnicosanitària per a l'abastament i el control de qualitat de les aigües de consum públic (11), on s'estableix una nova llista de paràmetres amb dos tipus de límits: orientadors de qualitat i tolerables. A més, aquest reglament ja fa consideracions sobre el pla de control que s'ha de realitzar i sobre les característiques dels abastaments.

L'adhesió d'Espanya a la Unió Europea va fer necessària l'harmonització de la legislació a les disposicions comunitàries i, entre aquestes, a la Directiva 80/778/CEE de 15 de juliol relativa a la qualitat de les aigües destinades al consum humà. Per això es publica el Reial decret 1138/1990, en què s'aprova una nova normativa tecnicosanitària per a l'abastament i el control de qualitat de les aigües potables de consum públic (12). Aquesta normativa aporta també innovacions pel que fa a paràmetres i límits paramètrics, però, en especial, és la primera vegada que una normativa d'aquest tipus fa referència a les tècniques i les metodologies analítiques que s'han d'utilitzar en les anàlisis.

S'ha donat un pas més amb la nova Directiva de la Unió Europea de l'any 1998 (9) i la transposició a la normativa espanyola mitjançant el RD 140/2003 (1). L'objectiu fonamental d'aquesta normativa és «establir els criteris sanitaris que han de complir les aigües de consum humà i les instal·lacions que en permeten el subministrament des de la captació fins a l'aixeta del consumidor i el control, que han de garantir-ne la salubritat, la qualitat i la neteja, amb la finalitat de protegir la salut de les persones dels efectes adversos derivats de qualsevol tipus de contaminació de les aigües» (1).

Cal destacar dos conceptes en aquest objectiu: el compliment dels valors paramètrics esta-

blerts a l'aixeta del consumidor i el fet que l'aigua ha de gaudir no solament d'una garantia sanitària total sinó que, a més, ha de ser de la màxima qualitat possible i acceptable per als consumidors.

Per a l'establiment del control i la gestió dels abastaments, s'estableix el concepte de *zona d'abastament*, unitat bàsica sobre la qual s'aplicarà el control de la qualitat sanitària de l'aigua. Una zona d'abastament es defineix com una «àrea geogràficament definida i censada per l'autoritat sanitària a proposta del gestor de l'abastament o parts d'aquest, no superior a l'àmbit provincial, on l'aigua de consum humà provingui d'una o de diverses captacions i la qualitat de les aigües distribuïdes pugui considerar-se homogènia la major part de l'any» (1). A tall d'exemple, la figura 2 mostra la proposta de zones d'abastament en l'àmbit del sistema de distribució d'Aigües de Barcelona.

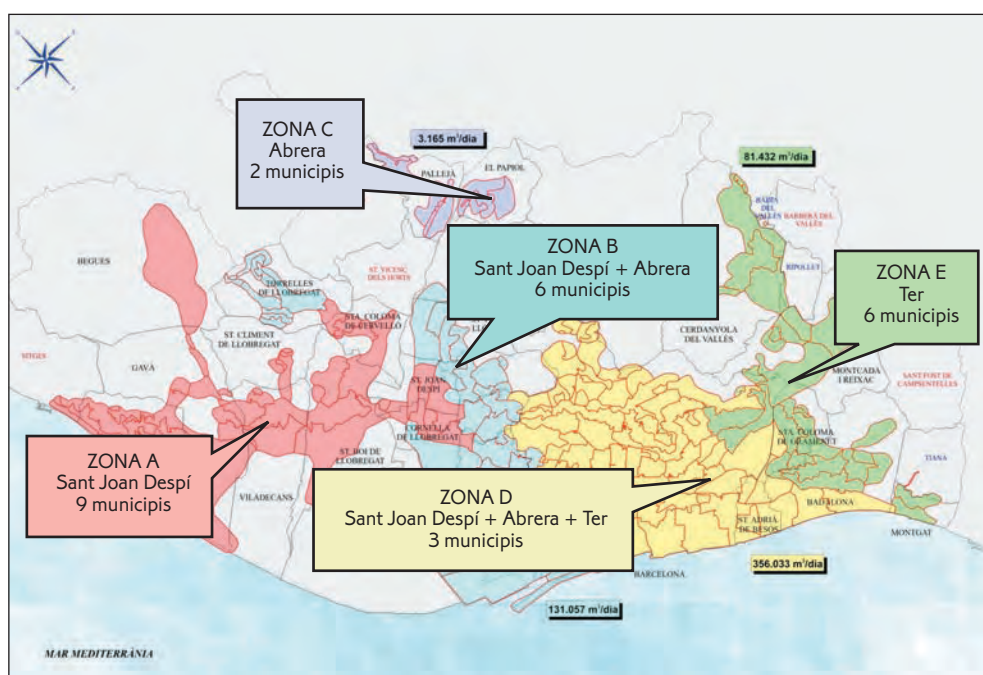


FIGURA 2. Zones d'abastament d'acord amb el RD 140/2003 en l'àmbit de l'abastament d'Aigües de Barcelona.

El control de la qualitat de l'aigua de consum s'ha de realitzar tenint en compte tres aspectes:

- autocontrol: realitzat per cada gestor de l'abastament d'acord amb el que estableix la normativa;
- vigilància sanitària: responsabilitat de l'autoritat sanitària;
- control a l'aixeta del consumidor: responsabilitat de les autoritats locals, i que s'ha de realitzar d'acord amb el que estableix la normativa.

En el cas de l'autocontrol cada gestor de l'abastament haurà d'elaborar (abans de l'1 de gener de 2005) un pla d'autocontrol i gestió que haurà de ser aprovat per l'autoritat sanitària.

La figura 3 fa palès el canvi amb relació al nombre i el tipus de paràmetres que s'han de controlar. Cal especificar els de cap, poc o difícil significat sanitari (silici, calci, magnesi, potassi, alcalinitat, etc.), els de paràmetres globals (N-Kjeldahl, hidrocarburs, fenols, tensioactius, recompte de colònies a 37 °C, etc.), la reducció d'alguns valors paramètrics com és el cas de l'arsènic i el plom (de 50 a 10 µg/L) i l'aparició de paràmetres més específics, sobretot pel que fa a compostos orgànics, com ara el benzè, el tricloretilè i el perclorètilè, alguns plaguicides, el bromat, etc. Una menció especial, cal fer-la sobre l'establiment d'un valor paramètric relatiu als subproductes de la desinfecció, que s'anomenen *trihalometans* (THM), aplicant el valor de 150 µg/L des de l'1 de gener de 2004 i de 100 µg/L des de l'1 de gener de 2009. L'establiment d'aquest valor paramètric, juntament amb el corresponent al plom (25 µg/L des de l'1 de gener de 2009 i 10 µg/L des de l'1 de gener de 2014), farà que els abastaments públics de nombrosos indrets hagin d'assolir reptes importants. Per a altres paràmetres químics, com s'ha vist en el cas del THM i el plom, també hi ha terminis particulars màxims. Pel que fa als paràmetres microbiològics, cal destacar l'aparició del control d'*Escherichia Coli* amb el valor paramètric de 0 UFC en 100 mL.

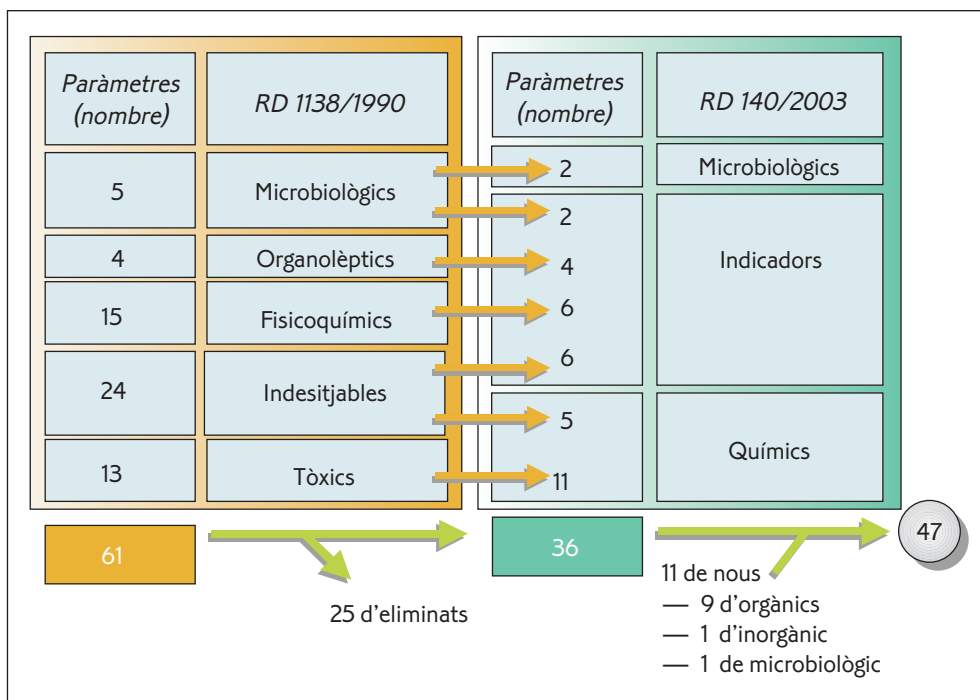


FIGURA 3. Comparació entre els paràmetres que s'han de controlar en l'anterior i l'actual normativa per a aigües de consum.

Un altre aspecte important relacionat amb el control de la qualitat de l'aigua és el dels laboratoris. En aquest sentit aquesta reglamentació estableix que «cada laboratori públic o privat que realitzi determinacions per a les anàlisis de control, completes, la vigilància sanitària o el control a l'aixeta del consumidor haurà d'implantar un sistema d'assegurança de la qualitat i validar-lo davant una unitat externa de control de qualitat, que realitzarà periòdicament una auditoria» (1). El tipus de sistema que caldrà implantar (acreditació o certificació) depèn de si el laboratori supera o no les 5.000 mostres a l'any. Aquest fet suposa que, des del vessant d'aquesta normativa, considerant-ne la qualificació, els laboratoris queden classificats en dos tipus. Per altra banda, s'especifiquen els mètodes d'anàlisi microbiològica i s'especifiquen els valors d'exactitud, precisió i límit de detecció per a trenta-dos paràmetres químics.

Cal, finalment, destacar que el nou RD 140/2003 afecta moltes més coses que el control analític. Així doncs, preveu les mesures de protecció i senyalització de captacions i dipòsits, els materials en contacte amb l'aigua, el tractament de l'aigua i els additius que cal afegir-hi, la neteja i la desinfecció de dipòsits i canonades, el personal dels abastaments i la informació al consumidor. Pel que fa a la informació, aquesta reglamentació estableix el Sistema d'Informació Nacional de l'Aigua de Consum (SINAC), projecte informàtic molt ambiciós, on figuraran les característiques de les zones d'abastament (captació, tractament, dipòsits, xarxa de distribució, laboratoris) i s'hi inclouran sistemàticament les dades analítiques corresponents als controls de la qualitat de l'aigua. Així mateix, s'hi gestionaran els incompliments, les situacions d'excepció i les inspeccions sanitàries.

Assegurar la qualitat de l'aigua: de la captació al consumidor

Un dels principals objectius de qualsevol abastament d'aigua és aconseguir aigua saludable amb la total confiança dels consumidors. Avui en dia són diverses les eines de què es disposa per tal d'assegurar la qualitat de l'aigua. Dues eines es consideren actualment necessàries, i una d'elles és la legislació vigent, tant pel que fa als recursos com a les aigües tractades, i l'altra, les metodologies de control del procés, cada cop amb més suport de les autoritats sanitàries, com per exemple l'OMS i la Unió Europea, i basades en la valoració i la gestió del risc d'emmalaltir per causa de l'aigua (13), i sobre les quals es constituïran les futures recomanacions i reglamentacions sanitàries (5). Un dels programes més coneguts d'assegurament de la qualitat de l'aigua per al consum dels abastaments és l'anomenat «Anàlisi de perills i de punts crítics de control».

La HACCP és un sistema preventiu de gestió del risc que s'utilitza en la indústria alimentària des de fa anys. Es basa en un cicle continu sobre l'establiment i la valoració del risc. Es tracta de conèixer el sistema, identificant i prioritzant els riscos i assegurant que s'han portat a terme mesures de control adients per a reduir el risc a un valor acceptable. També asseguren que hi ha una mesura contínua en la gestió (14).

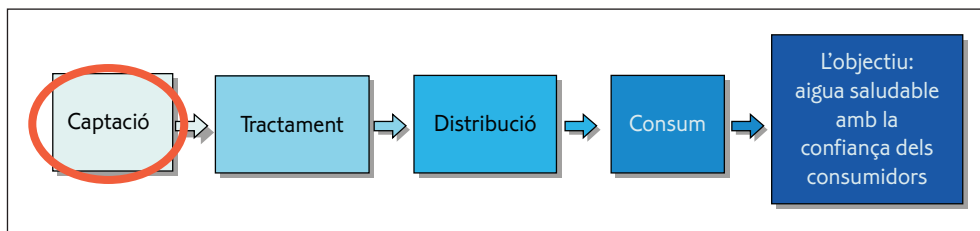


FIGURA 4. Cadena en l'assegurament de la qualitat sanitària de l'aigua de consum.

Per a l'aplicació de totes aquestes eines és imprescindible tenir molt clara l'essència del procés, basada en el que podria anomenar-se *la cadena de custòdia de l'aigua de consum*. La figura 4 mostra de manera clara aquesta cadena, entenent que comença en el control dels recursos i acaba a l'aixeta del consumidor.

En primer lloc cal protegir les captacions i, per tant, ser conscients dels possibles abocaments i activitats que poden alterar-ne la qualitat. En aquest sentit la nova Directiva marc de la Unió Europea sobre les aigües (15) especifica que s'ha de:

- «Identificar totes les aigües utilitzades per a la captació d'aigua destinada al consum humà».
- «Assegurar la protecció necessària d'aquestes aigües amb l'objectiu d'evitar-ne l'empitjorament de la qualitat a fi de reduir el nivell de tractament necessari».

El tractament de l'aigua suposa l'establiment de barreres múltiples que permetin obtenir una aigua d'unes característiques determinades i que minimitzin al màxim el risc per a la salut. Hem de considerar la xarxa de distribució com un reactor complex, amb punts crítics, on entra l'aigua tractada amb unes determinades característiques (partícules, microorganismes, matèria orgànica, caràcters fisicoquímics, clor residual), i on es produeixen determinats fenòmens fisicoquímics i biològics (corrosió i incrustació, cèssió de productes, permeació, biofilms, postfloculacions, coprecipitacions, reaccions químiques i bioquímiques) que poden provocar o augmentar en l'aigua de consum els subproductes de la desinfecció, els recreixements microbians, la terbolesa, així com canvis en el color, el gust i l'olor. Tot això pot afectar el consumidor i provocar reclamacions (figura 5).

Cal fer una menció especial dels anomenats *patògens* i *compostos emergents* o *reemergents* que preocupen els tècnics i, de vegades, també, el consumidor. Entre els patògens emergents podem citar virus (Coxsackie, Echo), *E. coli* O157, *Vibrio cholerae*, *Helicobacter*, *Campylobacter*, *Cyclospora*, *Cryptosporidium*. El coneixement sobre aquests patògens pel que fa a l'aparició, la disseminació i l'ecologia és necessari per tal de poder prevenir-ne l'aparició i la posterior disseminació amb, a vegades, factors de virulència nous (3).

Pel que fa als contaminants emergents, podem citar diversos compostos orgànics: subproductes de la desinfecció, productes farmacèutics, pesticides, dissolvents, toxines d'algues, disruptors endocrins i compostos responsables de gustos i olors. Entre els compostos inorgànics podem citar l'arsènic, el nitrat, el bromat, el bor, etc. Sobre tots aquests compostos ens cal dir que:

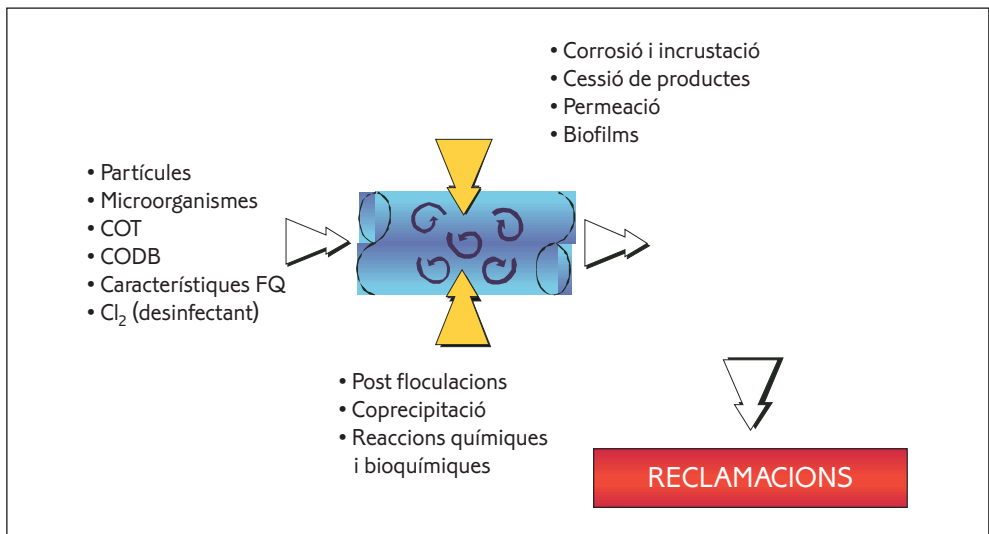


FIGURA 5. La xarxa de distribució vista com un reactor complex, objecte de canvis en la qualitat de l'aigua i de reclamacions dels consumidors.

— els compostos presents a l'aigua poden ser minimitzats però no reduïts a *zero* pels avançats sistemes de tractament,

— el 90 % dels compostos orgànics presents a l'aigua no són analitzables (16),

— hi ha tractaments disponibles per a eliminar els compostos presents a l'aigua, per exemple, el tractament amb membranes, però cal considerar-ne el cost i l'afectació al balanç iònic de l'aigua tractada i, d'altra banda, demanen controls suplementaris de la corrosió i de l'estabilitat de l'aigua.

L'aigua per al consum passa des de la xarxa de distribució a l'aixeta del consumidor. No s'ha d'oblidar mai el consumidor. Aquí cal tenir en compte la dimensió emotiva de l'aigua i s'ha de tenir en compte que:

- la confiança del consumidor és fràgil,
- s'ha d'utilitzar les paraules amb cura,
- cal emprar idees del món del màrqueting,
- cal preguntar-se a qui creuran els consumidors.

La informació al consumidor és imprescindible. Així ho especifica la normativa vigent, que afirma que haurà de ser puntual, suficient, adequada i actualitzada pel que fa a tots els aspectes del RD 140/2003. Així doncs, cal una comunicació efectiva, tant per part de les companyies d'aigua com de les autoritats sanitàries. Les companyies d'aigües han de donar respostes als *centres de trucades*, han de promoure la resolució de problemes, han de donar consells i recomanacions i oferir una informació oberta. L'autoritat sanitària s'ha de preocupar de les xarxes interiors i realitzar una adequada educació sanitària.

Conclusions

L'aigua de consum és un producte de característiques especials (així ho veu el consumidor), i es troba normalment associada a una dimensió emotiva. S'ha de considerar sempre, a part de la perspectiva tècnica, l'emocional de l'aigua de consum. Aquesta perspectiva es fa palesa quan s'estudia la influència que té sobre el consumidor el fet de beure aigua de l'aixeta en la percepció del sabor, la percepció de les condicions sanitàries o la d'altres variables relacionades amb la companyia subministradora. El consumidor vol, no obstant això, aigua saludable, de caràcters organolèptics acceptables, sempre disponible i de pressió adient. La companyia vol aigua de consum saludable i, a més, que tingui la confiança dels consumidors.

El nou RD 140/2003 dona un pas més en establir tots aquells requisits tecnicosanitaris dels abastaments públics i de control de la qualitat sanitària de l'aigua per tal d'oferir aigua saludable, de qualitat i neta als consumidors. És una norma que afecta moltes més coses que el control de la qualitat de l'aigua, des de les condicions del sistema de distribució fins als sistemes d'informació.

L'essència del procés en l'assegurament de la qualitat de l'aigua té en compte la cadena que va des dels recursos fins a l'aixeta del consumidor. Les eines de control que té són les reglamentacions vigents i els models d'assegurament de la qualitat en els abastaments, entre els quals destaquen l'aplicació de les normes genèriques ISO 9001 i la HACCP. Un sistema d'assegurament de la qualitat del segle XXI és del tot necessari. Caldrà preveure, en aquests sistemes, els anomenats *patògens* i *contaminants emergents*.

El consumidor, part final de la cadena, és un element essencial que s'ha de tenir sempre en compte. La comunicació efectiva amb ell és imprescindible.

L'actitud i la confiança dels consumidors davant l'aigua de consum tan sols pot millorar-se si, a part dels aspectes tècnics, es tenen en compte els aspectes emocionals de l'aigua de consum.

Referències bibliogràfiques

1. «Real Decreto 140/2003, de 7 de Febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano», *BOE*, núm. 45 (2003), p. 7228-7245.
2. L. MATIA, «The impact of the new European Directive on drinking water analysis», a *VI International Symposium on Analytical Methodology in the Environmental Field. April 10 - 12th 2000*, Madrid. [Actes]
3. J. JOFRE, F. LUCENA, L. MATIA i F. RIBAS (2003), *La qualitat de l'aigua de consum humà a Catalunya*, Barcelona, IEC.
4. L. JIMENO (2003), «La estructura del agua cambia con el sonido, las emociones y los pensamientos», *Discovery Salud*, núm. 52, p. 7-8 i 48-52.

5. «WHO Guidelines for Drinking Water Quality (Draft)», a *World Health Organisation* (en línia), Ginebra, 17 febrer 2003, <<http://www.who.int>>.
6. J. BARTRAM (2003), «Investigation of Sporadic Waterborne Disease», a P. R. HUNTER, M. WAI-TEAND i E. RONCHI (ed.), *Drinking Water and Infectious Disease: Establishing the Links*, Londres, CRC Press i IWA Publishing.
7. W. GIRSBERGER (2003), «HACCP - Hazard Analysis and Critical Control Points in Modern Management Systems of Water Suppliers», a *HACCP in Drinking Water Supplies in Switzerland*, Swis Gas and Water Industry Association, p. 3 - 10.
8. A. RUIZ i J. FERRER, «In the area of Barcelona three million consumers act every day as water tasters. What is the result?», a *6th IWA Symposium on Off-flavours in the Aquatic Environment. October 7-10, 2002*, Barcelona. [Actes]
9. «Directiva 98/83/CE del Consejo, de 3 de Noviembre de 1998, relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano», *Diario Oficial de la Comunidad Europea*, L 330/32 - L 330/54 (5 diciembre 1998).
10. «Código Alimentario Español. Capítulo XVII: Aguas y hielo» (1967), *Revista de Tecnología e Higiene de los Alimentos* (Madrid), número especial, p. 137-144.
11. «Real Decreto 1423/1982 de 18 de Junio por el que se aprueba la Reglamentación Técnico-sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público», *Boletín Oficial del Estado*, núm. 154 (1982), p. 17780-17785.
12. «Real Decreto 1138/1990, de 14 de Septiembre, por el que se aprueba la Reglamentación Técnico-sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público», *Boletín Oficial del Estado*, núm. 226 (1990), p. 27488-27497.
13. L. FEWTRELL i J. BARTRAM (2001), *Water Quality: Guidelines, Standards and Health*, Londres, IWA Publishing, 413 p.
14. K. MARTEL, J. MULLENGER, M. STEVENS i D. DEERE (2003), «Application of HACCP for Distribution System Protection», a *Proceedings of the Water Quality Technical Conference*, American Water Works Association, 11p.
15. «Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de Octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas», *Diario Oficial de la Comunidad Europea*, L 327/1 - L 327/72 (22 diciembre 2000).

Resum

Les pressions socioambientals cada cop més grans sobre un recurs natural limitat està generant arreu del món una crisi del paradigma d'oferta estructuralista fins ara vigent en les formes de gestionar i consumir aigua. Aquesta crisi és encara més peremptòria a la nostra bioregió mediterrània, i per això és aquí on s'ha formulat amb major claredat la necessitat de desenvolupar una nova cultura de l'aigua basada en una gestió justa socialment, i eficient econòmicament, de totes les demandes hídriques. La progressivitat de les tarifes, l'eliminació de les subvencions perverses, la idea de suficiència dins un espai ambiental sostenible i la recuperació del vincle perdut amb el territori són algunes de les dimensions cabdals de la nova cultura de l'aigua.

Abstract

The increasing social and environmental pressure upon the limited natural water resources generates all over the world a crisis in the prevailing paradigm in water policies, based on a structuralist management of the offer. In the Mediterranean bioregion the crisis is even more compelling, and this is why the New Water Culture has been more clearly posed here to manage the water demand in a socially fair and economically efficient manner. The progressiveness of water rates, the withdrawal of evil subsidies, the idea of sufficiency in a sustainable environmental space, and the restoration of the lost bond with the territory are several key features of the New Water Culture.

Del 1940 al 2000 el consum mundial d'aigua s'ha multiplicat per cinc, però, com és obvi, no plou cinc vegades més. També han augmentat la població i la capacitat de compra, i això s'ha traduït directament i indirectament en un augment de la pressió humana sobre els recursos d'aigua.

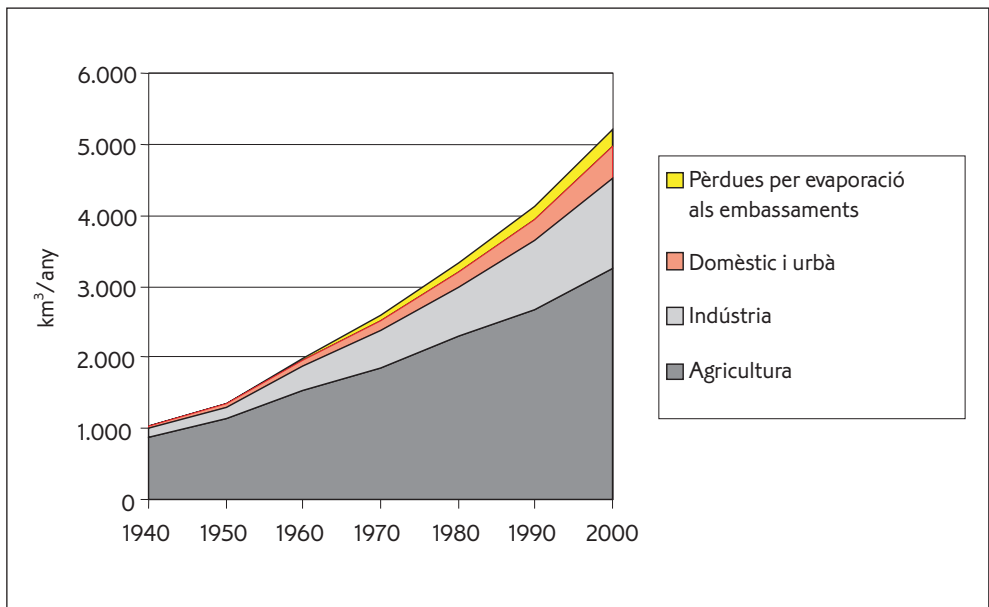


FIGURA 1. Consum primari d'aigua al món, 1940-2000.

FONT: I. A. Shiklomanov (1993), «World fresh water resources», a P. H. Gleick (ed.), *Water in crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources*, Oxford, University Press, p. 13-24.

La crisi de l'aigua

De maneres diverses segons les regions, tard o d'hora aquestes pressions insostenibles provoquen un seguit de conseqüències socioambientals comunes:

- el *deteriorament ambiental* del sistema hídric natural, per l'augment d'extraccions i abocaments,
- l'*augment del cost econòmic* per a fer-hi front (amb noves captacions, depuradores, etc.),
- la *confrontació* entre diversos usos de l'aigua, o entre regions i països, en un *escenari d'es-cassetat* creixent del recurs, en quantitat i qualitat.

Les *velles cultures* de l'aigua, heretades del passat, entren en conflicte. Darrere cada ús i cada lloc acostuma a haver-hi una cultura diferent, amb una història particular, uns valors i unes expectatives diversos, i també uns *preus* del tot dispars:

- en una font pública com la de Canaletes l'aigua encara és de franc,
- al bar de la cantonada pot arribar a costar 1,5 €/L,
- a l'aixeta de qualsevol casa de Barcelona l'aigua pot sortir a 1,5 L/m³ (0,0015 €/L),
- mentre que a molts regadius de la península Ibèrica es pot estar pagant a 0,015 €/m³ (0,000015 €/L).

Com si no formés part del mateix cicle, segons on es trobi i en mans de qui, una mateixa quantitat d'aigua pot costar *mil o cent mil vegades* més o menys que una altra. Darrere cada preu hi ha una cultura, uns hàbits o uns interessos particulars. La crisi ecològica els confronta entre si. En aquest nou escenari socioambiental entestar-se a seguir mantenint la vella cultura de *l'estructuralisme hidràulic* sorgit als voltants del 1890, que no va més enllà de planificar l'oferta des de l'Estat per a *oferir aigua subvencionada i a dojo*, ens porta inevitablement a nous conflictes i «guerres de l'aigua» entre sectors econòmics, classes socials, regions o països.

L'alternativa és una *nova cultura de l'aigua*, que posi fi a l'aigua subvencionada oferta per l'Estat a uns preus que fomenten el malbaratament (i la corrupció), i endegar una nova gestió sostenible i equitativa de totes les demandes —domèstica, urbana, industrial, agrària— per a garantir el bon estat ecològic del recurs.

El vincle amb el territori

Un aspecte cabdal de la nova cultura de l'aigua consisteix a recuperar el vincle entre societat i territori. Hom torna a descobrir, per exemple, que la millor planta potabilitzadora o depuradora és una conca en bon estat ecològic. Això planteja una interessant disjuntiva, en un escenari de costos creixents, entre invertir en «capital natural» o més infraestructures. Nova York ja s'ha plantejat la pregunta: *més potabilitzadores o territori protegit?* I ha començat a adquirir territori a la part alta de la conca per a mantenir la qualitat del proveïment d'aigua de qualitat. L'estimació de la «petjada hidrològica» d'una ciutat com Barcelona ens pot servir d'exemple per a situar al mapa el territori que fem servir realment per a acumular l'aigua que s'escola per la conca, fins a acumular els cabals que ens arriben per l'aixeta (figura 2).

Als Estats Units i altres països que havien estat capdavanters en les grans obres hidràuliques del segle xx ja s'han començat a suprimir preses o canalitzacions fluvials, i a gestionar els embassaments provocant avingudes que mobilitzin sediments i emulin les anteriors variacions del cabal «natural» de molts rius.¹ La nova mirada que comença a projectar-se sobre l'aigua, i els ecosistemes de què forma part, porta també a descobrir un munt d'ineficiències en la gestió tradicional, i d'altres possibilitats poc o gens aprofitades de reutilització, regeneració i dessalació, que poden esdevenir noves fonts no convencionals de proveïment (figura 3).

1. J. R. McNEILL (2003), *Algo nuevo bajo el sol: Historia medioambiental en el siglo XX*, Madrid, Alianza, p. 157-236.

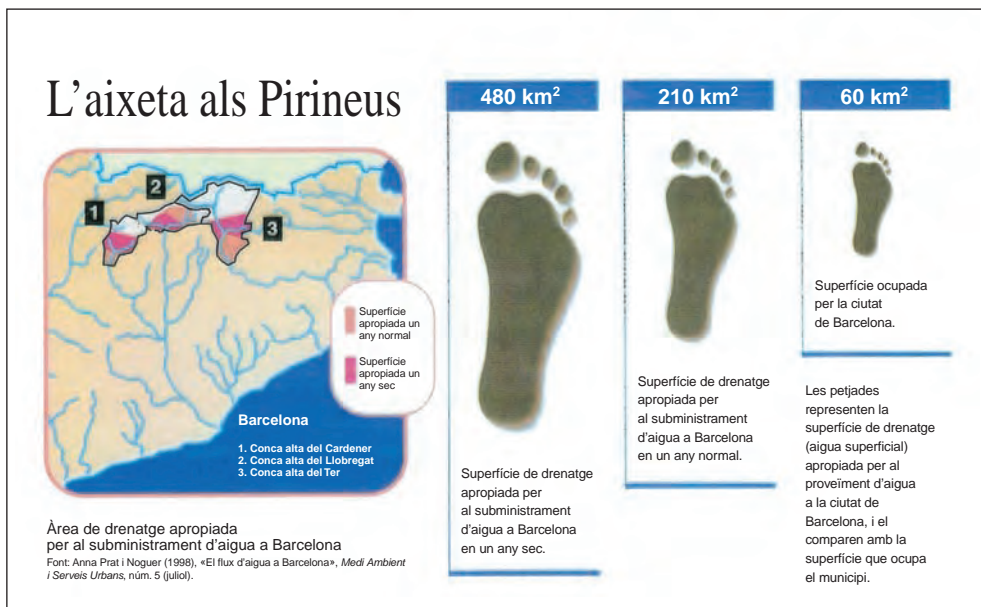


FIGURA 2. Petjada hidrològica de la ciutat de Barcelona.

FONT: A. Prat i N. Prat (1998), «Petjada d'aigua de Barcelona», *Sostenible*, núm. 2, p. 32.

L'aigua: un bé públic o un recurs privat?

Tot això obre, des de noves perspectives, el vell debat sobre la *propietat* i la *valoració econòmica* de l'aigua. D'una banda és prou evident que l'escassetat converteix l'aigua en un bé econòmic que cal assignar entre usos alternatius. Però a la vegada no és gens clar que l'aigua hagi de considerar-se un bé econòmic com qualsevol altre. Per això la crisi de la vella cultura de *l'estructuralisme hidràulic* està obrint una veritable «guerra intel·lectual» de l'aigua a tot el món. Hem de considerar l'aigua un bé públic o un recurs mercantil privat? No l'hauríem de considerar un dret humà bàsic? Quin ha de ser el règim de gestió i de concessió? Cal oferir aigua barata i a dojo, o posar uns preus realistes que incentivin l'estalvi i l'eficiència? Per què és bo que l'escola sigui pública i gratuïta, i l'aigua no?

En una de les bandes d'aquesta confrontació intel·lectual el neoliberalisme proposa «deixar al mercat» la fixació dels preus i l'assignació de l'aigua. En una monografia publicada pel *Círculo de Empresarios*, posem per exemple, Josep Vergés ataca virulentament l'anterior Pla Hidrològic Nacional aprovat pel Govern de José M. Aznar considerant-lo una mostra obsoleta de «socialisme d'Estat», fins i tot un «comunisme hidràulic». ² Un altre economista de la mateixa orientació,

2. J. C. VERGÉS (1998), *Una política econòmica para el agua*, Madrid, Círculo de Empresarios; *El saqueo del agua en España: Un «paseo militar» por España y Portugal (2002)*, Barcelona, La Tempestad.

| | <i>Entrades</i> | | <i>Sortides</i> |
|-------|--------------------------------|-------|------------------------------------|
| 153 | Subministraments de la xarxa | 20,5 | Evapotranspiració o evaporació |
| 17 | Extraccions del subsòl | 7 | Infiltracions al subsòl |
| 0,5 | Aigua envasada o dels aliments | 10 | Pèrdues de la xarxa al subsòl |
| 60 | Pluja local | 8 | Pèrdues del clavegueram |
| | | 102 | Depuradora del Besòs i al mar |
| | | 44 | Abocaments al mar a la Zona Franca |
| | | 39 | Pluja i aigua residual al mar |
| 230,5 | <i>Total</i> | 230,5 | <i>Total</i> |

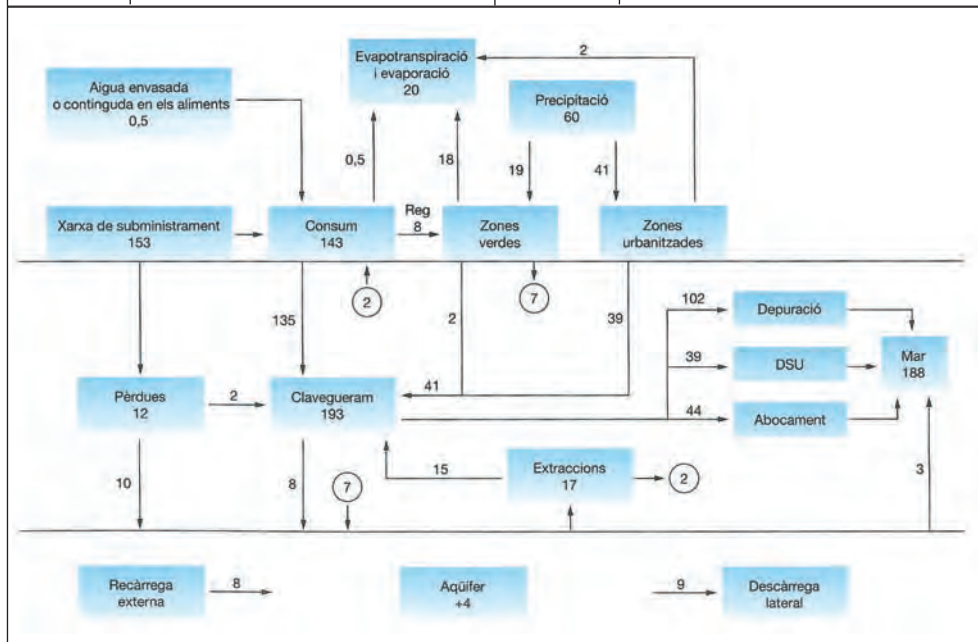


FIGURA 3. Balanç hídric del municipi de Barcelona en hm³/any (1997).

FONT: H. Barracó, M. Parés, A. Prat i J. Terradas, *Barcelona 1985-1999: Ecologia d'una ciutat*, Barcelona, Ajuntament de Barcelona, p 42.

Miguel Ángel Fernández Ordóñez, escriu també que en lloc de transvasaments s'haurien de fer mercats per a saber quin valor donem a l'aigua, i quanta estem disposats a adquirir-ne, perquè «si no es deixa als usuaris valorar l'aigua no hi haurà demanda sinó cartes als Reis Mags»:

A lo que más se parece la situación del agua en España es al suministro de alimentos de primera necesidad durante el franquismo de los años cuarenta. El instrumento que preside su distribución es el intervencionismo; son los políticos los que deciden lo que se puede demandar y lo que se oferta, a quién hay que darle agua y a quién hay que quitársela. El resultado es esa especie de despilfarro y escasez que surge cuando hay una ausencia absoluta de señales de mer-

cado. [...] Con el intervencionismo volverán las discusiones sobre dónde falta o sobra agua, las *guerras* entre Comunidades Autónomas y, si no llueve lo suficiente, el racionamiento. Los españoles ya han olvidado lo que era el racionamiento de pan, el aceite o el tabaco; pero, lamentablemente, lo siguen sufriendo periódicamente con el agua. Y así seguiremos mientras se siga sin dar valor al agua.³

El vell PHN i la crisi de l'estructuralisme hidràulic

Potser la comparació amb els anys de la postguerra sembla exagerada, malgrat que en tants altres aspectes l'atmosfera política dels darrers anys ens ha recordat aquella Espanya rànica franquista. Però si hom es pren la molèstia de llegir la memòria econòmica de l'anterior Pla Hidrològic Nacional aprovat amb la majoria absoluta del PP troba, en efecte, que aquella dre-ta ultraconservadora i —en tantes altres coses— neoliberal, afirmava paradoxalment a les primeres pàgines que perseguia... el benefici de l'economia *col·lectiva*!

[...] el verdadero objetivo de estas obras [...] no es otro que incrementar el bienestar de la sociedad [...]. Desde el punto de vista del Estado como agente, el objetivo ha de ser contribuir a la satisfacción de las demandas y al desarrollo económico nacional, por razones de interés general [...]. La fórmula de contribuir al desarrollo económico es aumentar el valor neto de la producción nacional de bienes y servicios [...]. Nótese que el balance económico [...] identifica efectos benéficos y adversos sobre la economía colectiva.⁴

Ara fa un segle, en els temps de Joaquín Costa o durant la II República, encara podia tenir sentit que l'Estat subvencionés grans obres hidràuliques per a promoure el desenvolupament econòmic. Però, com assenyala José Manuel Naredo, quan després dels quaranta anys de la dictadura de Franco ja som el país del món amb més embassaments per km² o habitant, el PHN «revis el vell paternalisme hidràulic del franquisme».⁵

Un dels protagonistes dels projectes hidràulics del primer terç del segle xx, l'enginyer i historiador Manuel Díaz Marta, que va formar part de l'equip tècnic del Plan Badajoz republicà i va conèixer de primera mà el Pla de Manuel Lorenzo Pardo de 1933, ho explicava així al primer congrés per a una nova cultura de l'aigua que encara va poder inaugurar a Saragossa el 1998:

3. M. A. FERNÁNDEZ ORDÓÑEZ (2000), «El agua, sin valor», *El País* (21 juny), p. 78.

4. MINISTERI DE MEDI AMBIENT (2000), *Plan Hidrológico Nacional: Análisis Económicos*, Madrid, p. 17.

5. J. M. NAREDO (2003), «La encrucijada de la gestión del agua en España», *Archipiélago*, núm. 57, p. 17-33. Vegeu també P. ARROJO i J. M. NAREDO, *La gestión del agua en España y California* (1997), Bilbao, Bakeaz; J. M. NAREDO (ed.), *La economía del agua en España*, Madrid, Fundación Argentaria-Visor; J. LÓPEZ-GÁLVEZ i J. M. NAREDO (ed.) (1997), *La gestión del agua de riego*, Madrid, Fundación Argentaria-Visor; C. BARCIELA i J. MELGAREJO (ed.) (2000), *El agua en la historia de España*, Salamanca, Publicaciones de la Universidad de Alicante.

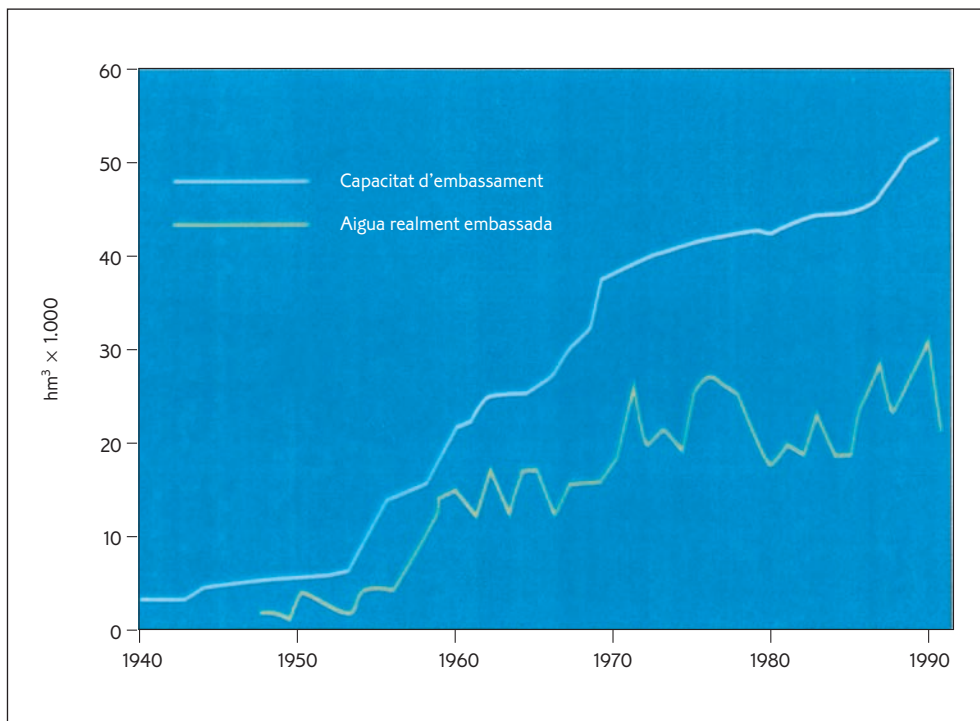


FIGURA 4. Capacitat d'embassament i aigua realment embassada a Espanya, 1940-1990.

FONT: M. Fernández i M. R. Llamas (1996), «Tópicos y manipulaciones en torno a la política del agua», *Ecosistemas*, núm. 16, p. 48.

En circunstancias normales —es decir, de no haber existido la guerra civil, la mundial, la guerra fría y el aislamiento cultural de nuestro país— la política hidráulica del primer tercio de siglo se habría diversificado en el segundo, incluyendo la explotación de las aguas subterráneas y algunas innovaciones de tecnología hidráulica que estaban surgiendo en el mundo. Pero no fue así. El éxito propagandístico de las obras hidráulicas del llamado Plan Badajoz por los años 50, animó a los gobernantes a proseguir la construcción de grandes obras hidráulicas.⁶

Cal preguntar-se, tanmateix, perquè la mateixa inèrcia s'ha pogut mantenir després de la transició política. Quan Díaz-Marta va tornar de l'exili va topiar frontalment amb les caduques concepcions que encara subsisteixen al nostre país en el reduït cercle dels que acaparen les decisions de la política hidràulica, fins i tot al seu propi partit socialista:

6. M. DÍAZ-MARTA (1998), «Evolución de las políticas hidráulicas españolas desde la Ilustración hasta nuestros días», a P. ARROJO et al., *El agua a debate desde la Universidad: Hacia una nueva cultura del agua: Congreso Ibérico sobre gestión y planificación de aguas*, Universitat de Saragossa, p. 39.

Como en toda empresa caracterizada por una sucesión de fallos no enmendables sobre la marcha, hay que pensar que los tropiezos y dificultades en el desarrollo de la política hidráulica desde la transición, se deben a defectos de concepción desde un principio. Efectivamente, la política del agua difundida al público y mantenida ante las Cortes Constituyentes fue la misma proclamada años antes por Silva Muñoz y continuada con gran entusiasmo por su sucesor en el Ministerio de Obras Públicas, Fernández de la Mora. Consistía en la prosecución de grandes obras hidráulicas emprendidas por el régimen anterior, a las que se añadían embalses y trasvases todavía más espectaculares. Por supuesto, no había ni una sola mención a las innovaciones tecnológicas de nuestro siglo.

Esta política, entre otros defectos, tuvo dos de suma importancia: el del anacronismo y la conflictividad. En la misma década de los setenta en que tal política se quiso imponer a la naciente democracia española, ya había sido desechada por los organismos internacionales y por varias naciones.⁷

La diagnosi de Manuel Díaz-Marta és important no només per la rellevància de qui la va formular, sinó també perquè apunta en un altre sentit diferent a la visió econòmica neoliberal que únicament lamenta la manca de mercats: assenyala el greu *déficit democràtic* que encara arrossega la política hidràulica espanyola.

En definitiva, el vell estructuralisme hidràulic ha esdevingut anacrònic i és per això que el vell PHN va topiar amb les noves directives de la UE. I ho va fer tant per un motiu ambiental —quan la Directiva marc europea prescriu que el primer objectiu de la gestió de l'aigua ha de ser el manteniment del bon estat ecològic dels rius, la seva conca, els seus deltes o els estuaris, i la plataforma marina—, com també per un motiu econòmic, quan la Directiva de la UE reclama la recuperació íntegra dels costos del subministrament tot fent que repercuteixin en els preus que paguen els usuaris.

De l'estranya combinació que el vell PHN feia entre el vell paternalisme estatal franquista i un neoliberalisme pur i dur que obre el camí als mercats privats de l'aigua, en sortia el característic bunyol que Pedro Arrojo anomenava «pelotazo hidráulico»:

[...] la mayor perversión de la opción de mercado es que vaya combinada con estrategias «de oferta» subvencionadas, como parece haber decidido el gobierno del PP. Subvencionar las grandes obras hidráulicas con dinero público, para después gestionar mediante dinámicas de libre mercado los derechos concesionales de los caudales obtenidos, encierra una auténtica malversación de caudales públicos que sería preciso estudiar y en su caso denunciar ante los tribunales.⁸

7. M. DÍAZ-MARTA (1997), «Lenta y penosa evolución de la política hidráulica desde la Transición», a *Las obras hidráulicas en España*, Madrid, Fundación Puente Barcas i Ediciones Doce Calles, Madrid, p. 161-170.

8. P. ARROJO (2003), *El Plan Hidrológico Nacional: Una cita frustrada con la historia*, Barcelona, RBA Integral, p. 51. Vegeu també el volum P. ARROJO (ed.) (2001), *El Plan Hidrológico Nacional a debate*, Bilbao, Bakeaz.

Neoliberalisme o desenvolupament sostenible

Més enllà de la crítica comuna a l'estructuralisme hidràulic obsolet, des d'un plantejament neoliberal congruent, i des de la nova cultura socioambiental de l'aigua, les dues visions econòmiques es confronten clarament a l'hora de concebre els règims concessional i els preus de l'aigua. És una qüestió cabdal, sobre la qual l'anomenada «guerra de l'aigua» que hem viscut a la regió metropolitana de Barcelona del 1991 al 2001 ensenya algunes coses importants.

Antonio Machado ja va dir que era cosa de necis confondre *valors* amb *preus*. És cert que tot allò al qual no donem *valor* es malbarata i es llença aviat. Però el llenguatge dels *preus* no més és una manera particular de valorar les coses i, per a certes qüestions importants, força grollera. Hi ha moltes coses de les quals volem tenir una especial cura i que, precisament per això, no deixem que sigui el mercat qui les valori. Cal fer-ho, o no, amb l'aigua?

El consum d'aigua no és un cas comparable a un bé públic com l'educació, si tenim en compte que, pel que fa a aquest tema, ningú no decideix tenir més fills per a poder-los dur a escola pel fet que sigui gratuïta (més aviat passa el contrari, l'escolarització femenina redueix el nombre de fills per dona). Tampoc ningú no es posa més malalt perquè la sanitat és pública i la paguem de la caixa comuna dels impostos. No posar preu a l'aigua, en canvi, quan l'ús particular que en fem té un cost econòmic en augment, i implica uns impactes creixents per al medi ambient comú, significa induir al malbaratament.⁹

Però també és cert que es tracta d'una necessitat fonamental, i hi ha bons arguments a favor de considerar l'aigua com un dret humà bàsic. Això és el que proclama, per exemple, el manifest promogut per Riccardo Petrella:

[...] el control del agua no se puede dejar a la lógica de las finanzas y el mercado porque éstos garantizan el derecho a la vida sólo a los consumidores solventes y a los ahorradores/propietarios/accionistas. Por consiguiente, para que la Humanidad recupere un derecho a la vida mediante y con el uso de un agua segura, tanto ahora como en el futuro, es necesario invertir las tendencias actuales a la mercantilización de toda actividad humana y la privatización de todos los bienes y servicios.¹⁰

Tenim, doncs, un dilema. Els preus de l'aigua han de reflectir-ne el cost econòmic i ambiental, per a induir els qui l'empren a un ús responsable i eficient. Però si deixem que sigui el mercat qui posi el preu, no garantim l'accés d'aquest recurs vital a tothom. Hi ha alguna manera de fer compatibles les dues coses?

9. E. TELLO (1999), «Por qué la escuela debe ser gratis y el agua no», *En Pie de Paz*, núm. 50, p. 84-88.

10. R. PETRELLA (2002), *El manifiesto del agua*, Barcelona, Icaria i Intermón Oxfam, p. 128.

Una eina cabdal: la progressivitat de les tarifes

Podem concebre, en efecte, unes tarifes públiques de l'aigua que cerquin a la vegada *garantir l'accés equitatiu a un dret humà bàsic i incentivar l'ús sostenible del recurs*. Es tracta d'establir uns preus *progressius*. I això vol dir *posar preus a l'aigua democràticament*, a partir de la deliberació i la decisió pública. No que ho faci el mercat responent només a la crida del poder adquisitiu.

El principi cinquè del manifest internacional de l'aigua promogut per Riccardo Petrella i Mario Soares, que proclama *el dret de tothom a viure*, diu concretament:

Assegurar l'accés bàsic a l'aigua, per a satisfer les necessitats elementals i fonamentals de qualsevol persona a qualsevol comunitat, és una obligació per a la societat en conjunt. És la societat qui ha d'assumir col·lectivament el conjunt dels costos derivats de la derivació, la potabilització, l'emmagatzemament, la distribució, l'ús, la conservació i el reciclatge de l'aigua, per tal de garantir l'accés a l'aigua en la quantitat i la qualitat que es considerin un mínim vital i indispensable. El conjunt d'aquests costos (incloses les externalitats negatives que no prenen en compte els preus de mercat) són costos socials col·lectius [...]. El finançament ha de garantir-se amb un repartiment col·lectiu. Els mecanismes de tarificació individual, mitjançant preus progressius, han d'intervenir a partir d'un mínim vital i indispensable. Més enllà del mínim vital, la progressivitat dels preus ha d'estar en funció de la quantitat emprada.¹¹

La *progressivitat* de les tarifes públiques de l'aigua, segons si els consums són inferiors o superiors al mínim vital, esdevé, per tant, la clau per a resoldre l'aparent dilema entre dos objectius igualment importants: garantir l'accés equitatiu a la satisfacció d'una necessitat humana bàsica, i evitar el malbaratament de l'aigua subministrada. Ben mirat, es tracta del mateix objectiu formulat en dues escales temporals i espacials diferents. Perquè el consum malbaratador d'unes persones pot comprometre l'accés d'altres persones a la satisfacció de les necessitats bàsiques d'aigua que tinguin, en el present o el futur.

Posar un preu adient als qui ja gaudim d'un proveïment més que suficient d'aigua podria fins i tot ajudar a millorar-ne l'accés als qui encara no arriben a un consum vital mínim, si hi hagués alguna mena de transferència solidària d'uns a altres. Això és el que proposa Riccardo Petrella mateix amb la idea del «cèntim solidari»: pagar 0,1 €/m³ addicional als països del Nord, i transferir-lo a un fons cooperatiu mundial d'inversions per a proveir d'aigua potable els qui encara no en tenen. A la regió de la Toscana, a Itàlia, ja s'ha començat a aplicar.¹²

11. CENTRE TRICONTINENTAL POINT DE VUE DU SUD, en col·laboració amb el Comité Promoteur Mondial pour le Contrat de l'Eau, *L'eau, patrimoine commun de l'humanité*, París, L'Harmattan, p. 290. La traducció al català és meua.

12. R. PETRELLA (2003), «Hacia un fondo mundial cooperativo del agua», *Le Monde Diplomatique* (edició espanyola) (novembre), p. 11.

Lliçons de la «guerra de l'aigua»

L'eficiència i l'equitat són dues cares de la mateixa moneda. Aquesta hauria de ser una de les lliçons de la «guerra de l'aigua» a Barcelona que, malauradament, només hem après encara a mitges. La «guerra» va esclatar per la puja sobtada i no negociada dels rebuts de l'aigua, produïda entre el 1991 i el 1992 a través d'un seguit d'impostos afegits per diverses administracions amb competències fragmentades en el cicle de l'aigua, que cercaven que els costos en augment del proveïment i la depuració repercutissin en els usuaris. D'un any a l'altre la factura mitjana es va encarir entre un 15 i un 20 % en termes reals, un cop descomptada la inflació, per als consums familiars més corrents (figura 5).

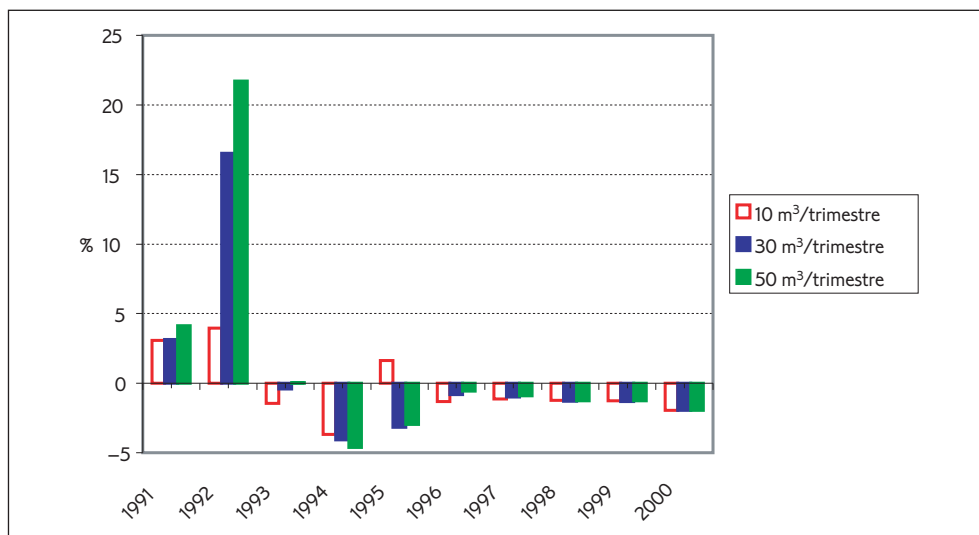


FIGURA 5. Variació del preu real de l'aigua a la regió de Barcelona (a euros constants, sense taxa de residus ni clavegueram).

FONT: J. Roca i E. Tello (2000), *Els preus de l'aigua domèstica a l'àrea metropolitana de Barcelona del 1990 al 2000*, Barcelona, Àrea Metropolitana de Serveis Hidràulics i Tractament de Residus.

Comprensiblement, la protesta va esclatar als barris i les poblacions obreres de la primera corona al voltant de Barcelona (figura 6), justament on es consumeix menys per persona (al voltant de 110 litres per persona i dia, en contrast amb uns 135 al centre de Barcelona i entre 150 i més de 400 a moltes urbanitzacions disperses de la segona corona metropolitana).¹³

13. E. TELLO (1999), «Fiscalitat ambiental i nova cultura de l'aigua», *Medi Ambient, Tecnologia i Cultura*, núm. 25, p. 27-39; J. ESQUERRA, E. OLTRA, J. ROCA i E. TELLO (coord.) (1999), *La fiscalitat ambiental a l'àmbit urbà: aigua i residus a la regió metropolitana de Barcelona*, Barcelona, Publicacions de la Universitat de Barcelona; E. TELLO (2000), «La "guerra del agua" en Barcelona. Alternatives económico-ecològiques para un desafío socioambiental», a A. ESTEVAN i V. VIÑUALES (comp.) (2000), *La eficiencia del agua en las ciudades*, Bilbao, Bakeaz i Fundación Ecología y Desarrollo, p. 277-298.

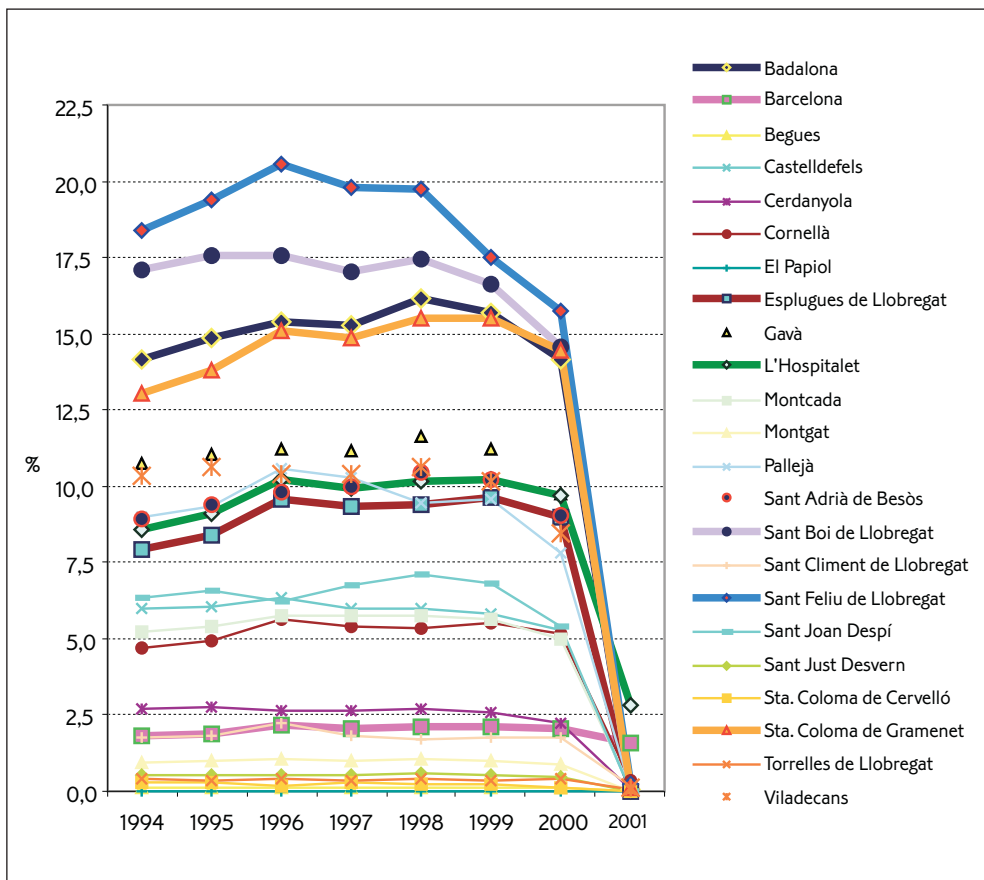


FIGURA 6. Percentatge d'unitats domèstiques oficialment enregistrades a la «guerra de l'aigua», per municipis (1994-2001).

FONT: Elaboració pròpia a partir del cens de l'Entitat Metropolitana.

Significativament, el conflicte no va començar a trobar vies de solució fins que la nova Llei de l'aigua 6/99 va adoptar explícitament els tres principis establerts a la Directiva de 1997 de la UE sobre l'establiment de tarifes:

1. la *gestió integrada del cicle de l'aigua a cada conca*, que implica la repercussió d'un sol cànon o impost sobre la factura,
2. els *consums bàsics* han de ser *assequibles* per a tothom, i
3. els *preus* han de reflectir tots els *costos reals* (*full cost pricing*).

Els principis 2 i 3 només són compatibles amb una *tarifa progressiva* segons el consum, que reflecteixi d'alguna manera el fet que els preus de la nova cultura de l'aigua han de respondre a la idea d'*espai ambiental* sostenible. És a dir, han de combinar:

- l'*equitat* en els consums *vitals*,
- amb l'*ecoeficiència* en els usos intermedis, susceptibles de millora tècnica o canvi d'hàbits més estalviadors, i
- una *suficiència* que penalitzi els consums abusius que posen en perill l'accés a consums vitals per a d'altres persones o éssers vius, ara o en el futur.

Des de molts punts de vista la Llei 6/99 ha estat un avenç important, que ha permès unificar les competències en l'Agència Catalana de l'Aigua. Fou una llàstima, tanmateix, que a darrera hora es renunciés a imposar un cànon de l'aigua als consums agrícoles contravenint al principi del *full cost recovery* (a diferència del cànon de sanejament industrial, que ha funcionat realment com a primer impost ecològic eficient aplicat a Catalunya).¹⁴ Des del punt de vista de la progressivitat de les tarifes domèstiques ha estat, en canvi, una gran ocasió perduda.

Una assignatura pendent

Amb la fi negociada de la «guerra de l'aigua» l'estructura tarifària de la regió de Barcelona s'ha simplificat molt i ara és molt més transparent i fàcil d'entendre. Però la regressivitat real és encara una assignatura pendent. Per al cànon que cobra l'Agència Catalana de l'Aigua, la Llei 6/99 només estableix dos trams de consum amb imports progressius (de més o menys 400 litres diaris, equivalents a 36 m³ trimestrals), i s'aplica una facturació mínima de 18 m³ perquè la paguin també les segones residències o habitatges buits. Únicament si hi conviuen més de quatre persones el límit entre blocs es pot ampliar a petició dels interessats de 2,5 m³/mes per persona addicionals (la qual cosa afecta com a molt el 15 % d'habitatges i el 27 % de la població de la regió metropolitana).

La tarifa d'AGBAR manté tres blocs de consum amb preus progressius, que van fins a 18 i 36 m³ trimestrals respectivament. Però manté una quota fixa de servei, que es paga independentment del consum efectiu, i que l'any 2003 suposava 11,1 € per trimestre. Per a la major part dels consums habituals l'efecte de la quota de servei fixa anul·la la progressivitat del sistema de blocs en el resultat final.

Si analitzem la corba de preus unitaris mitjans segons el consum trimestral de les unitats domèstiques a l'àrea metropolitana de Barcelona, el resultat final és regressiu: l'aigua és més barata per a qui més en consumeix (figura 7). Els anys 2001, 2002 i 2003 l'estructura tarifària potser no és tan regressiva com abans de la «guerra de l'aigua» el 1990, o el 1999, quan se n'estava negociant el final. Però l'única modificació és que el preu final comença a esdevenir lleugerament progressiu a partir de consums superiors als 400 litres diaris per unitat domèstica (o 36 m³/trimestre). Per a qualsevol facturació inferior a 36 m³ trimestrals el preu es manté regressiu.

14. C. de GISPERT, «El tributo de saneamiento sobre las aguas residuales de Cataluña», a J. ESQUERRÀ, E. OLTRA, J. ROCA i E. TELLO (coord.), *La fiscalitat ambiental a l'àmbit urbà...*, p. 193-206.

El significat real d'aquest llindar de 400 litres diaris esdevé, tanmateix, molt diferent segons si a la mateixa unitat domèstica hi viu una persona sola —on suposaria un considerable malbaratament— o una família nombrosa. Una llar de tres persones, on cada una gastés 133 litres diaris, se situaria just al límit del canvi de perfil de l'estructura tarifària. Si consumissin una mica més, el preu final els resultaria lleugerament més alt. Però si estalviessin, acostar-se cap als 100 litres diaris per persona també els suposaria pagar més car cada metre cúbic!

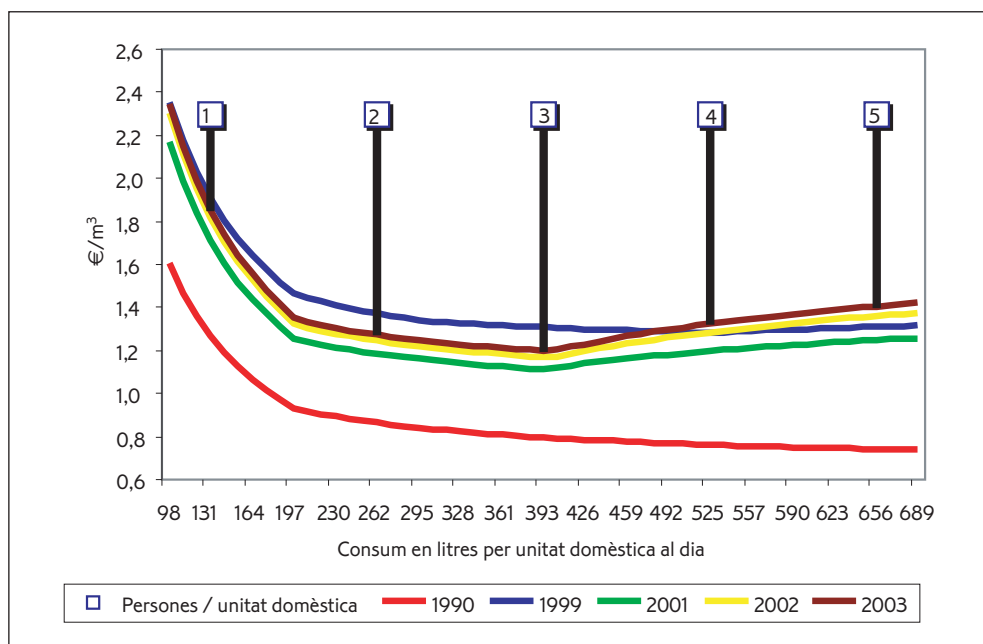


FIGURA 7. Preu final de l'aigua domèstica a l'àrea metropolitana de Barcelona segons el consum diari. Les línies verticals mostren un consum mitjà de 130 litres/persona/dia segons el nombre de persones per unitat domèstica.

FONT: Elaboració pròpia a partir d'AGBAR (<http://www.agbar.es>).

Aquesta situació té com a mínim tres efectes negatius:

— Desincentiva l'estalvi, si més no per a qualsevol consum inferior a 36 m³ trimestrals, o 400 litres diaris per unitat domèstica. La regressivitat fa més difícil aconseguir un bon retorn a qualsevol inversió en equips, instal·lacions o electrodomèstics més eficients.

— Perjudica injustament les persones que viuen soles, les parelles joves o les parelles de jubilats sense fills i les llars monoparentals amb una criatura, carregant-los amb uns preus unitaris molt més alts que a la resta (i encara més si són estalviadors!).

— Finalment, les famílies molt nombroses on conviuen quatre, cinc o més persones també paguen preus més alts encara que tinguin uns consums per persona moderats (però no tant com les persones que viuen soles, i són els únics que si estalvien obtenen com a premi un preu més baix).

Els darrers informes de l'OCDE sobre l'evolució de les tarifes d'aigua domèstica al món assenyalen clarament el problema: «el pagament de facturacions mínimes i/o de qualsevol element fix a la tarifa “esmussa” el missatge de l'estalvi, i redueix, per tant, la força potencial del senyal que envien els preus». L'anàlisi comparativa entre països mostra «una tendència creixent a incorporar als preus de l'aigua objectius a la vegada socials i ambientals»:

L'ús cada cop més freqüent d'estructures de preus progressives segons el volum pot millorar l'*eficiència econòmica*, en reflectir millor els costos marginals als preus de l'aigua. També pot encoratjar l'*estalvi d'aigua*, mitjançant una imposició creixent sobre cada unitat d'aigua emprada, i pot afavorir l'objectiu de l'*equitat* en carregar cada consumidor segons el nivell de consum real que tingui. A la vegada, reduir els subsidis i augmentar els preus pot conduir a l'estabilitat financera del subministrador de l'aigua a la vegada que indueix els consumidors a estalviar-la. Emprant tarifes amb blocs progressius segons el volum consumit també pot promoure els objectius d'estalvi, mentre contribueix a la vegada a l'accessibilitat dels serveis bàsics d'aigua per a les unitats domèstiques amb baixos ingressos.¹⁵

Però el manteniment de càrregues fixes esdevé, gairebé a tot arreu, un greu obstacle per a seguir avançant en aquesta direcció. A les discussions sobre l'estructura de blocs durant els deu anys de «guerra de l'aigua» les associacions de veïns van dedicar gairebé tota l'atenció a les famílies nombroses, malgrat que n'hi ha poques i cada vegada menys. Això els va fer posar gairebé tot l'accent a criticar l'estructura de blocs, i no la quota fixa de servei que anul·la la progressivitat dels blocs al preu final de cada metre quadrat.

L'única raó per la qual l'estructura tarifària es manté regressiva és que la quota de servei fixa no és *absorbible*: a diferència de la facturació mínima del cànon de l'aigua, que només recau sobre els qui consumeixen menys de 18 m³ trimestrals, una quota fixa no dóna dret a una quantitat mínima de subministrament. L'únic argument raonable a favor de l'existència d'una quota o facturació mínima és que els habitatges amb baixa ocupació i poc consum, com moltes segones residències, haurien de contribuir, en una proporció superior a la despesa d'aigua que tinguin, al manteniment d'una infraestructura que ha d'estar dimensionada comptant que en qualsevol moment poden obrir l'aixeta.

Però aquesta dificultat quedaria perfectament resolta fent absorbibles les quotes. Equiparant-les a una facturació mínima, que dóna dret a un cert consum inferior al mínim vital mitjà —com ja es fa amb el cànon de l'ACA—, només afecten la minoria a qui ha d'afectar sense que es converteixi injustament en regressiva l'estructura tarifària per a la immensa majoria de consumidors. Mentre aquesta quota de servei es mantingui independent del consum, les llars amb pocs membres i/o amb poc consum paguen l'aigua més cara perquè la quota fixa els representa una proporció cada cop més gran del rebut (figura 8).

15. OCDE (1999), *Household water pricing in OECD countries*, París, p. 24 i 66.

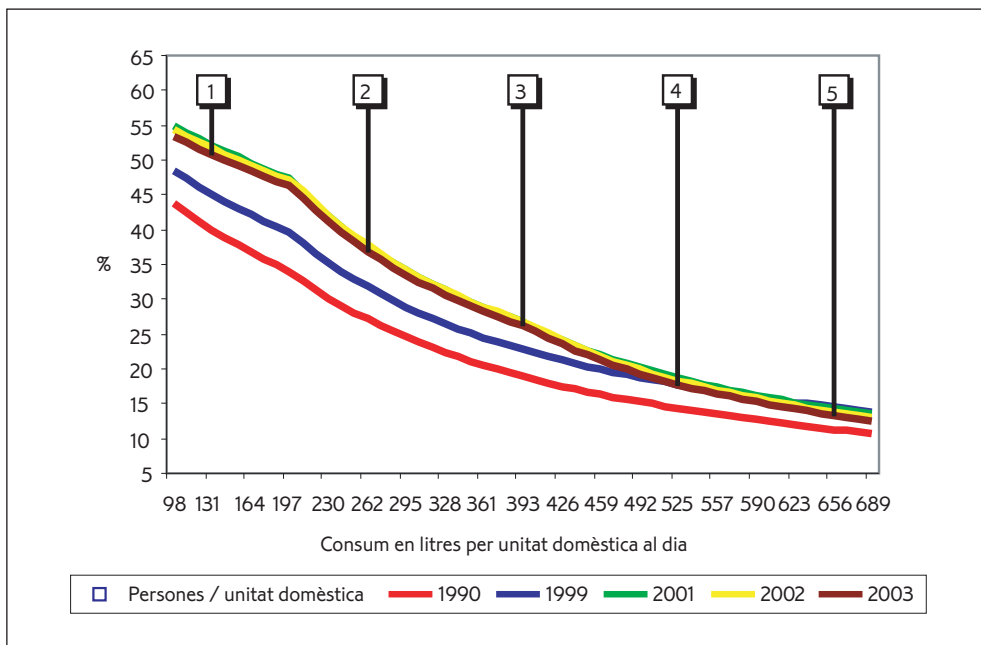


FIGURA 8. Tant per cent que representa la quota fixa de servei a la factura trimestral d'aigua domèstica a l'àrea metropolitana de Barcelona. Les línies verticals mostren un consum mitjà de 130 litres/persona/dia segons el nombre de persones per unitat domèstica.

FONT: Elaboració pròpia a partir d'AGBAR (<http://www.agbar.es>).

Espai ambiental sostenible

Les figures 7 i 8 també permeten observar un altre dilema cabdal: la recerca d'una accessibilitat per a tothom als consums vitals mínims —o la seva traducció en un «dret» humà bàsic— ha de tenir les persones com a subjecte. Però els comptadors d'aigua no mesuren el consum individual, sinó el d'una unitat domèstica (o de diverses, on encara no hi hagi un comptador per habitatge). El mateix passa si ampliem la visió fins a la noció d'un *espai ambiental sostenible* que cerqui de garantir un mínim vital assequible per a tothom —el *sòl* de l'espai ambiental— i establir un *sostre* màxim que dissuadeixi del malbaratament insostenible, i que delimiti un *espai intermedi* on cadascú esculli la seva pauta de consum sota l'incentiu econòmic i cultural del principi PPP: *qui més gastis i contami, que pagui més*¹⁶ (figura 9).

16. J. H. SPANGENBERG (2002), *An environmental space based approach to assessing the environmental impact for household consumption*, Luxemburg, International Institute for Applied System Analysis; J. H. SPANGENBERG (2002), «Environmental space and the prism of sustainability: frameworks for indicators measuring sustainable development», *Ecological Indicators*, vol. 2, núm. 4, p. 295-309.

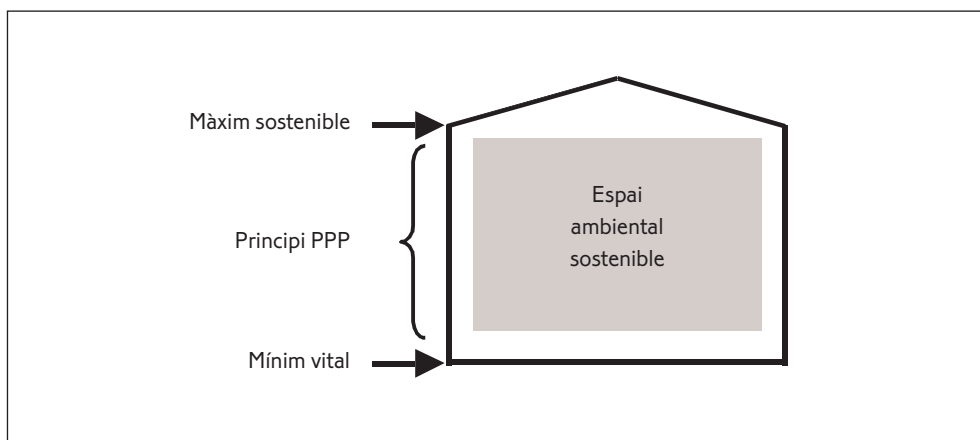


FIGURA 9. La noció de *espai ambiental sostenible*.

FONT: Spangenberg (2002), nota 16.

Són les persones, no les llars, les qui han de gaudir d'un dret d'accés a un mínim vital d'aigua. Per això els darrers informes de l'OCDE sobre tarifes d'aigua domèstica han cridat l'atenció sobre l'experiència iniciada a la regió flamenca, a Bèlgica —on viuen sis milions de persones, com a Catalunya, si fa no fa—, que consisteix a atribuir *a cada persona* un mínim vital de 41 litres diaris d'aigua gratuïts (equivalents a 3,7 m³ per habitant el trimestre o 15 m³ l'any). Per damunt d'aquest mínim vital hi ha un preu constant. Això vol dir que les companyies d'aigua estructuren la factura de cada unitat domèstica a partir del padró anual de persones residents a cada habitatge.¹⁷

L'experiència flamenca és molt important per a les polítiques actives de gestió de la demanda orientades a moderar els consums d'aigua domèstica, com també ho ha estat a Dinamarca el paper d'unes tarifes més altes i progressives en la reducció aconseguida del consum domèstic de 175 a 139 litres diaris per persona entre el 1987 i el 1996.¹⁸ Val la pena recordar que l'Estat espanyol, amb un consum mitjà situat entre 180 i 200 litres per persona al dia, encara figura al grup de països més malbaratadors del món, al costat d'Itàlia, Turquia o Suècia (només ultrapassat pels Estats Units, el Canadà, Austràlia o el Japó, on se superen els 250 litres/habitant/dia). En canvi, tenim per sota un nombrós grup de països de consum moderat, on es gasten entre 130 i 180 L/h./d, format per França, Àustria, Dinamarca, Noruega, Holanda, Anglaterra, Suïssa o Irlanda, entre d'altres. I encara hi ha un grup de països pioners, amb consums molt

17. OCDE, *Household water pricing in OECD countries*, p. 10, 31 i 54.

18. OCDE, *Household water pricing in OECD countries*, p. 38 i 41.

baixos, entre 100 i 130 L/h./d, format per Alemanya, Bèlgica, Portugal, Hongria i la República Txeca.¹⁹

Tendències i situacions contradictòries

A l'interior de Catalunya trobem situacions molt contrastades, que van des de nivells comparables al sobreconsum nord-americà a zones d'urbanisme dispers de la segona corona metropolitana, o a certes comarques de Girona, Tarragona i Lleida, on també proliferen els habitatges unifamiliars amb jardí privat, fins als baixos consums d'entre 100 i 130 L/h./d enregistrats a les poblacions de classe treballadora de la primera corona metropolitana de Barcelona, o en barris similars d'altres ciutats catalanes.

Des del 1990 el consum domèstic facturat a la ciutat de Barcelona ha oscil·lat al voltant de 133 L/h./d de mitjana, i el 2003 s'han enregistrat 128 L/h./d. Si hi afegim els comercials i industrials, i la despesa municipal d'aigua, els consums urbans totals han estat de 211 L/h./d de

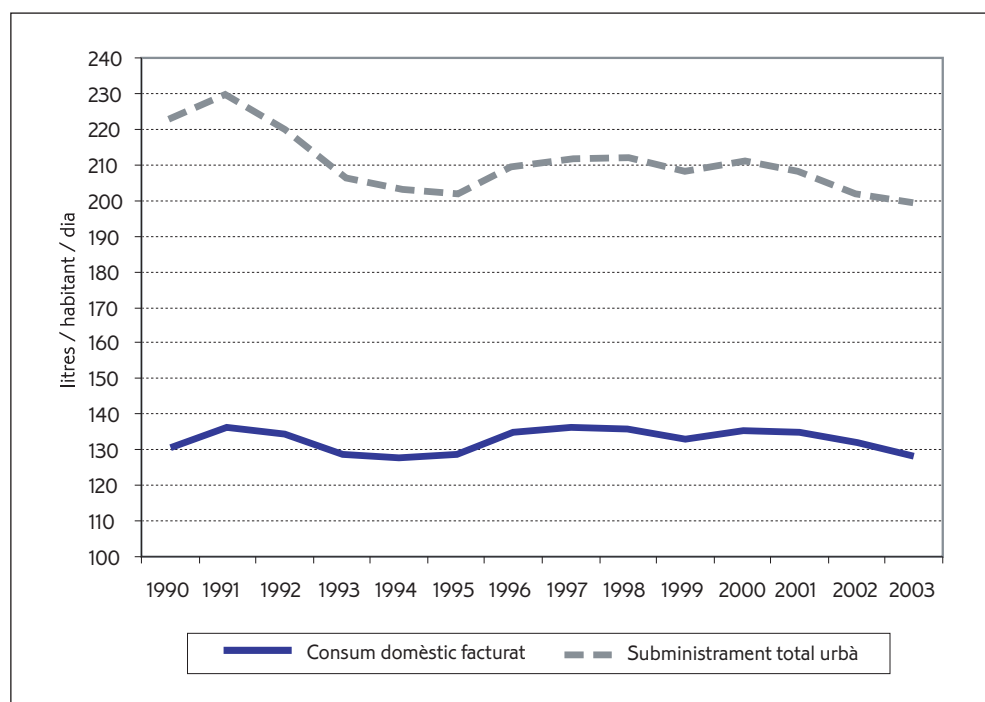


FIGURA 10. Consum domèstic d'aigua a la ciutat de Barcelona, 1990-2003.

FONT: Elaboració pròpia a partir de l'*Anuari estadístic de la ciutat de Barcelona* (<http://www.bcn.es>).

19. OCDE, *Household water pricing in OECD countries*, p. 14-17.

mitjana els últims catorze anys, i de 198 L/h./d en el darrer any (figura 10). Aigües de Barcelona reconeix una diferència entre l'aigua impulsada a la seva xarxa de subministrament i la que efectivament ha facturat de l'ordre del 30 % o el 33 %, on uns 10 hm³ anuals serien pèrdues físiques i uns altres 27 hm³ consums no facturats o subestimats (figura 3). Aplicant aquest coeficient de pèrdues, la *dotació total* —és a dir, el subministrament en alta que cal garantir en el proveïment— rondaria els 262 L/h./d, i la *dotació domèstica* uns 165 L/h./d.

Aquestes xifres contrasten amb les dotacions que l'Agència Catalana de l'Aigua estima com a necessàries per a garantir el subministrament al conjunt de les conques internes de Catalunya al seu darrer informe referit a l'any 1999, on només a l'àrea del Besòs i el Baix Llobregat es considera que n'hi pot haver prou amb 308 i 328 L/h./d respectivament. Per a la resta de

TAULA 1

Dotacions urbanes totals considerades necessàries per l'Agència Catalana de l'Aigua per a garantir el subministrament a les conques internes de Catalunya

| <i>Conques</i> | <i>Habitants 1999</i> | <i>Dotació domèstica hm³/any</i> | <i>Dotació domèstica L/h./dia</i> | <i>Dotació total urbana L/h./dia</i> |
|--------------------|---------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------|
| Muga-Fluvià | 185.655 | 21,4 | 315,8 | 428,3 |
| Alt Ter | 138.484 | 11,3 | 223,6 | 457,6 |
| Baix Ter | 323.764 | 27,9 | 236,1 | 371,6 |
| Tordera | 298.710 | 28,6 | 262,3 | 468,3 |
| Besòs | 1.302.136 | 109,3 | 230,0 | 308,0 |
| Alt Llobregat | 199.254 | 19,1 | 262,6 | 376,5 |
| Baix Llobregat | 2.868.502 | 245,8 | 234,8 | 327,8 |
| Foix-Gaià-Francolí | 631.367 | 51,6 | 223,9 | 432,1 |
| Baix Ebre-Montsià | 36.855 | 3,7 | 275,1 | 486,6 |
| <i>Total</i> | <i>5.984.727</i> | <i>518,7</i> | <i>237,5</i> | <i>352,6</i> |

FONT: Agència Catalana de l'Aigua (2002), *Estudi de caracterització i prospectiva de les demandes d'aigua a les conques internes de Catalunya i les conques catalanes de l'Ebre*, Barcelona, Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient, p. 7 i 9.

conques s'avaluen dotacions urbanes totals situades entre els 372 L/h./d del Baix Ter fins als 487 que s'estimen com a necessaris pel Baix Montsià (taula 1).

Hom hauria de preguntar-se per què, si actualment a Barcelona n'hi ha prou amb 128 litres domèstics per persona i dia, i amb 262 litres diaris per a garantir tots els consums incloses les pèrdues de la xarxa, cal suposar que a la Tordera sempre caldrà garantir 468 L/h./d per a satisfer les mateixes necessitats, 458 L/h./d a l'Alt Ter, 487 L/h./d al Montsià i el Baix Ebre, i així successivament. *El resultat agregat d'aquestes diferències importa*, i molt. Una convergència a 230 L/h./d de totes les dotacions a les conques internes catalanes podria alliberar anualment fins a 75 hm³ d'aigua.

Hi ha molt per a estalviar

Un llindar de 230 L/h./d no seria en cap cas una situació extrema. Recordem que, segons els estudis de l'OCDE, els consums domèstics mitjans de països sencers com Alemanya rondaven, el 1997, entre 116 i 129 L/h./d, o a Bèlgica els 122 L/h./d.²⁰ El 1996 hi havia onze municipis de l'àrea metropolitana de Barcelona amb 114 L/h./d de consum domèstic mitjà (taula 2).

TAULA 2
Consum domèstic facturat d'aigua a 29 municipis de l'àrea metropolitana de Barcelona (1996)

| Municipis | Consum domèstic d'aigua (1996) L/h./d | % població de l'àrea | % consum d'aigua a l'àrea | Renda familiar / habitant (1995) ptes. × 10 ⁶ |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------|
| Badalona, Badia, Cornellà, l'Hospitalet, el Prat de Llobregat, Ripollet, Sant Adrià, Sant Boi, Santa Coloma de Gramenet, Viladecans. | 114,2 | 33,6 | 29,9 | 1,25 |
| Begues, Castellbisbal, Cerdanyola, Esplugues, Gavà, Molins, Montcada, Montgat, Pallejà, Sant Climent, Sant Feliu, Sant Joan Despí, Sant Vicenç dels Horts, Santa Coloma de Cervelló, Torrelles. | 132,3 | 10,6 | 10,9 | 1,25-1,75 |
| Barcelona i Castelldefels. | 136,1 | 55,1 | 58,3 | 1,75-2,0 |
| Sant Just Desvern i Tiana. | 178,1 | 0,7 | 0,9 | > 2,0 s |
| Correlació entre el consum domèstic d'aigua i la renda familiar disponible per habitant als vint-i-nou municipis de l'EMSHTR: $R^2 = 0,5271$. | | | | |

FONT: Elaboració pròpia a partir de Montserrat Martínez, a J. Esquerrà, E. Oltra, J. Roca i E. Tello (coord.), *La fiscalitat ambiental a l'àmbit urbà...*, p. 76.

Aquestes realitats contrasten fortament amb les que es troben a moltes comarques de la segona corona metropolitana, com, per exemple, el Baix Maresme on, tanmateix, també es poden constatar diferències notables en el consum domèstic d'aigua segons la tipologia urbana (taula 3).

Tots aquests contrastos palesen l'existència d'importants potencials d'estalvi i millora de l'eficiència que uns incentius econòmics i culturals adients poden ajudar a mobilitzar. No s'hauria de menystenir, per tant, el paper d'unes tarifes progressives i transparents emprades com a eina, entre altres, per a gestionar les demandes d'aigua. Poden ajudar d'una manera apreciable a garantir el subministrament de les conques internes de Catalunya, en quantitat i qualitat, sense haver de recórrer a costosos i conflictius transvasaments de l'exterior.

20. OCDE, *Household water pricing in OECD countries*, p. 15.

TAULA 3

Relació entre els consums domèstics d'aigua i el tipus de model urbà als municipis del Baix Maresme

| Municipis | Consum domèstic facturat d'aigua L/h./d (1999) | Consum domèstic facturat d'aigua ajustat a la proporció de segones residències L/h./d (1999) | Densitat urbana: habitants per hectàrea de sòl urbà (1998) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Alella | 245,8 | 227,5 | 30,1 |
| Cabrera de Mar | 415,4 | 346,5 | 19,9 |
| Cabrils | 459,7 | 379,5 | 14,7 |
| El Masnou | 259,7 | 237,7 | 126,7 |
| Premià de Dalt | 282,3 | 254,4 | 46,5 |
| Premià de Mar | 164,3 | 151,0 | 163,2 |
| Teià | 221,7 | 205,9 | 37,3 |
| Vilassar de Dalt | 245,1 | 235,7 | 47,7 |
| Baix Maresme ¹ | 243,8 | 221,0 | — |
| Correlació amb el consum d'aigua domèstica facturada: ($R^2 = 0,6437$) | | | |
| Correlació amb el consum d'aigua domèstica facturada, ajustada a la proporció de segones residències: ($R^2 = 0,6567$) | | | |

1. Mitjana ponderada dels vuit municipis amb dades.

FONT: E. Tello (2000), *La dinàmica socioecològica del Baix Maresme als anys noranta: l'onada residencial i els seus impactes ambientals i socials*, Barcelona.

Però són les persones les que compten

Però un cop més l'eficàcia d'aquest instrument, que consisteix a augmentar els preus marginals associats als consums cada cop més allunyats del mínim vital, depèn que el missatge que es transmet sigui congruent, entès, i socialment acceptat. La «guerra de l'aigua» a l'àrea metropolitana de Barcelona, i qualsevol anàlisi comparativa amb altres parts del món, ens ensenya que això no serà possible del tot mentre les quotes fixes de servei no es reconverteixin a mínims de facturació, que únicament recaiguin sobre les segones residències, i mentre el sistema de blocs progressius no es calculi tenint en compte el nombre de residents en un mateix habitatge.

Perquè, al cap i a la fi, són les persones individuals, no les institucions familiars o qualsevol altra forma de convivència domèstica, qui pot realment adoptar hàbits o decidir d'emprar sistemes que requereixin menys aigua pel mateix servei. Qualsevol incentiu econòmic coherent amb el principi PPP adreçat a les unitats domèstiques a través de les tarifes d'aigua ha de tenir en compte *quantes persones conviuen en una mateixa unitat*. Si això no es fa, qualsevol mesura que afavoreixi les famílies nombroses agreujarà la situació de les persones que viuen soles o les llars monoparentals, i viceversa.

Una proposta final

Comptat i debatut, la «guerra de l'aigua» a Barcelona ens ha ensenyat algunes coses importants per a escometre la tasca pendent de modificar, a tot Catalunya, les tarifes d'aigua:

1. No serà possible avançar cap a preus tarifats i impostos ecològics incentivadors de l'eficiència si no són *transparentes, discutits, entesos i negociats* amb col·lectius ciutadans que fiscalitzin la regulació pública.

2. Per al canvi socioambiental cap a formes més sostenibles de desenvolupament *la progressivitat i la diferenciació de comportaments són més importants que el mer encariment del recurs*. L'eficàcia dels incentius també depèn del sentit de la justícia, no únicament del càlcul econòmic cost-benefici.

3. Quan es tracta de béns de primera necessitat, com l'aigua, cal conjugar l'*equitat* en l'accés a consums bàsics, l'*eficiència* en els usos intermedis susceptibles de millora tècnica, i una *suficiència* penalitzadora dels sobreconsums insolidaris. El criteri ètic ha de ser *incentivar el consum responsable dins un espai ambiental sostenible*.

4. Per a fer-ho possible la *progressivitat* de les tarifes dels serveis bàsics públicament regulats (aigua, electricitat, gas) ha de respondre al principi d'*espai ambiental sostenible* (figura 9).

5. Unes tarifes justes i incentivadores de l'estalvi han de calcular-se segons les persones a cada llar, com ja s'ha començat a fer a la regió de Flandes.

6. Les quotes fixes independents del consum han de ser absorbibles, i s'han de reconvertir en una facturació mínima que doni dret a un cert consum (inferior, en qualsevol cas, al mínim vital d'una persona), de manera que recaiguin només sobre segones residències o unitats domèstiques de molt baixa ocupació.

7. Per a fer tot això ens cal probablement una nova llei reguladora dels preus o les tarifes dels serveis públics bàsics com l'aigua —i, per què no, també el gas i l'electricitat—, o una reforma de l'existent, que estableixi el principi del càlcul dels blocs de consum segons el nombre de persones residents a cada habitatge, i que reguli la manera d'establir un cens amb la informació corresponent que garanteixi el dret a la privacitat de tothom.

Algunes problemàtiques de les aigües subterrànies a Catalunya

Xavier Sánchez-Vila i Jesús Carrera

Departament d'Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica
ETS d'Enginyers de Camins, Canals i Ports, Universitat Politècnica de Catalunya

Resum

Es comenten diferents problemàtiques associades a les aigües subterrànies, que s'il·lustren amb el cas de Catalunya. Al llarg d'aquest article es comenten tant aspectes quantitius com qualitius. Es considera inicialment el balanç global d'aigua, tot distingint les zones de recàrrega natural d'aquelles afectades per l'acció antròpica. D'aquesta segona, se separen com a singulars les zones agrícoles i els aqüífers urbans, on es mostra que es produeix una recàrrega molt superior a la natural. Això fa que els aqüífers urbans es puguin considerar com un recurs hídric notable. En aquest context s'enumeren les diferents alternatives d'augment de l'oferta (amb recursos convencionals i no convencionals) i/o reducció de la demanda, davant la solució de transferències d'aigua. La utilització potencial d'aigües subterrànies depèn en gran mesura dels aspectes de qualitat. Per aquesta raó, la major part de la ponència consisteix a indicar els mecanismes habituals de contaminació i com aquests són presents a Catalunya. La contaminació pot ser difusa (és a dir, repartida per una certa extensió de terreny; un exemple típic seria la contaminació per nitrats en zones agrícoles), lineal (per exemple, la salinització causada per intrusió marina) o puntual (contaminació per metalls pesats o organoclorats procedents de vessaments o abocadors). A Catalunya trobem exemples de tots tres tipus.

Abstract

A number of problems related to ground water are reviewed and they are illustrated with examples from Catalonia. Throughout the paper, both qualitative and quantitative aspects are discussed. The starting point is the global water balance, and here a distinction is made between the natural recharge areas and those affected by anthropic action. As for this second type, special considerations are made regarding cropped areas, and urban aquifers, where it has been observed that recharge easily exceeds natural values. Therefore, urban aquifers should be considered as a significant water resource. Using the concept of water budget, some alternatives to increase the supply (by means of conventional or

unconventional resources) and/or to decrease the demand are presented. The potential use of ground water as a resource depends on its quality. For this reason most of the paper is devoted to explaining the most typical ground water contamination mechanisms. Contamination can be diffuse (that means it is extended over a large area, such as nitrate pollution due to agricultural practices), linear (for example, salinization caused by seawater intrusion) or limited (pollution by heavy metals or organochlorines from spills or dumps). In Catalonia we find these three types of pollution.

Introducció

Les aigües subterrànies conformen un recurs bàsic per a l'abastament de les necessitats humanes. Aquestes necessitats corresponen a aigua de boca, però també a usos agrícoles, ramaders, industrials, cabals ecològics i activitats de lleure. Per això el tractament de l'aigua com a *recurs fonamental* és absolutament escaient. I és precisament per aquesta característica de *fonamental* que l'aigua s'ha convertit també en una eina política de confrontació en diferents indrets del món, i Catalunya no és una excepció.

L'aigua subterrània té unes característiques singulars clarament diferenciades de les aigües superficials. Els volums (recursos) són molt més grans; les velocitats de moviment, més lentes; el temps de renovació, molt més llarg, i les característiques químiques, més constants. D'altra banda, és una aigua no disponible en superfície i que ha d'ésser extreta del terreny mitjançant pous, amb un cert cost.

Les aigües subterrànies haurien de ser presents en tota decisió de les autoritats on hi hagi involucrats els recursos hídrics, convencionals o no convencionals. Per aquesta raó és fonamental conèixer-ne les disponibilitats reals, així com algunes de les problemàtiques associades a les aigües subterrànies a Catalunya. La ponència es planteja en tres parts: a la primera es presenta d'una manera simple el concepte de *balanç d'aigua* a les zones de màxima necessitat de recursos hídrics, com poden ser les zones agrícoles i les urbanes. Es comprova com aquestes són precisament les zones on es produeixen els canvis més significatius respecte a les condicions naturals i que són deguts a efectes antròpics. A la segona part de l'article es presenten les problemàtiques relacionades amb les aigües subterrànies a Catalunya, amb alguns exemples il·lustratius. Dins aquestes problemàtiques es tracten els problemes de contaminació, la singularitat dels aqüífers urbans i els efectes potencials de les grans obres d'infraestructura hidràulica. A la darrera part de la ponència es donen algunes idees bàsiques sobre planificació hidrològica, plantejades precisament des del punt de vista de la lògica, insistint en els conceptes de *racionalització*, *gestió integrada* i *nova cultura de l'aigua*, aspectes que no són l'objectiu directe d'aquest treball, atès que són tractats amb més detall en altres articles d'aquesta mateixa publicació.

El balanç d'aigua subterrània en zones antropitzades

La precipitació mitjana a Catalunya, si exceptuem la zona pirenaica, és al voltant del 600 mm (o L/m²). Part d'aquesta precipitació torna a l'atmosfera per la combinació d'evaporació i transpiració que fan les plantes (la combinació, se la coneix com a evapotranspiració o ET). L'ET potencial (ETP) és bastant superior a la precipitació total en un clima com el nostre, però com que aquesta és mínima als mesos de major precipitació, l'ET real (ETR) és inferior. Un valor mitjà d'ETR és de prop de 400 mm. Al voltant de la meitat del romanent esdevé escolament superficial. La resta acaba arribant al subsòl i constitueix la part fonamental de la recàrrega als aqüífers. Per continuïtat, aquests dos escolaments acabaran, a la llarga, arribant al mar. La gran diferència és que mentre que el primer hi arribarà en qüestió d'hores o dies, les aigües que circulen pel subsòl trigarán anys o segles a arribar-hi.

La recàrrega superficial esmentada, integrada a tota l'extensió d'un aqüífer, suposa el volum anual (en termes mitjans) que entra al sistema, una part de la qual seria el màxim cabal que es podria extreure de manera sostenible. El punt següent, per tant, és estudiar les necessitats en termes d'usos. A la taula 1 es presenten els usos totals d'aigua separats en les dues grans zones hidrogràfiques del nostre país.

De la taula 1 es comprova que, si bé a la Conca de l'Ebre els recursos disponibles són suficients per a abastir la demanda futura, a les conques internes els usos futurs previstos superen els recursos actuals, de manera que serà necessari augmentar-los per a poder garantir les necessitats previstes. Aquest augment es xifra en prop de 600 hm³/any.

TAULA 1

Usos d'aigua presents i futurs a Catalunya (Prat, 2000, segons el Pla Hidrològic de les Conques Internes de Catalunya i el Pla Hidrològic de la Conca de l'Ebre. Dades en hm³/any)

| | <i>Urbà</i> | <i>Industrial</i> | <i>Reg</i> | <i>Total</i> | <i>Recursos</i> |
|----------------------------------------|-------------|-------------------|------------|--------------|-----------------|
| <i>Conques internes</i> | | | | | |
| Actual | 625 | 305 | 371 | 1.301 | 1.587 |
| Futur | 885 | 414 | 494 | 1.793 | 2.134 |
| <i>Conca de l'Ebre (part catalana)</i> | | | | | |
| Actual | 43 | 66 | 2.151 | 2.260 | 4.712 |
| Futur | 44 | 66 | 2.863 | 2.973 | 4.712 |

Enfront d'aquestes necessitats es fa força evident que no pot ser suficient disposar d'una única font (per exemple, aigües superficials o subterrànies) i que serà necessari fer una política d'aprofitament i gestió conjunta de tots els recursos.

Un altre punt singular és la distribució espacial dels recursos d'aigua, que té poc a veure amb la distribució de la demanda. Aquesta demanda es concentra a les zones agrícoles i a les zones urbanes. És precisament en aquestes zones on es produeix una variació més significati-

va de la recàrrega subterrània que, en alguns casos, pot compensar part d'aquesta demanda puntual.

Concretament a les zones agrícoles els excedents de reg poden produir una recàrrega al sistema molt superior a la natural. Aquesta recàrrega provoca un procés de contaminació important ja que la percolació de l'aigua fa que s'arrossegui una part dels elements químics que constitueixen els adobs. Veurem que a Catalunya aquest procés està força distribuït espacialment.

Un cas molt més significatiu per la seva importància és el dels aqüífers urbans. En aquest cas la font més important de recàrrega deixa de ser la pluja. Segons Batlle (2002) la recàrrega produïda per pèrdues a la xarxa d'abastament es pot xifrar en una mitjana de 41 L/h./dia. Això suposa que en qualsevol nucli de població on se superi una densitat de 50 h./ha la recàrrega és superior a la natural. A més, la resta d'aigua subministrada (150-200 L/h./dia) més tota la pluja es recull pel sistema de clavegueram, que també té pèrdues, que es podrien xifrar en un 50 % de les corresponents a subministrament. Amb tot això es pot comprovar com les grans conurbacions són zones amb un recurs potencial al subsòl no explotat. Sobre la importància d'això, hi incidirem més endavant. Pensem, a més, que als nuclis urbans hi ha un segon excedent encara més important en termes volumètrics, com serien les aigües residuals, que un cop tractades podrien ser aprofitades, amb la qual cosa aconseguiríem reduir la necessitat d'aigües aportades o transferides des de l'exterior.

Com a exemple de quantificació d'un balanç d'aigües subterrànies en un nucli urbà, a la figura 1 es presenta el cas de Badalona. Es pot comprovar com el terme fonamental d'entrada és el de pèrdues des de les xarxes (inclou un percentatge de la pluja recollida i canalitzada per la xarxa de clavegueram). El terme més important de descàrrega són les extraccions (fonamentalment, evacuació de l'aigua recollida en edificis i infraestructures subterrànies repartides per tota la ciutat).

Algunes problemàtiques relacionades amb les aigües subterrànies a Catalunya

Un cop adreçats els aspectes quantitius en termes de balanç, en aquest capítol es comenten algunes de les problemàtiques relacionades amb l'ús o la manca d'ús de les aigües subterrànies a Catalunya.

Contaminació de les aigües subterrànies

Les aigües subterrànies poden ser contaminades per diferents motius relacionats amb l'activitat antròpica. Distingirem tres casos segons si aquesta contaminació té un abast areal, lineal o puntual.

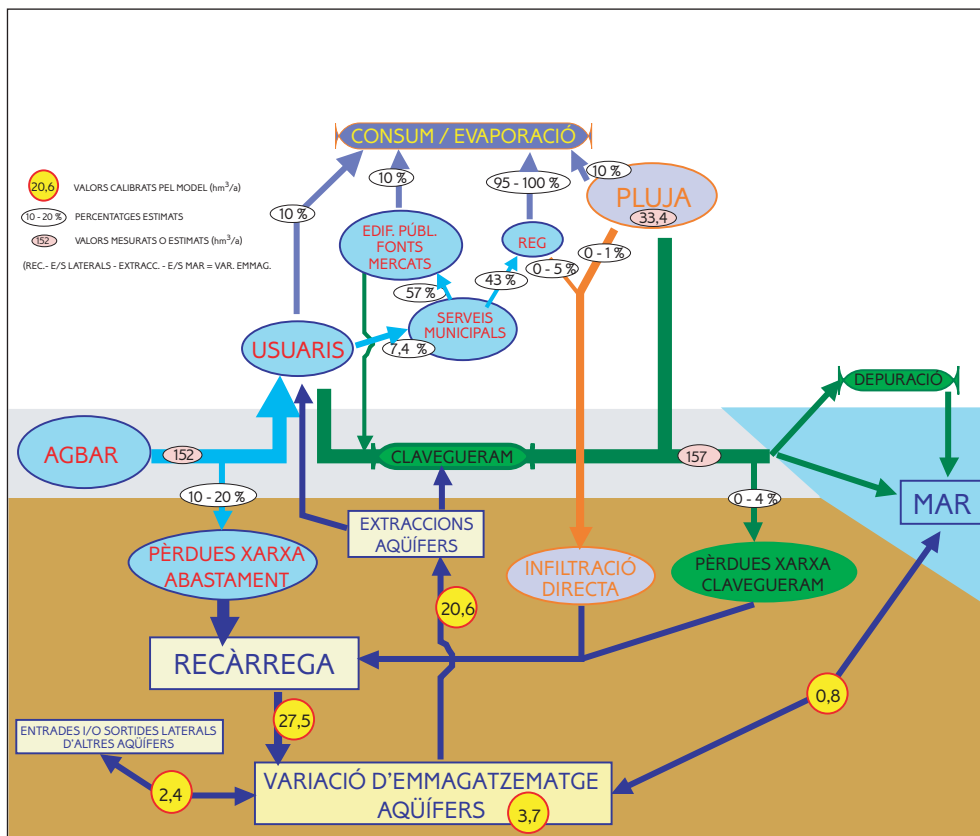


FIGURA 1. Balanç d'aigua subterrània a la ciutat de Badalona (Vázquez-Suñé, 2003). Les unitats són hm^3/any (valors en groc i rosa) o percentatge (en blanc).

Contaminació per àrea (o difusa)

Aquest tipus de contaminació va normalment lligada a una activitat agrícola. Per aquest motiu trobem una aigua carregada de nitrats i fosfats entre d'altres components. Una manera de saber l'extensió del problema és definir una xarxa de mesura de nitrats com aquella de què disposa l'Agència Catalana de l'Aigua. A la taula 2 podem veure un resum de les dades, on es manifesta com el problema és de caràcter general i no només d'una o dues comarques. En aquesta taula es presenten el valor màxim i la mediana de les mesures de contingut de nitrats preses l'any 2002. Atès que el valor de referència per aigua potable és de $[\text{NO}_3^-] = 50 \text{ mg/L}$, a la mateixa taula es presenta el nombre de mostres que superen aquest valor.

TAULA 2
*Dades corresponents a la xarxa de control de nitrats a les aigües subterrànies
 (Agència Catalana de l'Aigua, 2002)*

| | Mediana (mg/L) | Màxim (mg/L) | % mostres > 50 mg/L |
|------------------------------------------------|-------------------|-----------------|------------------------|
| Alt i Baix Empordà, Gironès, pla de l'Estany | 34 | 231 | 39 |
| Maresme | 72 | 603 | 67 |
| Osona | 40 | 301 | 45 |
| Alt Camp, Baix Camp, Tarragonès | 36 | 145 | 38 |
| Baix Penedès | 31 | 161 | 28 |
| Noguera, pla d'Urgell, Segarra, Segrià, Urgell | 45 | 294 | 47 |

Es pot comprovar com la zona més problemàtica correspon al Maresme. A més, no es tracta d'un problema concentrat, sinó que es troba distribuït al llarg de tota la comarca, com podem veure a la figura 2. Això és una mostra clara que es tracta d'un exemple de contaminació difusa lligat a les activitats agrícoles.

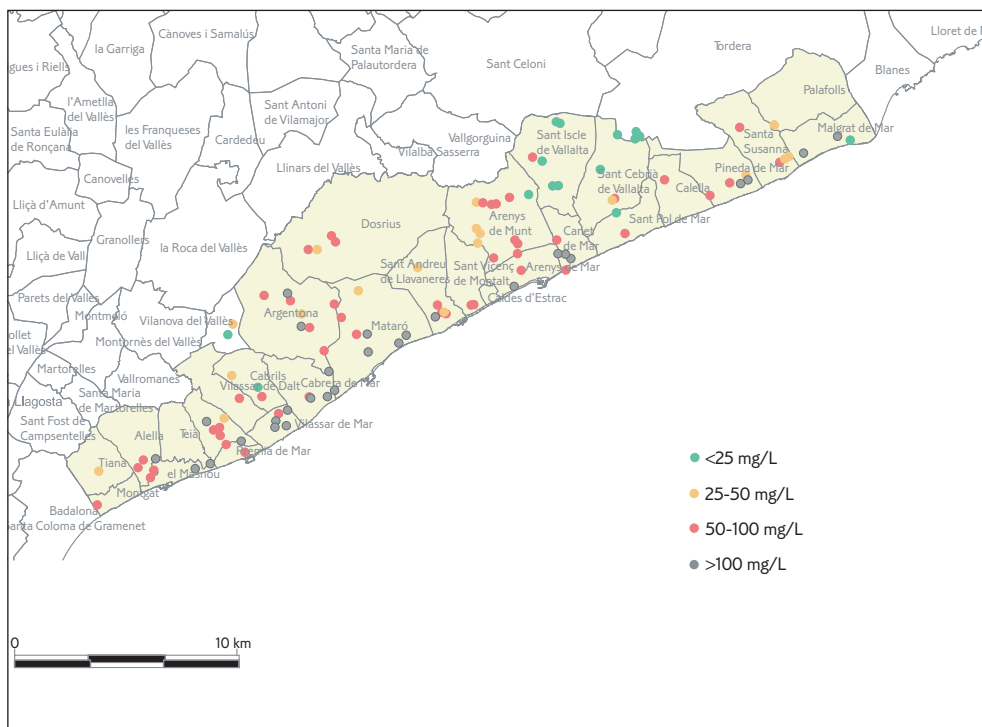


FIGURA 2. Concentració de nitrats als punts de control de la comarca del Maresme. Veiem que els punts que superen el valor de referència de 50 mg/L (fins al 67 % del total) estan distribuïts per tota la comarca.

Contaminació lineal

Es tracta d'una contaminació que es produeix al llarg d'una gran longitud. Un exemple típic és la contaminació deguda a un riu de caràcter influent (és a dir, que recarrega l'aqüífer) i que estigui força contaminat. De totes maneres no és freqüent, perquè l'aigua recarregada és, en general, de qualitat superior a la del propi riu per l'efecte filtrant de la llera.

A Catalunya el cas de contaminació lineal més freqüent és el de la intrusió marina a causa dels bombaments propers a la línia de costa. Un dels exemples històrics més estudiats en l'àmbit mundial és el cas del delta del riu Llobregat. A la figura 3 es mostra la situació dels aqüífers del delta del Llobregat (superficial, principal i única) prèvia a la gran explotació que va començar al principi del segle xx. Fa més d'un segle el flux natural era en direcció al mar a tots dos aqüífers. A més, l'aqüífer principal era artesià. Aquesta característica artesiana, la bona qualitat i la gran transmissivitat va provocar una forta extracció a l'aqüífer principal, que va pertorbar la situació natural. L'efecte es veu a la figura (dreta), on s'aprecia com la situació ha canviat molt i es manifesta com una intrusió força important d'aigua del mar, que provoca una forta salinització de les aigües subterrànies a la zona costanera.

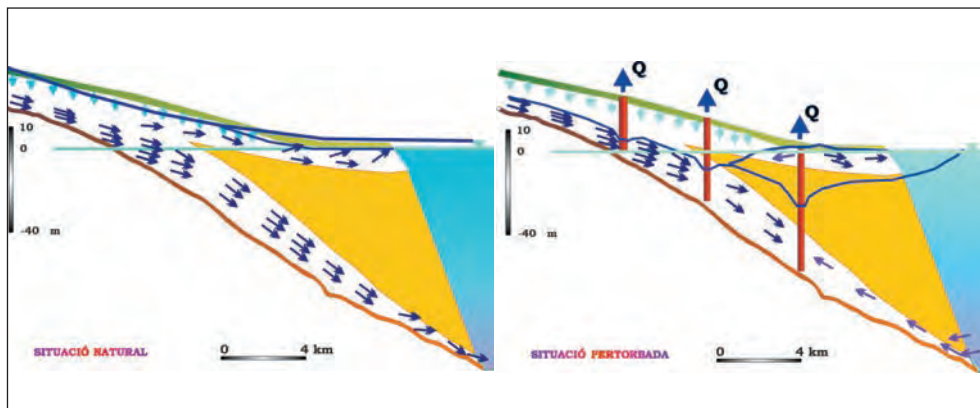


FIGURA 3. Talls transversals que mostren la situació natural dels aqüífers del delta del Llobregat i la situació un cop pertorbada per les grans extraccions a l'aqüífer principal del Delta.

L'efecte de la intrusió no és estacionari en el temps, sinó que manifesta una tendència a anar avançant, com es posa de manifest a la figura 4. Aquest és un dels aspectes singulars d'aquest tipus de contaminació, els efectes del qual es manifesten molt endarrerits respecte a les accions que els causen. La rehabilitació també és un procés lent i es pot dur a terme per una reducció de les extraccions (per exemple, el delta del Besòs) o mitjançant recàrrega artificial.

Problemes d'intrusió similars als del Llobregat, provocats per una explotació excessiva, també es troben al delta de la Tordera.

Contaminació puntual

A Catalunya s'han recollit casos de contaminació puntual a tretze unitats hidrogeològiques (vegeu la figura 5). S'han detectat episodis de contaminació per BTEX (derivats de la benzina), compostos organoclorats volàtils (VOC), detergents, metalls i pesticides. El possible remei ha de ser puntual i cas per cas.

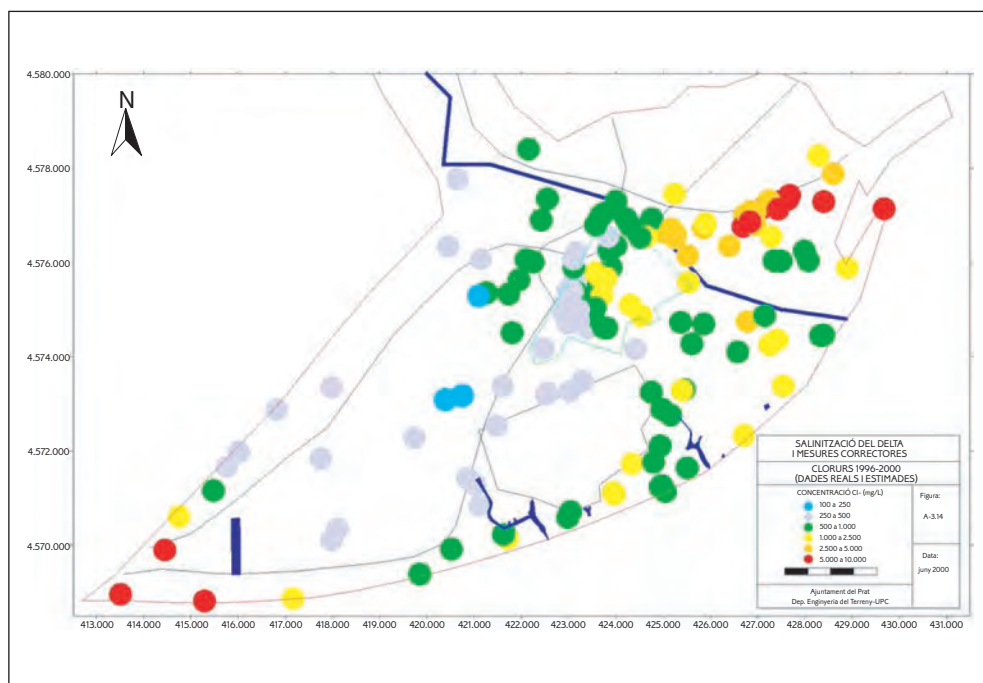


FIGURA 4. Evolució de les concentracions de clorurs (mg/L) a l'aquífer principal del delta del Llobregat al període 1996-2000 (E. Vázquez-Suñé, inèdit).

Un exemple de contaminació per benzina va ser el que es va produir a la vall baixa del Llobregat a causa d'un atemptat a un oleoducte l'any 1991, amb un plomall que es va estendre quasibé un quilòmetre abans de ser detectat. La rehabilitació va consistir en la neteja de la font per un cantó i la del plomall mitjançant el bombament des de pous existents amb abocament al riu de l'aigua estreta.

Un altre exemple de contaminació amb derivats de la benzina es va produir a la Batllòria (Vallès), on es va produir un abocament pel trencament d'una vàlvula en una benzinera. En aquest cas es tractava d'abocament petit i fàcil de controlar que també es va netejar mitjançant l'extracció d'aigua per bombament, que es va tractar i es va abocar en una riera propera. Tant

en aquest cas com en l'anterior és necessari disposar d'un gran nombre de piezòmetres de control que permetin definir l'extensió del problema i analitzar-ne l'evolució temporal.

Altres casos singulars de contaminació puntual es troben al Camp de Tarragona, on hi ha nombrosos exemples de contaminació per dissolvents industrials a causa de la presència de polígons industrials, o al Vallès, amb força casos de contaminació per orgànics als al·luvials de diferents afluent del Besòs (Tenes, riera de Caldes, Ripoll).

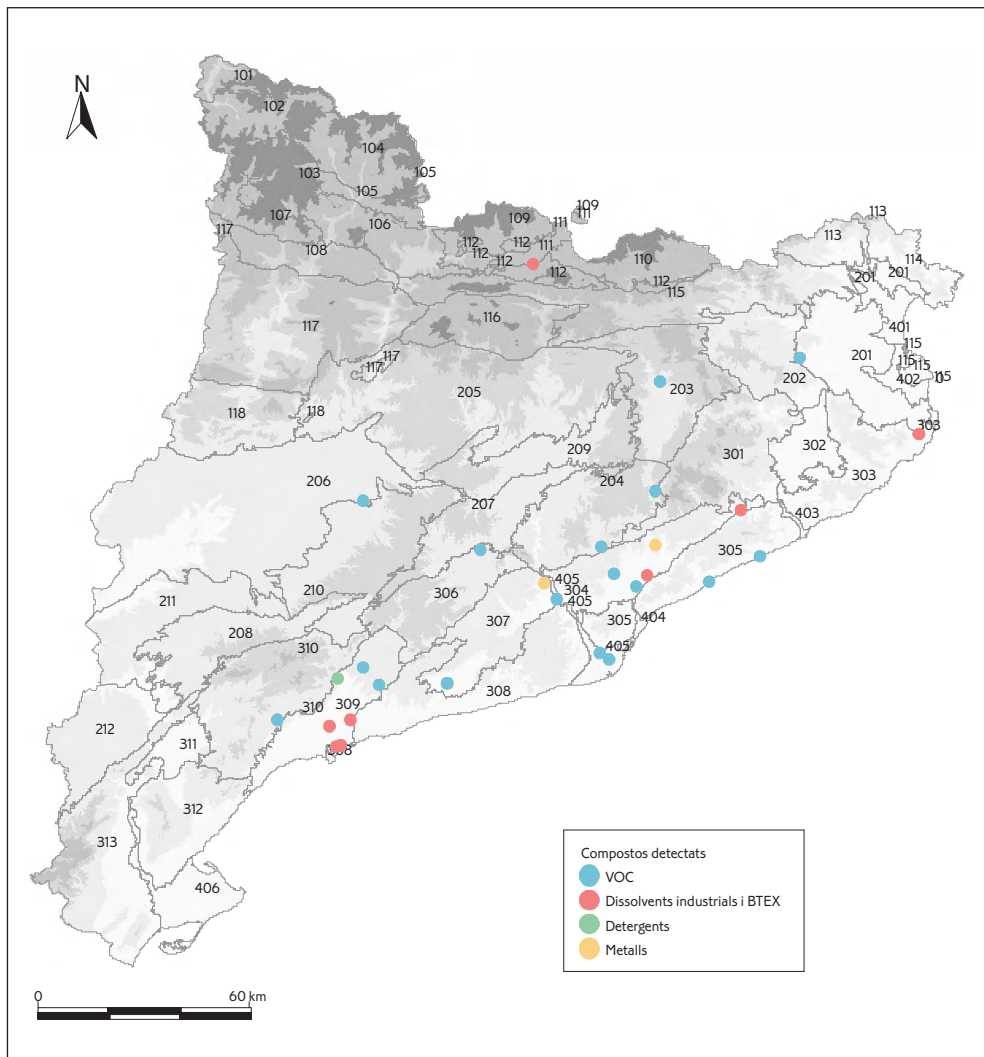


FIGURA 5. Casos registrats d'episodis de contaminació puntual. Els números corresponen als codis de les unitats hidrogeològiques.

FONT: ACA.

Aqüífers urbans

El problema fonamental de l'aigua subterrània als nuclis urbans és la possible interacció amb els elements subterranis, com aparcaments o infraestructures de transport (túnels de carretera o de ferrocarril i xarxa de metro). Com s'ha vist al capítol anterior, la recàrrega al sistema fàcilment supera la corresponent a un sistema natural. D'aquesta manera si no es fa una extracció important d'aigua dels aqüífers és fàcil que els nivells tinguin tendència a augmentar amb el temps i a arribar a valors superiors als naturals.

Històricament les grans ciutats catalanes han estat lligades a un fort desenvolupament industrial. Aquesta indústria en general tenia uns pous per a fer front a les necessitats que tenia d'aigua per a processos industrials o refrigeració. A Barcelona, per exemple, aquesta extracció era molt superior a la recàrrega, de manera que es va produir una forta depressió dels nivells freàtics de fins a quinze metres en alguns punts (adicionalment això va provocar una forta intrusió marina a l'aqüífer del delta del Besòs). Un cop la indústria comença a sortir de les ciutats per la pressió urbanística, la forta extracció cessa i el balanç hídric s'inverteix, es produeix un excés de recàrrega al sistema i, conseqüentment, una recuperació de nivells. És llavors quan el nivell freàtic intercepta algunes de les obres que hi ha a la ciutat i comencen els problemes de filtració (vegeu la figura 6 pel cas de Barcelona).

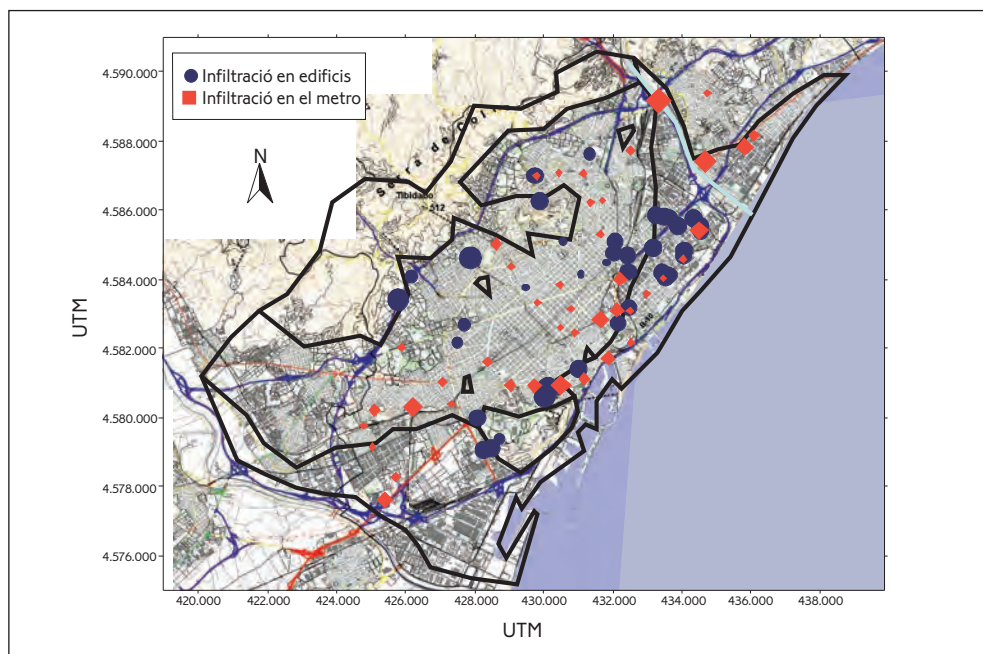


FIGURA 6. Punts a la ciutat de Barcelona on s'han detectat problemes per infiltració d'aigües freàtiques en edificis (blau) o a la xarxa de metro (vermell) (Vázquez-Suñé, 2003).

Es podria assolir l'equilibri si tornés a produir-se una extracció al sistema. Pensem que aquesta aigua podria ser utilitzada per a diversos usos i, d'aquesta manera, es reduiria la pressió sobre la necessitat d'importar recursos externs. És important, llavors, caracteritzar la qualitat d'una aigua urbana. Aquesta qualitat està lligada a la font que produeix la recàrrega. L'aigua subterrània que trobem en qualsevol punt d'una ciutat és una mescla d'aigua de molt diverses procedències (en proporcions més o menys importants segons la localització del punt a la ciutat). En el cas de Barcelona, per exemple, aquestes fonts són: l'aigua recarregada a Collserola, aigua infiltrada del riu Besòs, pèrdues de la xarxa de subministrament (amb dues qualitats ben diferents segons si l'aigua procedeix inicialment del Ter o del Llobregat), pèrdues de la xarxa de clavegueram (també amb dues procedències que en determinen la qualitat), aigua d'escolament superficial (pluja que renta els carrers) i el mar.

Com veiem, en moltes d'aquestes fonts l'aigua és de bona qualitat, de manera que l'aigua en zones urbanes podrà ser apta per a molts usos i, fins i tot, amb un cert tractament, podria arribar a potabilitzar-se.

Grans obres hidràuliques

Les grans obres hidràuliques tenen una repercussió molt important sobre els recursos hídrics, però també sobre aspectes socioeconòmics i paisatgístics.

Una primera gran obra que cal comentar seria el minitransvasament de l'Ebre que abasteix les comarques de Tarragona. L'efecte net és que els consumidors han tingut accés a una aigua de bona qualitat i a bon preu, de manera que s'ha reduït notablement l'explotació dels aquífers. Un exemple característic ha estat el Camp de Tarragona, que havia arribat a ser declarat com a sobreexplotat. Després del transvasament s'ha constatat una important recuperació dels nivells piezomètrics, cosa que també ha tingut un efecte notable sobre la reducció de la intrusió marina.

Però és evident que aquestes grans obres no poden ser vistes només des d'un dels agents implicats, sinó que s'ha de considerar tot el conjunt. Un cas clar és el del canal Segarra - les Garrigues i la posada en reg d'una gran extensió de terreny de conreu a les comarques de Lleida (vegeu la figura 7). En aquest cas les afeccions es poden classificar en diversos grups, un dels quals (però no el més important) són les afeccions sobre els recursos hídrics:

— *Afeccions a la flora, la fauna i el terra.* Múltiples espais PEIN es veuen afectats directament o indirectament.

— *Afeccions als recursos hídrics.* Es treuen uns 400 hm³/any (només la meitat del discutit transvasament de l'Ebre considerat a l'antic PHN); aquesta extracció provocarà un nou règim als rius, amb una reducció del volum de sòlids transportats i un augment de l'eutrofització. Un altre efecte addicional seria la contaminació dels aquífers, amb increment de les concentracions de nitrats i de salinització en general, ascens de nivells, etc.).

— *Afeccions al paisatge.* Afecta unes 72.000 ha d'un paisatge singular a Catalunya.

— *Afeccions a l'agricultura i a l'ordenació del territori.* Augment de la pressió sobre un recurs escàs. Creació de noves expectatives i possibles conflictes amb els regants del canal d'Urgell.

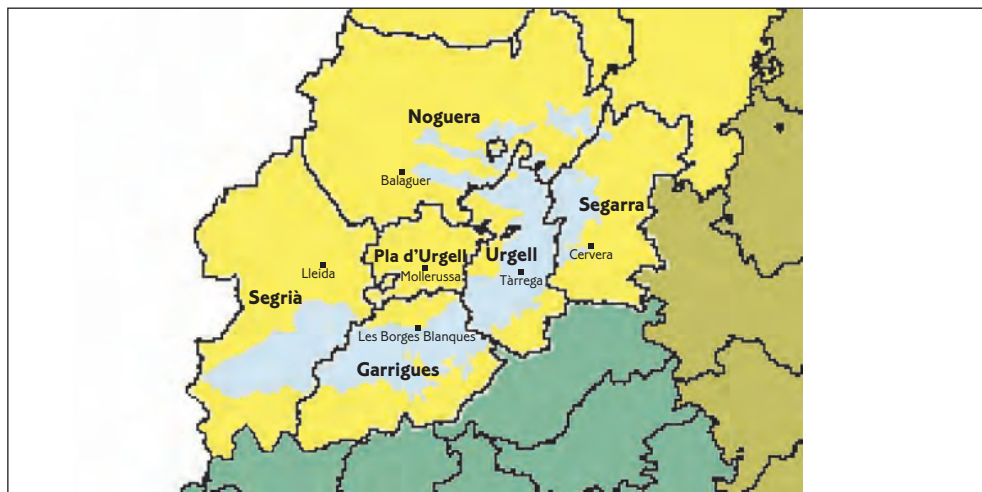


FIGURA 7. Xarxa de regadiu del canal Segarra - les Garrigues (en gris), que afecta grans extensions a un total de cinc comarques lleidatanes.

Alternatives, planificació hidrològica

L'aigua és un recurs escàs i, com a tal, susceptible de planificació i gestió. La perspectiva tradicional de la planificació dels recursos hídrics es basa a garantir una oferta d'aigua de qualitat adequada i en quantitat suficient per a satisfer la demanda a un preu assequible. Això fa necessària la intervenció de l'Administració pública, que inclou les grans infraestructures hidràuliques com a obres d'interès nacional i, per tant, finançades amb fons públics o amb subvencions a molt baix interès.

La teoria econòmica prediu que qualsevol bé a cost zero tindrà una demanda infinita. De la mateixa manera qualsevol política que no prengui en consideració tots els possibles recursos d'aigua i la correcta gestió és clarament insostenible. D'aquesta manera, durant els darrers anys ha aparegut el concepte de *nova cultura de l'aigua*.

Aquesta nova visió de la planificació hidràulica es basa en quatre grans conceptes:

— *Equitat.* Reconèixer totes les fonts d'aigua com a possibilitats d'antuvi. La correcta prioritització per a cada cas permet augmentar l'oferta quan sigui necessari i, en general, millorar la garantia de subministrament.

— *Eficiència.* Actuar sobre la demanda amb campanyes de sensibilització o amb una política tarifària permet reduir la pressió sobre els recursos disponibles, cosa que ajuda en la gestió del sistema.

— *Sostenibilitat*. Per a això és necessària una avaluació quantitativa dels recursos correcta, així com un estudi sobre els efectes que qualsevol política de gestió pot provocar en el sistema. Això només es pot aconseguir mitjançant l'elaboració de models matemàtics que integren tot el coneixement i tota la informació disponible. El concepte de *sostenibilitat* també passa per integrar la qualitat de les diferents fonts en la macrogestió, així com seguir l'evolució de la qualitat en el temps. Novament els models es fan indispensables per a poder avaluar l'impacte potencial de determinades accions en un cos d'aigua concret.

— *Subsidiarietat*. Passaria per involucrar tots els agents en la presa de decisions, de manera que fossin participatives.

Voldríem insistir en dos d'aquests aspectes per la singularitat que tenen i perquè els altres estan tractats en altres de les ponències incloses en aquesta publicació. El primer és el de la necessitat de considerar totes les possibles fonts d'aigua en qualsevol planificació hidràulica. Això inclou la possibilitat de fer nous embassaments i la interconnexió de xarxes mitjançant transferències (transvasaments), però també l'avaluació completa dels recursos ja existents (superficials i subterranis), tot incloent la reutilització d'aigües grises, la recàrrega artificial i la dessalació com a alternatives. El concepte de *gestió integrada* inclou considerar les necessitats d'aigua des de tots els possibles usos, incloent-hi l'energètic, l'ambiental i el de lleure a més dels habituals de subministrament, amb una certa prioritització (inclosa en la planificació i l'ordenació del territori) i amb una clara vocació de protecció de tots els recursos.

En aquest sentit una de les crítiques més importants que es pot fer al transvasament d'aigua des del riu Roine és precisament que desincentivaria el desplegament de polítiques de gestió integrada, i això aniria en detriment del desenvolupament tecnològic de la indústria del país (Carrera, 2000).

L'altre punt en què volem incidir és en la necessitat de disposar d'eines modernes per a la planificació i la correcta gestió dels recursos. Aquestes eines han de permetre quantificar els recursos i planificar les estratègies de gestió davant de diferents alternatives futures (escenaris). Un model matemàtic és el sistema de comptabilitat (d'aigua, de sals...) de les masses d'aigua. Com en tota empresa, una correcta gestió només pot dur-se a terme amb una eina de comptabilitat fiable per a identificar problemes, establir relacions causa-efecte i avaluar què pot passar en el futur. Però construir i mantenir models és difícil i requereix molta informació local.

Conclusions

Del treball presentat es poden extreure les conclusions següents:

— El balanç d'aigua natural es veu seriosament afectat pels aspectes antròpics, i això és d'especial rellevància tant en zones agrícoles com en aquells nuclis urbans amb una gran densitat de població.

— A les grans ciutats és possible disposar d'uns recursos d'aigua subterrània i d'aigua residual que poden reduir la pressió sobre els recursos convencionals com són les transferències d'aigua.

— Les problemàtiques lligades a l'aigua subterrània a Catalunya no són diferents de les d'indrets amb característiques climatològiques semblants a les nostres. En concret es poden agrupar en tres grans grups: el primer seria el de la contaminació, que pot anar lligada a l'agricultura i la ramaderia, a la intrusió marina per explotació intensa a la costa o a abocaments de caràcter puntual. El segon gran grup serien els impactes amb les infraestructures a les zones urbanes. El tercer serien els problemes lligats a les grans infraestructures hidràuliques. Tots aquests casos s'han acompanyat de casos reals.

— S'ha insistit, també, en la gran importància i en la necessitat de la planificació i la gestió integrada.

— Els balanços amb models numèrics són la millor eina per a conèixer les disponibilitats d'aigua, tant en l'aspecte quantitatiu com qualitatiu.

Referències bibliogràfiques

BATLLE, A. (2002). «Planes hidrológicos y programas de gestión de la demanda urbana». *Hidropres*, núm. 34, p. 18-22.

CARRERA, J. (2000). «Infraestructures i recursos. Ens cal l'aigua del Roine?». *Medi Ambient, Tecnologia i Cultura*, núm. 25: *Aigua: Gestionar l'escassetat*, p. 17-25.

CASAMITJANA, A.; VÁZQUEZ-SUÑÉ, E.; SÁNCHEZ-VILA, X.; ALCOLEA, A.; SANZ, E. (2001). *Estudi hidrogeològic del municipi de Badalona*. Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Enginyeria del Terreny, p. 68.

PRAT, N. (2000). «Ecologia i gestió de l'aigua a Catalunya». *Medi Ambient, Tecnologia i Cultura*, núm. 25: *Aigua: Gestionar l'escassetat*, p. 5-15.

VÁZQUEZ-SUÑÉ, E. (2003). *Urban Groundwater: Barcelona city case study*. Barcelona: UPC, p. 134. [Tesi doctoral]

Resum

Diferents estudis realitzats als embassaments de Sau i Boadella ens permeten de veure com la hidrodinàmica pot influir de manera significativa en la qualitat de l'aigua. Estudiarem primerament les ones internes que es produeixen en aquests embassaments com a conseqüència dels patrons dominants del vent, i que donen lloc a una estructura oscil·latòria força complexa, anomenada *tercer mode d'oscil·lació*. La simulació de l'estructura tèrmica mitjançant un model numèric unidimensional ens permet de veure la variació del perfil de temperatura segons diferents polítiques d'extracció de l'aigua; veurem com apareix una termoclina molt pronunciada en el punt on es troba la boca d'extracció. Finalment, mitjançant la utilització d'un mesurador làser de diàmetres de partícules a l'aigua, veurem com es pot quantificar la resuspensió de partícules de les capes del fons de l'embassament de Boadella segons la velocitat del vent i la fortalesa de l'estratificació.

Abstract

Different studies that have been carried out in Sau and Boadella reservoirs show how hydrodynamics greatly influences water quality. Firstly, the work deals with internal waves produced in these reservoirs as a response to the prevailing wind patterns and with the rather complex oscillating structure, known as 'third mode of oscillation', that they have. The simulation of the thermal structure by means of a one-dimensional numerical model allows us to predict the variation of the water temperature profile depending on different water withdrawal policies, and a sharp thermocline close to the water outlet is noticed. Finally, using a laser meter that measures the diameter of suspended particles, the resuspension of the particles from the bottom boundary layer in the Boadella reservoir is quantified as a function of the wind velocity and the stratification strength.

L'objectiu d'aquest treball és veure com diferents processos hidrodinàmics que tenen l'origen en la interacció de les variables meteorològiques —vent, radiació solar— amb un fluid estratificat —l'aigua d'un llac o un embassament— i que determinen patrons de circulació d'aquesta aigua, poden influir de manera significativa en la qualitat d'aquesta. Per a veure això ens basarem en estudis que hem realitzat en dos embassaments catalans —Sau i Boadella (vegeu la figura 1)— prou coneguts de tothom i de gran importància, ja que subministren aigua potable a ciutats com Barcelona o Figueres. Aquests estudis han estat publicats en revistes especialitzades de reconegut prestigi (Casamitjana *et al.*, 2002; Casamitjana *et al.*, 2003; Pérez *et al.*, 2003).

L'embassament de Boadella està situat a 106 m per sobre del nivell del mar. Té una capacitat màxima de 62 hm³, i una superfície màxima de 364 ha. A l'embassament hi aboquen dos rius: la Muga i l'Arnera, que contribueixen aproximadament amb un 65 % i un 35 % respectivament al cabal d'entrada. Les boques d'extracció estan localitzades a 7 m (sortida 1), i a 18 m (sortida 2) de la base de la presa. La càrrega de nutrients no és gaire elevada, amb valors mitjans de 3,2 µg N l⁻¹ pel que fa al nitrogen i de 0,2 µg P l⁻¹ pel que fa al fòsfor total. En ser el quocient N/P petit poden aparèixer brotades (*bloom*) de cianobacteris (Baserba, 1999). La clorofil·la *a* pot arribar a valors màxims de 27,8 µg l⁻¹. Els cianobacteris, les diatomees i les algues verdes dominen el fitoplàncton de l'embassament. A l'estiu l'hipolimnion esdevé anòxic i diferents productes resultants de la fermentació contribueixen a la redissolució del fòsfor dels sediments (Baserba, 1999).

L'embassament de Sau està situat a 426 m per sobre del nivell del mar. Té una capacitat màxima de 168 hm³, i una superfície màxima de 580 ha. Les boques d'extracció estan localitzades a 21 m, 35 m i a 50 m de la base de la presa. Una de les característiques més significatives que té és la seva forma de canó, ja que es troba encaixonat al fons de la vall excavada pel Ter en el seu pas a través de la serralada prepirinenca (Armengol *et al.*, 1999). Aquest riu aporta una elevada càrrega de nutrients, amoni i fòsfor reactiu soluble. Si bé la càrrega de nutrients s'ha reduït en els darrers anys com a conseqüència de l'entrada en funcionament d'estacions depuradores, la càrrega tròfica de l'embassament és encara força elevada amb una abundant proliferació de fitoplàncton. Amb l'excepció d'alguns pics de clorofil·la *a* que poden arribar a ser de 200 µg l⁻¹, la variabilitat anual de la clorofil·la *a* no passa de 26,5 µg l⁻¹.

1. Règim d'ones internes

Les figures 2 i 3 ens donen una idea de l'estructura tèrmica dels embassaments de Boadella i Sau. A cada una d'aquestes figures s'hi representa la velocitat del vent mesurada en una estació meteorològica del Servei Meteorològic de Catalunya (Agullana, per Boadella, i Vilanova de Sau, per Sau) propera a cada embassament i la temperatura a diferents fondàries, obtinguda

mitjançant una cadena de registre de temperatura. La direcció del vent no s'ha representat a la figura, però en el cas de Boadella hi predomina la marinada (direcció 90°, aproximadament), encara que a vegades també la tramuntana, i en canvi en el cas de Sau hi predomina el vent de ponent (direcció 270°, aproximadament). Atesa l'orientació relativa dels embassaments (figura 1) i les seves preses, en el cas de Boadella la marinada genera una circulació superficial que allunya l'aigua de la presa riu amunt, mentre que a Sau es dona el cas contrari, és a dir, l'aigua va cap a la presa (figura 4). Aquest tipus de circulació és visible a l'estructura tèrmica. A mesura que passa el dia, la temperatura de les capes superficials, en zones properes a la presa, disminueix a Boadella per l'aflorament (*upwelling*) provocat pel vent i, en canvi, augmenta a Sau per l'enfonsament (*downwelling*) originat (figura 4). Tenim, per tant, un primer exemple en què la hidrodinàmica determina patrons diferents en embassaments que, d'altra banda, tenen morfologies similars.

En els espectres obtinguts a partir de les dades de temperatura de les figures 2 i 3 (figura 5), hi veiem un mode predominant de vint-i-quatre hores. Aquest mode forçat pel vent (Pérez *et al.*, 2003) és el més important en ambdós embassaments, de manera que eclipsa altres modes propis, com el de dotze hores a Boadella o cinc hores i mitja a Sau. L'anàlisi dels modes propis que hem efectuat, en què utilitzàvem tant models 1-D com 2-D (Baeuerle, E., comunicació personal), ens corrobora que, a l'embassament de Boadella, el mode de cinc hores i mitja es correspon amb el primer mode longitudinal si prenem com a ventres els punts situats a les estacions S1 i S2 (figura 1). A la figura 6 hem representat les fluctuacions de la isoterma de 18 °C en aquestes dues estacions, situades als extrems de la part més àmplia de l'embassament de Sau. Podem veure com en aquests dos extrems es troben ventres d'oscil·lació, mentre que a la part central hi hauria un mode. El node existent a l'estació S2 és segurament induït per la pròpia morfologia de l'embassament, ja que el revolt sobtat afavoreix la reflexió de l'aigua.

Els embassaments de Sau i Boadella poden presentar una estructura oscil·latòria prou complexa. Això es deu al fet que, en una bona part del període d'estratificació, la columna d'aigua està contínuament estratificada i l'embassament no es pot assimilar al model típic de dues capes (epilímnion i hipolímnion), ni tan sols al de tres capes (epilímnion, termoclina i hipolímnion). A Boadella, per exemple, hem detectat la presència d'almenys un tercer mode d'oscil·lació, i la formació de quatre capes diferents.

A la figura 7 veiem representada una estructura de quatre capes, primer en una posició estable, i, després, el resultat de l'oscil·lació produïda pel vent. Quan el vent comença a bufar, les isoterms s'inclinen i les temperatures dels punts P1, P2 i P3 experimenten els canvis indicats a la figura 7. La temperatura a P1 decreixerà de T1 a T2, a l'estació P2 creixerà de T3 a T2, i, a P3, decreixerà de T3 a T4. Aquest tipus de comportaments no han estat gaire sovint observats en llacs, però es poden comparar amb resultats d'experiments efectuats al laboratori, com per exemple els realitzats per Koseff i Street (Koseff i Street, 1985). Aquests autors van veure que el nombre de cel·les de circulació que s'obtenien en una cubeta depenia del nombre de Richardson

$$Ri_b = g(\Delta\rho/\rho)D/U_b^2, \quad (1)$$

on g és l'acceleració de la gravetat, $\Delta\rho$ és la diferència de densitats als extrems de la cubeta, ρ és una densitat de referència, D és la fondària de la cubeta i U_b és la velocitat induïda a la part superior de la cubeta. Quan $Ri_b \gg 1$, a més de la cel·la primària apareixen dues cel·les secundàries. Quan $Ri_b \sim 1$ una cel·la única domina tot el flux. Quan $Ri_b \ll 1$ hi ha una barreja gairebé total.

Per a comparar aquests resultats amb els nostres podem utilitzar $\Delta\rho/\rho = 1,6 \cdot 10^{-3}$, que correspon a una diferència de densitats entre la superfície i el fons d'uns 8°C i $D = 25$ m. Com a U_b , podem prendre el valor de la velocitat de la capa de barreja, U , calculat a partir del balanç següent:

$$d/dt(hU) = u_*^2, \quad (2)$$

on h és la fondària de la capa de barreja, $u_* = (\rho_A/\rho C_D)^{1/2} U_w$ és la velocitat de cisalla, ρ_A és la densitat de l'aire, $C_D = 1,3 \cdot 10^{-3}$ és un coeficient aerodinàmic i, U_w la velocitat del vent. L'equació (2) és vàlida durant el primer quart del període de l'oscil·lació principal que domina el camp d'ones internes del llac. La integració de (2) ens dona $U = u_*^2 t/h$. Suposant que el valor màxim d' U es dona per $t = 6$ h, és a dir, a la quarta part del període de l'oscil·lació principal, trobem que quan $U_w = 3$ m/s, un valor típic de vent de marinada $Ri_b = 40 \gg 1$, i per tant hem d'esperar l'existència de modes d'oscil·lació elevats. En canvi, quan $U_w = 7$ m/s, un valor típic de la tramuntana, $Ri_b = 1,3$ i ja no s'observen aquests modes d'oscil·lació. Fixem-nos en la figura 2, i veurem que, el dia 16, es produeix la uniformització de la columna d'aigua després de bufar vents d'aquesta magnitud.

A l'embassament de Sau la persistència del vent de ponent també origina una estructura oscil·latòria semblant a Boadella. A la figura 8 presentem dades obtingudes mitjançant un correntòmetre d'efecte Doppler (ADCP). Aquest instrument serveix per a realitzar perfils de velocitat i treballa a una freqüència de 500 MHz. Mesura els tres components de la velocitat amb un rang de 10 m/s, una freqüència de 2 Hz i una precisió de 0,5 cm/s. Als dos gràfics de la figura 8 es poden apreciar clarament dos corrents de direccions oposades. Això es deu a la inversió dels corrents que té lloc per l'estructura oscil·latòria que hem explicat abans.

2. Modelització de l'estructura tèrmica

A l'apartat anterior hem estudiat fenòmens clarament bidimensionals. No obstant això, la diferència entre els coeficients de transport verticals, molt més petits que els horitzontals, fa que moltes vegades puguem considerar l'embassament des d'un punt de vista unidimensional. El model DLM és un model unidimensional de simulació de l'estructura vertical de la temperatura i salinitat per a llacs i embassaments (Imberger i Patterson, 1981; Casamitjana i Schladow, 1993; Casamitjana *et al.*, 1993; Han *et al.*, 2000). En aquest model, el perfil vertical del llac es representa amb un conjunt de fins a cent capes que es poden moure verticalment,

contraure's o expandirse en resposta als cabals fluvials, a les extraccions i als fluxos superficials. Els fluxos superficials de moment, calor latent i calor sensible es calculen a partir de fórmules aerodinàmiques. La dinàmica de la capa superficial es computa a partir d'un model integral segons el qual es tenen en compte diferents processos: la barreja del vent, la convecció, la producció de cisalla i els remolins de Kelvin-Helmoltz a través d'un balanç d'energia:

$$\frac{C_k^f}{2} \rho q^3 dt + \frac{C_s}{2} \rho (\Delta u)^2 dh = \frac{C_T}{2} \rho dh q^2 + \Delta \rho g dh \frac{h}{2}, \quad (3)$$

on C_k^f , C_s , C_T i η són coeficients d'eficiència, $q = (w_*^3 + \eta^3 u_*^3)^{1/3}$ és l'escala de velocitat de l'energia cinètica turbulenta, on u_* ja ha estat definida anteriorment, w_* és la velocitat induïda per la convecció nocturna (MacIntyre *et al.*, 2002), h és la fondària de la capa de barreja, t és el temps i $\Delta \rho$ és la diferència de densitats entre la capa de barreja i la capa inferior. Per a modelitzar les contribucions fluvials s'ha de tenir en compte que quan un riu penetra en un embassament aquest empeny l'aigua fins a l'anomenat *punt d'immersió*. Aquí el riu es comença a submergir fins que, segons la diferència de densitat, queda inserit a l'embassament. Les extraccions d'aigua es modelitzen tenint en compte tant el cabal d'extracció com l'estratificació. Finalment la barreja a l'hipolímion es modelitza amb un coeficient de difusió que és directament proporcional a la dissipació d'energia cinètica turbulenta i inversament proporcional a l'estratificació.

Hem utilitzat el model DLM a l'embassament de Sau amb l'objectiu de poder veure les conseqüències de l'extracció d'aigua a l'estructura tèrmica de l'embassament (Casamitjana *et al.*, 2003). Les simulacions que presentem es comencen el dia 1 de juny del 2000, per a un període de cent cinquanta dies. Les dades meteorològiques, les hem agafades de l'estació meteorològica d'Agullana, situada a uns sis quilòmetres de l'embassament. Com que no teníem mesures de cabals entrants, les hem deduïdes a partir del nivell de l'embassament i dels cabals d'extracció. La temperatura dels rius entrants, l'hem deduïda a partir de la temperatura de l'aire els darrers quatre dies, utilitzant el procediment suggerit per Armengol (Armengol *et al.*, 1999). Durant el període simulat es va extreure una gran quantitat d'aigua per la sortida 1, que es va destinar sobretot a usos agrícoles (figura 9).

A la figura 10 es comparen els resultats experimentals amb els resultats del model. Fixem-nos com, a causa de la forta extracció d'aigua, el nivell de l'embassament va decreïxer des de 37 m l'1 de juliol (figura 10a) fins a 27 m a l'octubre (figura 10d). El dia 1 de juliol (figura 10a) es pot veure una estructura de tres capes (epilímion, metalímion i hipolímion) tant en el perfil simulat com en l'experimental. D'altra banda, el dia 2 d'agost veiem un perfil contínuament estratificat; també podem apreciar la formació d'una termoclina a uns 7 m, coincidint amb la sortida 1 (figura 10b). Durant tot el període es veu una capa d'aigua freda per sota de la sortida 1. Durant els mesos de setembre i octubre la capa d'aigua per damunt de la sortida 1 es barreja completament i llavors s'hi aprecia una estructura de tres capes, amb una termoclina situada

prop de la sortida 1. Encara que la utilització d'un model unidimensional com el DLM per al cas de l'embassament de Boadella pot ser discutible, les temperatures experimentals segueixen la mateixa tendència que les temperatures predites. Òbviament hi ha processos 2-D que el model no té en compte i que poden explicar algunes de les diferències observades a les fondàries mitjanes de l'embassament. Amb tot, el model prediu correctament la formació de la termoclina a la sortida 1.

Atès el grau d'acord entre els perfils experimentals i els simulats podem utilitzar el model per a predir altres escenaris possibles. Per exemple, a la figura 11 es comparen els resultats mesurats amb els que prediria el model en cas que no hi hagués hagut extraccions d'aigua. Els perfils simulats són del tipus d'un llac amb una capa de barreja que s'enfonsa amb el temps. La simulació ens mostra que el perfil contínuament estratificat del 2 d'agost (figura 11b) es deu clarament a l'extracció d'aigua per la sortida 1. La temperatura global de l'embassament és més baixa, ja que en aquest cas no s'extreu l'aigua més freda de l'hipolímnion.

La figura 12 compara els perfils mesurats amb els simulats si l'extracció d'aigua s'hagués efectuat per la sortida 2. Al juliol, els perfils experimental i el teòric no difereixen gaire (figura 12a). En canvi, quan l'estratificació està completament desenvolupada la termoclina se situa al nivell de la sortida 2 fins al final del període d'estratificació (figura 12c i 12d). És, per tant, força clar que la termoclina es determina pel punt d'extracció de l'aigua. Aquest fet és força habitual en embassaments mediterranis, ja que a l'estiu estan sotmesos a uns nivells d'extracció molt elevats. Pensem, per exemple, que l'any 2000, cap al final de l'estiu, s'havia extret un 47 % de l'aigua embassada al principi de l'estació. Un altre possible escenari seria l'extracció combinada d'ambdues sortides. Per exemple, si l'extracció es fes una setmana per la sortida 1 i la setmana següent per la sortida 2 obtindríem uns perfils de temperatura com els representats a la figura 13. En aquesta figura es poden comparar els resultats experimentals a l'agost i a l'octubre en els tres diferents casos d'extracció. Es veu com, en el cas de l'extracció combinada, la termoclina es debilita considerablement.

El model presentat ens serveix per a especular sobre les possibles conseqüències de canvis en la política d'extracció de l'aigua. Evidentment caldria disposar d'un model de qualitat de l'aigua ben calibrat per a poder elaborar conclusions més precises. L'actual política d'extracció, per la sortida 1, contribueix a confinar l'hipolímnion a la part més profunda de l'embassament; el volum d'aquest es redueix fins a 0,6 hm³ aproximadament. En canvi, l'extracció d'aigua per la sortida 2, en el cas que tècnicament fos possible, augmentaria el volum de l'hipolímnion fins a uns 5 hm³ i es trobaria a una profunditat inferior. En aquest cas la llum podria arribar a l'hipolímnion i afavoriria les brotades (*bloom*) de fitoplàncton. A més, com que a l'embassament de Boadella el quocient N/P és petit també es podria presentar, en aquest cas, una brotada (*bloom*) de cianobacteris, amb les conseqüències negatives per a la salubritat de l'aigua que això podria representar.

3. Resuspensió de partícules de la capa del fons

A l'embassament de Boadella, l'existència d'una termoclina prop del fons (figura 10) afavoreix l'acumulació de diferents tipus de partícules (Casamitjana *et al.*, 2002). Per a poder mesurar els diàmetres d'aquestes partícules utilitzem l'instrument Liss-100, que utilitza la tècnica de la difracció làser. L'avantatge d'utilitzar aquest instrument és que no destrueix els agregats, ja que els diàmetres es mesuren *in situ* (Serra *et al.*, 2001; Serra *et al.*, 2002). Les concentracions més elevades es donen a la superfície, al principi de l'estiu i al fons, prop de la sortida 1, sobretot cap al final de l'estiu. Com que els valors de la concentració de partícules prop de la superfície es corresponen amb valors alts de la clorofil·la *a*, podem atribuir aquestes partícules a una brotada (*bloom*) de fitoplàncton (Colomer *et al.*, 2002). D'altra banda, l'elevat nombre de partícules de la capa del fons coincideix amb la termoclina; l'observació al microscopi ens permet determinar l'origen de les partícules de la capa del fons (figura 14). Les de diàmetre més petit de 3 µm són partícules inorgàniques i restes de partícules orgàniques; les partícules de diàmetre 5 µm i 15 µm respectivament es corresponen amb cel·les mortes de diatomees i d'algues verdes respectivament. Les partícules amb diàmetre comprès entre 30 µm i 100 µm estan formades per una mescla d'agregats de partícules inorgàniques, colònies de fitoplàncton, zooplàncton, detritus, etc.

Per a estudiar la resuspensió de les partícules de la capa del fons, que es produeix cap al final de la tardor, vam deixar el Liss-100 prenent dades en continu a uns 7 m del fons de l'embassament entre el 28 de setembre i el 17 d'octubre del 2000. A la figura 15 podem veure la concentració de partícules de diàmetre més petit de 3 µm i les de diàmetre comprès entre 30 µm i 100 µm, així com els perfils de temperatura per als dies 28 de setembre i el 17 d'octubre del 2000. Fixem-nos com el dia 28 de setembre les partícules més petites estaven concentrades a la termoclina i tenien el seu màxim a 6 m del fons (figura 15a). La velocitat de sedimentació de les partícules amb diàmetre 3 µm i densitat de 2.500 kgm⁻³ és de 0,25 m/dia. Aquesta velocitat tan petita i la reducció conseqüent a causa de l'arrossegament causat per la diferència de densitat (Srdic-Mitrovic *et al.*, 1999) expliquen l'acumulació de partícules a la termoclina. Les partícules més grans, en canvi, tenen un comportament diferent; el 28 de setembre, la majoria estaven situades en els primers 15 m de la columna d'aigua (figura 15b). La concentració que tenia era quasi constant (~ 2 µl/L) a causa de la barreja. Entre el 28 de setembre i el 17 d'octubre la termoclina es va endinsar uns 2 o 3 m i l'aigua de la capa de barreja es va refredar uns 4 °C. Una part important de les partícules situades prop de la termoclina es va resuspendre i el 17 d'octubre el màxim d'aquestes partícules estava situat a 5 m del fons (figura 15c).

A les figures 16a, 16b i 16c podem veure les fluctuacions de la temperatura i de la concentració de partícules de diàmetre menor a 3 µm i de les de diàmetre comprès entre 30 µm i 100 µm. Al principi del període estudiat, les partícules de diàmetre inferior a 3 µm eren prop del Liss-100 (figura 15a). D'altra banda, el màxim de les partícules entre 30 µm i

100 μm era més amunt del Lisst-100 (figura 15b). Durant les primeres cent quaranta-quatre hores que va durar l'experiment, les fluctuacions de la temperatura i de la concentració a les partícules petites era més gran (figures 16a i 16b). En canvi, després de cent quaranta-quatre hores el Lisst 100 era lluny de la termoclina, d'acord amb els perfils de les figures 15c i 15d. Per tant, les fluctuacions de les partícules petites van créixer de manera substancial. D'altra banda, el paper jugat per les partícules grans va ser l'invers.

D'acord amb els resultats anteriors, podem parametritzar la resuspensió de les partícules mitjançant la cisalla causada a la termoclina i la força de l'estratificació; així podem definir el paràmetre adimensional

$$\Pi = \frac{\rho u_*^2 L}{\Delta\rho gh^2}, \quad (4)$$

on ρ és la densitat de l'aigua, L és una escala horitzontal, $\Delta\rho$ és la diferència de densitat a la termoclina i h és una escala vertical per a la resuspensió. Podem calcular u_* de la mateixa manera que ho fèiem a (2). Escollim els següents paràmetres d'escala: $L = 1,5$ km i $h = 5$ m, coincidint amb la longitud de la capa de barreja. El paràmetre Π és similar al nombre de Wedderburn (Imberger, 2001); encara que aquest es feia servir com a indicador de l'aflorament de l'aigua del metalímnion cap a la capa de barreja. A la figura 16d veiem que el primer cop que $\Pi > 1$ va ser cap a l'hora número 96, quan va haver-hi un episodi de barreja important. Posteriorment, Π es va fer més gran d'1 diverses vegades, de manera que indicava una forta resuspensió. Per tant, aquest paràmetre adimensional és un bon indicador per a la resuspensió de les partícules del fons.

4. Agraïments

Els treballs que es presenten en aquest article de revisió han estat realitzats pels membres del grup de sistemes aquàtics del Grup de Física Ambiental de la UdG, format per Jordi Colomer, Teresa Serra, Elena Roget, Joaquim Pérez-Losada, Marianna Soler, Javier Vidal i Xavier Casamitjana. La realització d'aquests ha estat possible sobretot gràcies als ajuts HID97-0833 i REN2001-2239/HD atorgats pel Ministeri de Ciència i Tecnologia i al suport infraestructural de l'Agència Catalana de l'Aigua. Voldria agrair el suport del professor Joan Armengol per les nombroses facilitats donades en l'estudi de l'embassament de Sau i de Carles Baserba en el de Boadella. També voldria agrair el suport d'Aigües Ter-Llobregat (ATLL) i del Consorci de la Costa Brava.

5. Referències bibliogràfiques

- ARMENGOL, J.; GARCIA, J. C.; COMERMA, M.; ROMERO, M.; DOLZ, J.; ROURA, M.; HAN, B. H.; VIDAL, A.; SIMEK, K. (1999). «Longitudinal Processes in Canyon Type Reservoirs: The case of Sau (N. E. Spain)». A: TUNDISI, J. G.; STRASKRABA, M. [ed.]. *Theoretical Reservoir Ecology and its applications*. Leiden (Holanda): Backhuys Publishers, p. 313-345.
- BASERBA, C. (1999). *Cicle anual i estat tròfic de l'embassament de Boadella*. Universitat de Girona. [Tesina de llicenciatura]
- CASAMITJANA, X.; ROGET, E.; SCHLADOW, G. (1993). «The seasonal cycle of a groundwater dominated lake». *Journal of Hydraulic Research*, núm. 31 (3), p. 293-306.
- CASAMITJANA, X.; SCHLADOW, G. (1993). «Vertical distribution of particles in a stratified lake». *Journal of Environmental Engineering*, núm. 119 (3), p. 443-462.
- CASAMITJANA, X.; SERRA, T.; BASERBA, C.; COLOMER, J.; PÉREZ-LOSADA, J. (2003). «Effects of the water withdrawal on the stratification patterns of a reservoir». *Hydrobiologia*, núm. 504, p. 21-28.
- CASAMITJANA, X.; SERRA, T.; SOLER, M.; COLOMER, J. (2002). «A study of the evolution of a particle boundary layer in a reservoir, using laser particle sizing». *Water Research*, núm. 36 (17), p. 4293-4300.
- COLOMER, J.; SERRA, T.; BASERBA, C.; SOLER, M.; CASAMITJANA, X. (2002). «Quantified distribution of diatoms during the stratified period in Boadella reservoir». *Hydrobiologia*, núm. 489, p. 235-244.
- HAN, B. P.; ARMENGOL, J.; GARCIA, J. C.; COMERMA, M.; ROURA, M.; DOLZ, J.; STRASKRABA, M. (2000). «The thermal structure of Sau Reservoir (NE: Spain): a simulation approach». *Ecological Modelling*, núm. 125, p. 109-122.
- IMBERGER, J. (2001). «Characterizing the dynamical regimes of a lake». A: CASAMITJANA, Xavier [ed.]. *Physical Processes in Natural Waters*. Girona: Servei de Publicacions de la Universitat de Girona, p. 77-92.
- IMBERGER, J.; PATTERSON, J. C. (1981). «A dynamic reservoir simulation model. DYRESM: 5». A: FISCHER, H. B. [ed.]. *Transport models for inland and coastal waters*. Nova York: Academic Press, p. 310-361.
- KOSEFF, J. R.; STREET, R. L. (1985). «Circulation Structure in a stratified cavity flow». *Journal of Hydraulic Engineering*, núm. 111 (2), p. 334-354.
- MACINTYRE, S.; ROMERO, J. R.; KLING, G. W. (2002). «Spatial-temporal variability in surface layer deepening and lateral advection in an embayment of Lake Victoria, East Africa». *Limnol. Oceanogr.*, núm. 47 (3), p. 656-671.
- PÉREZ-LOSADA, J.; ROGET, E.; CASAMITJANA, X. (2003). «Evidence of high vertical behaviour in a continuously stratified reservoir». *Journal of Hydraulic Engineering*, núm. 129 (9), p. 734-737.
- SERRA, T.; CASAMITJANA, X.; COLOMER, J.; GRANATA, T. (2002). «A laser analyzer for in situ

- determining the bottom and vertical particle size distribution and concentration in a coastal system». *Marine Technology Society Journal (MST)*, núm. 36 (1), p. 59-69.
- SERRA, T.; COLOMER, J.; CRISTINA, X. P.; VILA, X.; ARELLANO, J. B.; CASAMITJANA, X. (2001). «Evaluation of a laser *in situ* scattering instrument for measuring the concentration of phytoplankton, purple sulfur bacteria and suspended inorganic sediments in lakes». *Journal of Environmental Engineering* (novembre), p. 1023-1030.
- SRDIC-MITROVIC, A. N.; MOHAMED, N. A.; FERNANDO, H. J. S. (1999). «Gravitational settling of particles through density interfaces». *Journal of Fluid Mechanics*, núm. 381, p. 175-198.

Incidència dels embassaments de Mequinensa, Riba-roja i Flix en el règim tèrmic i en el transport de sòlids en suspensió del riu Ebre

Josep Dolz i Jordi Prats

Grup de recerca FLUMEN, Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental
ETS d'Enginyers de Camins, Canals i Ports, Universitat Politècnica de Catalunya

Montserrat Roura

Centre d'Estudis dels Rius Mediterranis, Museu Industrial del Ter

Rafael Val

Institut d'Enginyeria, Universitat Autònoma de Mèxic

Joan Armengol

Grup de recerca FLUMEN, Departament d'Ecologia, Universitat de Barcelona

Resum

En aquesta comunicació es presenten els resultats obtinguts a l'estudi de la incidència dels embassaments de Mequinensa, Riba-roja i Flix en el règim tèrmic i en el transport de sòlids en suspensió del riu Ebre. S'analitzen les alteracions al cicle anual i diari de temperatures a l'aigua del riu. També es posa de manifest la tendència a la recuperació del comportament tèrmic natural aigües avall dels embassaments.

Amb relació al transport sòlid en suspensió, es comparen les concentracions a l'entrada i a la sortida de l'embassament de Mequinensa. Així mateix s'analitza la concentració de sòlids en suspensió a la sortida de l'embassament de Riba-roja.

Abstract

This paper presents the results from the study of the effect Mequinensa, Riba-roja and Flix reservoirs have on the thermic temperature regime and on the suspended solids transport from the Ebre river. It analyses changes in the annual and daily temperature cycle in the water of the river and it also explains the tendency to the restoration of the natural downstream thermal behaviour in reservoirs.

Regarding the suspended solid transport, the study compares the concentrations at Mequinensa reservoir inlet and outlet. It also examines the suspended solid concentration at the Mequinensa reservoir outlet.

1. Introducció

Els rius són uns ecosistemes en què té una gran importància la dimensió longitudinal, a diferència dels llacs, on la dimensió més important és la vertical. La construcció d'un embassament en un riu constitueix una discontinuïtat en la seva dimensió longitudinal. Així, aigües amunt de la presa, les condicions ecològiques són més semblants a les d'un llac: les aigües s'amansei-

xen i els processos que depenen de la dimensió vertical, com la precipitació i l'estratificació tèrmica, prenen més importància. Això fa que, per exemple, la concentració de sòlids en suspensió a la sortida d'un embassament sigui menor que a l'entrada i que, depenent de la profunditat des d'on es turba l'aigua, aquesta pugui tenir unes temperatures, concentracions d'oxigen, etc., més o menys diferents d'aquelles que hi havia en un principi.

Immediatament aigües avall de la presa, la modificació del règim hidrològic i de les característiques químiques de l'aigua alteren la dinàmica del riu i l'equilibri dinàmic amb l'entorn (l'lera, atmosfera), a la vegada que poden afectar les comunitats biològiques que hi viuen. Tanmateix, a mesura que el riu segueix el seu curs, hi ha una tendència a recuperar unes característiques més semblants a les naturals.

En aquesta comunicació s'estudien els efectes dels embassaments sobre dos paràmetres importants, la temperatura de l'aigua i els sòlids en suspensió, al tram final del riu Ebre, on el sistema d'embassaments de Mequinensa, Riba-roja i Flix modifica de forma notable la dinàmica fluvial del tram final del riu Ebre, en particular del règim tèrmic i del transport sòlid en suspensió que té.

2. Incidència en el règim tèrmic

Un embassament en clima mediterrani s'estratifica tèrmicament entre la primavera i l'estiu, la qual cosa pot provocar una alteració important a la temperatura del riu. Això incideix en les comunitats fluvials, ja que la fisiologia de la major part dels organismes d'aigua dolça depèn de la temperatura de l'aigua.

Ara bé, tot i la importància d'aquest paràmetre, són pocs els estudis que s'han realitzat sobre el comportament tèrmic dels rius a la península Ibèrica. En el cas del riu Ebre, els primers estudis dels quals tenim coneixença són els d'Arrúe i Alberto (1986) i Alberto i Arrúe (1986), que van estudiar el comportament tèrmic del riu en tota la conca, a partir de les dades de la Confederació Hidrogràfica de l'Ebre. També van estudiar algunes anomalies tèrmiques, inclosa l'alteració produïda pel sistema d'embassaments de Mequinensa, Riba-roja i Flix. Treballs posteriors són aquells de DEHMA (1990) i LIMNOS (1997), que se centren en el problema de la pol·lució tèrmica a causa de la central nuclear d'Ascó. Finalment, el treball més recent és el de Val (2003), d'on prové la major part de les dades de camp que es presenten en aquesta comunicació.

2.1. Metodologia

La temperatura de l'aigua es va mesurar cada deu minuts mitjançant sondes pt100 en diversos punts del riu Ebre (figura 1): a Escatrón; al peu de les preses de Mequinensa, Riba-roja i Flix; abans de la presa d'aigua de la central nuclear d'Ascó; al Pas de l'Ase, i a Miravet. Les dades utilitzades en aquest treball corresponen al període comprès entre el juny del 1998 i el gener del 2000.

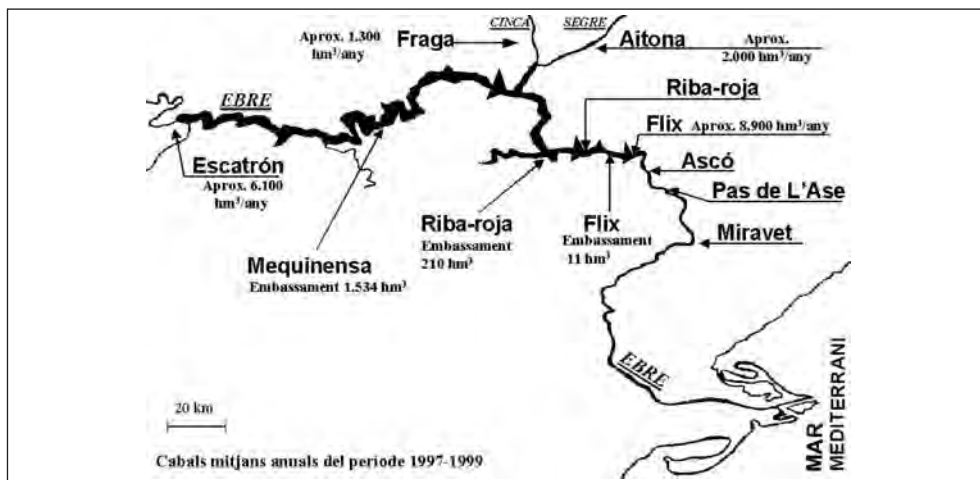


FIGURA 1. Àrea d'estudi i cabals mitjans del període 1997-1999.

2.2. Resultats

Els resultats obtinguts mostren que a l'estiu l'aigua que surt del sistema d'embassaments (a Flix) és més freda que la que hi entra (a Escatrón, Fraga i Aitona). A l'hivern, al contrari, l'aigua que en surt és més calenta que la que hi entra. A més, s'observa que l'efluent de la central nuclear d'Ascó fa augmentar la temperatura de l'aigua del riu al voltant de 3 °C durant tot l'any. El resultat és que, aigües avall de la nuclear d'Ascó, a l'estiu les alteracions de la temperatura de l'aigua degudes als embassaments i a la nuclear aproximadament es compensen entre si. A l'hivern, en canvi, les alteracions són del mateix signe (augment de la temperatura de l'aigua) i se sumen (figura 2).

La figura 3 mostra la temperatura de l'aigua del riu Ebre de l'1 al 7 de juliol del 1999 per a exemplificar el comportament al llarg del riu del règim diari de temperatures de l'aigua a l'estiu. S'observa que a Escatrón hi ha un cicle diari de temperatures regular i ben marcat. A la sortida dels embassaments, a Flix, la temperatura de l'aigua mostra poca ciclicitat diària o no en mostra. Més avall, a Ascó, s'ha recuperat una mica la ciclicitat diària, si bé encara és irregular. Si seguim riu avall, cap al Pas de l'Ase i Miravet, trobem que el cicle diari es va restablint i i es va fent més regular.

2.3. Discussió

En condicions naturals, el cicle diari de la temperatura de l'aigua presenta un patró clarament depenent de la radiació solar incident, que és el principal component del balanç tèrmic del riu. Per exemple, a Miravet, la temperatura de l'aigua augmenta des d'aproximadament la sor-

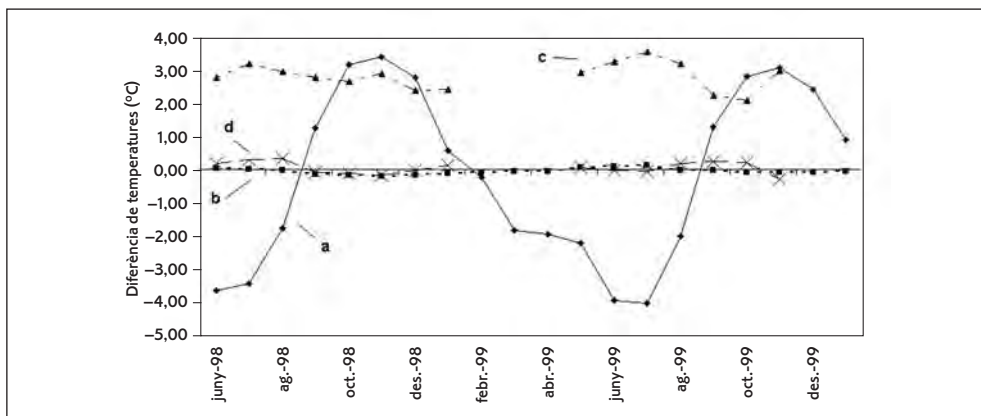


FIGURA 2. Diferència de temperatura mitjana mensual entre a) Escatrón i Flix, b) Flix i Ascó, c) Ascó i Pas de l'Ase i d) Pas de l'Ase i Miravet. La diferència de temperatures es defineix com la temperatura al final menys la temperatura a l'inici de cada tram. Per tant, les diferències de temperatura positives indiquen un augment de la temperatura de l'aigua aigües avall, mentre que les diferències negatives indiquen un descens.

tida del sol fins a mitja tarda, moment en què la temperatura comença a descendir. En dies ennuvolats, l'amplitud de la variació de la temperatura de l'aigua pot reduir-se molt, a causa de la reducció de la radiació solar incident. Un altre factor que influeix en el cicle diari de la temperatura és el cabal i la variabilitat que té al llarg del dia. És ben conegut que a més volum d'aigua, major és la inèrcia tèrmica i, en conseqüència, menor és la variació de temperatures al llarg del dia. Però també hi ha factors locals, com ara l'orografia, que poden influir en el cicle diari de la temperatura.

Ara bé, al tram inferior del riu Ebre, les condicions difereixen de les naturals, de manera que el comportament tèrmic del riu en aquesta zona està clarament influït per la presència del sistema d'embassaments de Mequinensa, Riba-roja i Flix, i principalment per l'embassament de Mequinensa, que és, amb diferència, el més gran dels tres. Com tants altres embassaments de la zona temperada, l'embassament de Mequinensa presenta un cicle estacional consistent en una estratificació tèrmica que comença a la primavera, amb un màxim a l'estiu i una uniformitat vertical de temperatures a partir de la tardor i a l'hivern. Durant l'època d'estratificació les temperatures en superfície poden ser d'entre 24 i 27 °C, mentre que en profunditat són d'entre 14 i 16 °C (LIMNOS, 1996; URS, 2002; Infraestructura & Ecologia, 2003). En ple hivern les temperatures mínimes poden ser d'aproximadament entre 5 i 8 °C (Miguel, 1993). L'embassament de Riba-roja també presenta un fenomen d'estratificació a l'estiu, de manera que les temperatures en superfície poden ser d'entre 24 i 27 °C i, en profunditat, d'entre 18 i 21 °C (LIMNOS, 1996; URS, 2002).

Això vol dir que a l'estiu hi ha una entrada d'aigua calenta a l'embassament de Mequinensa que queda en superfície, mentre que l'aigua que s'extreu prové de l'hipolímnion i, per tant, és més freda. A més, la temperatura de l'aigua d'aquesta zona no presenta variacions cíclics dià-

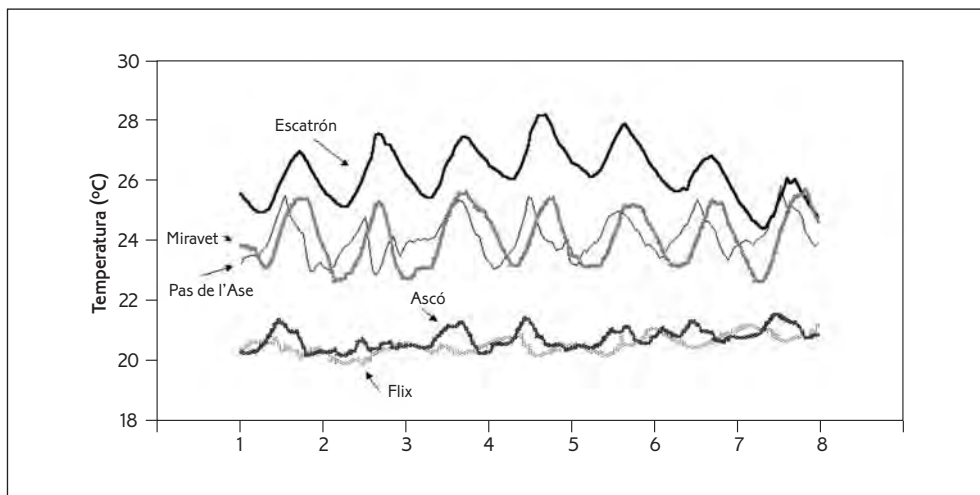


FIGURA 3. Temperatura de l'aigua a les estacions d'Escatrón, Flix, Ascó, Pas de l'Ase i Miravet de l'1 al 8 de juliol del 1999.

ries, i en conseqüència tampoc no la presenta l'aigua que en surt. Aquesta aigua que entra a l'embassament de Riba-roja és més freda que l'aigua que prové del Segre i del Cinca, que també hi desemboquen gairebé pel mateix lloc. En conseqüència, l'aigua de l'Ebre, més densa, s'enfonsa, i l'aigua del Segre i el Cinca queda en superfície (Armengol *et al.*, 2003). En el viatge des de la cua de l'embassament de Riba-roja fins a la presa hi ha una certa barreja entre l'aigua calenta en superfície i la freda en profunditat. Quan aquesta aigua és alliberada a l'embassament de Flix, la temperatura que té continua sense tenir variacions diàries importants. L'embassament de Flix té poca capacitat amb relació als altres dos embassaments, i el temps de residència de l'aigua és baix, d'unes hores, per la qual cosa el seu comportament no és pròpiament el d'un embassament, però tampoc el d'un riu. En aquest tram la temperatura de l'aigua no té temps de recuperar la ciclicitat diària. Aigües avall, però, el riu ja es comporta com un riu i l'aigua té tendència a adquirir l'equilibri tèrmic amb l'entorn i a recuperar la ciclicitat diària (figura 3).

Quan arriba la tardor, l'aigua dels embassaments de Mequinensa i Riba-roja es barreja i la temperatura de l'aigua s'uniformitza. Al llarg de l'hivern, la temperatura de l'aigua dels embassaments varia poc a causa de la inèrcia tèrmica d'una massa d'aigua tan gran, si bé l'aigua del riu aigües amunt és més freda a mesura que avança l'hivern. És per això que l'aigua que surt de l'embassament de Mequinensa a l'hivern és més calenta que la que hi entra. D'altra banda, a l'hivern, a causa del gran volum d'aigua i de la menor entrada de calor, l'amplitud tèrmica es veu reduïda.

3. Incidència en el transport sòlid en suspensió

La construcció d'un gran nombre d'embassaments durant la segona meitat d'aquest segle ha modificat el règim de cabals del riu Ebre. El volum total d'embassament a la conca del riu Ebre

era d'aproximadament 1.500 hm³ a l'inici de la dècada dels cinquanta i proper als 6.000 hm³ a l'inici dels setanta. Entre aquests embassaments cal destacar el de Mequinensa, de 1.534 hm³, que va ser posat en servei el 1966, i el de Riba-roja, de 210 hm³, posat en servei el 1968.

El sistema d'embassaments de Mequinensa, Riba-roja i Flix reté el transport sòlid de fons i la major part dels sòlids en suspensió; això incideix en la morfologia fluvial del tram final del riu Ebre i en la dinàmica del delta.

3.1. Metodologia

Durant el període comprès entre el 2 de febrer de 1998 i el 20 de setembre de 1999 es van prendre mostres de l'aigua de l'Ebre a l'entrada i a la sortida de l'embassament de Mequinensa, i a la sortida de l'embassament de Riba-roja (figura 1). En aquests punts i de manera automàtica es prenia diàriament aigua de l'Ebre a les 6 i a les 18 hores. Una mostra determinada integrava les quatre preses realitzades al llarg de dos dies. Posteriorment es determinaven els sòlids en suspensió de la mostra, que es consideren representatius del valor mitjà corresponent a dos dies.

El cabal mitjà diari al llarg del període que és objecte d'estudi ha estat proporcionat per la Confederació Hidrogràfica de l'Ebre.

3.2. Resultats

Els resultats que es presenten a continuació procedeixen de Roura (2004).

A la figura 4 es compara la concentració de sòlids en suspensió a l'entrada de l'embassament de Mequinensa, amb la de la sortida d'aquest mateix embassament i també amb la de la sortida de l'embassament de Riba-roja. A la figura 5 es comparen les distribucions de concentracions en aquestes seccions.

A l'embassament de Mequinensa es produeix una acusada disminució de la concentració de sòlids en suspensió: valor mitjà a l'entrada 91,6 mg/L i valor mitjà a la sortida 6,1 mg/L. Contràriament, a l'embassament de Riba-roja té lloc un petit increment si comparem els 6,1 mg/L de la sortida de l'embassament de Mequinensa (que és l'inici de l'embassament de Riba-roja) amb els 12,9 mg/L de valor mitjà a la sortida de l'embassament de Riba-roja. Cal dir que, a més del cabal procedent de Mequinensa, a l'embassament de Riba-roja també hi entren els cabals del Cinca i del Segre amb la corresponent càrrega sòlida. Això afegit a la inferior capacitat d'emmagatzematge de l'embassament de Riba-roja (210 hm³) respecte al de Mequinensa (1.534 hm³) podria explicar la major concentració de sòlids en suspensió a la sortida del primer.

A la figura 6 es mostra el cabal sòlid a l'entrada i a la sortida de l'embassament de Mequinensa, així com a la sortida de l'embassament de Riba-roja. Es fa patent un cabal sòlid més

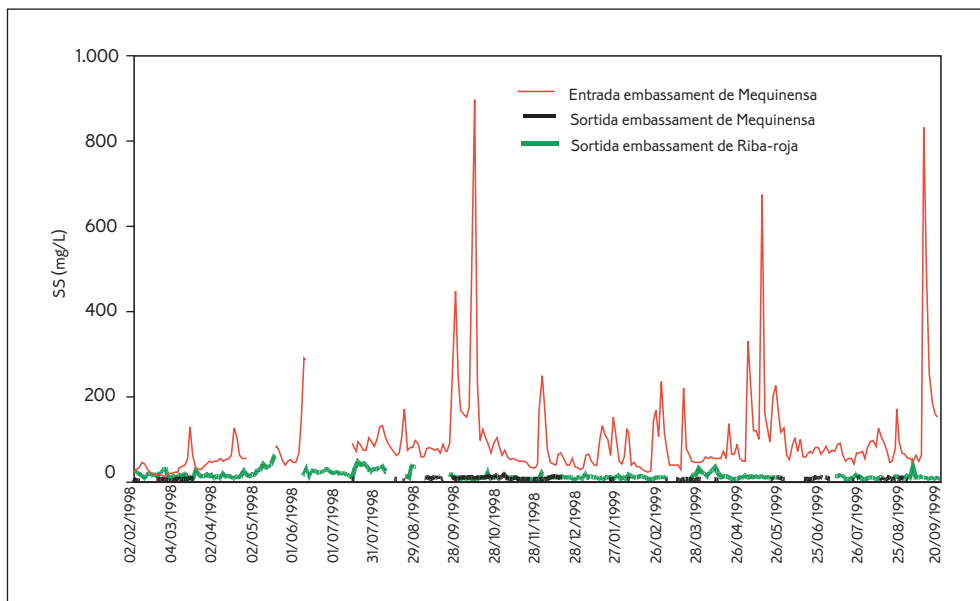


FIGURA 4. Sòlids en suspensió a l'entrada i a la sortida de l'embassament de Mequinensa, i sortida de l'embassament de Ribarroja, període del 2/2/1998 al 20/9/1999. Valor mitjà de 48 hores. Les mitjanes de les sèries són: entrada a Mequinensa 91,6 mg/L, sortida de Mequinensa 6,1 mg/L i sortida de Ribarroja 12,9 mg/L.

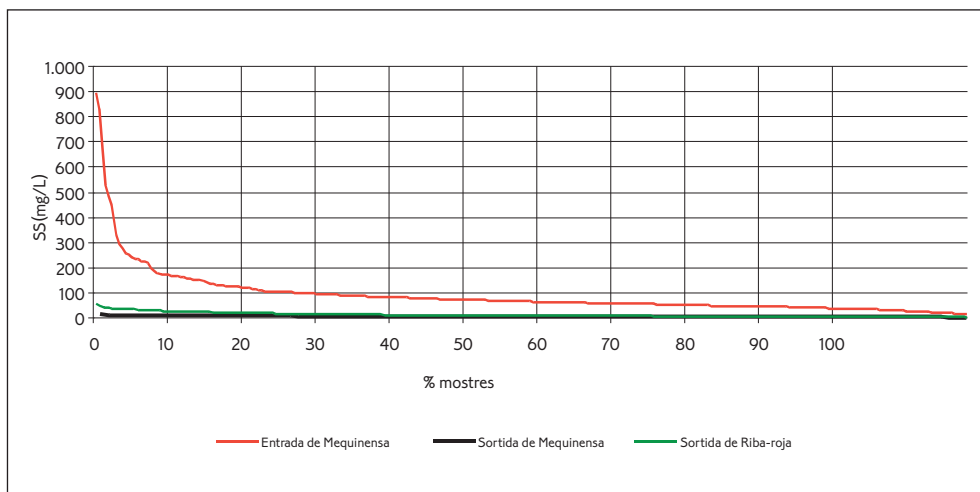


FIGURA 5. Percentatge de mostres amb una concentració (mitjana de 48 hores) igual o superior a l'eix d'ordenades. Període del 2/2/1998 al 20/9/1999. Entrada i sortida a l'embassament de Mequinensa i sortida de l'embassament de Ribarroja.

gran a la sortida de Riba-roja que no pas a la sortida de Mequinensa. Com és lògic, això queda també reflectit en fer l'anàlisi de la distribució dels cabals sòlids (figura 7).

Una possible font d'error per al càlcul de les aportacions sòlides podria ser deguda al fet que el punt de mostratge es troba proper al marge del riu i, per tant, la concentració obtingu-

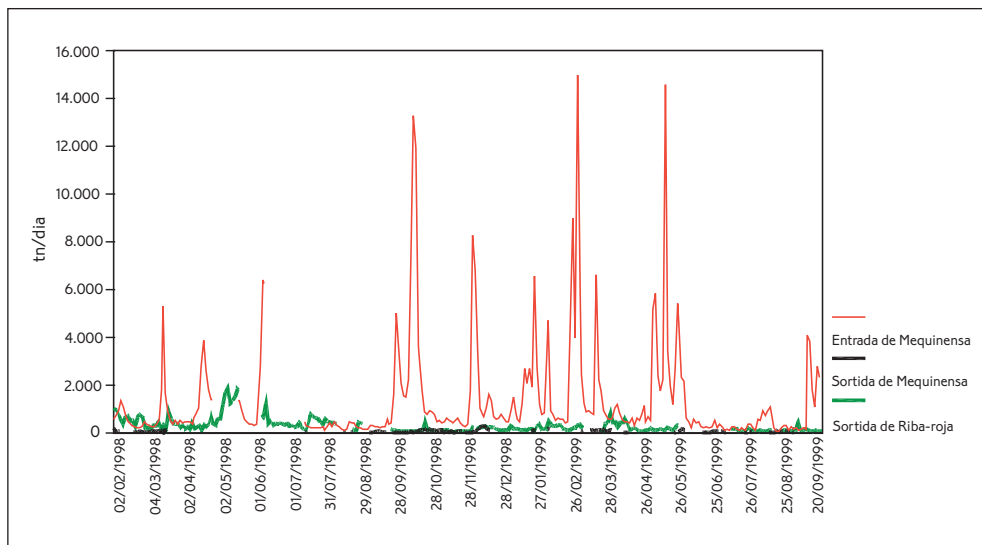


FIGURA 6. Cabal sòlid a l'entrada i a la sortida de l'embassament de Mequinensa i sortida de l'embassament de Riba-roja. Valor mitjà de 48 hores. Període entre el 2/2/1998 i el 20/9/1999.

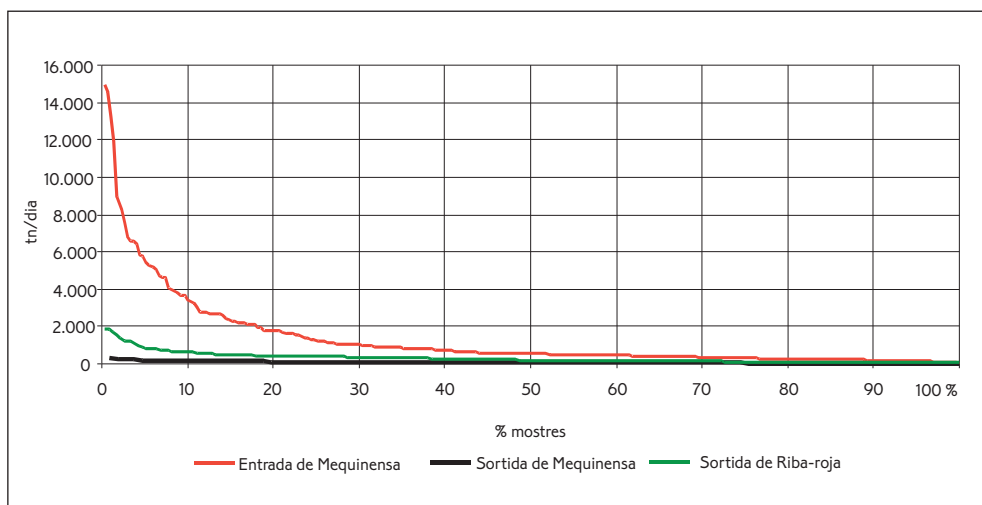


FIGURA 7. Percentatge de mostres amb un cabal sòlid (mitjana de 48 hores) igual o superior a l'indicat a l'eix d'ordenades. Període del 2/2/1998 al 20/9/1999. Entrada i sortida a l'embassament de Mequinensa, i sortida de l'embassament de Riba-roja.

da podria no ser representativa de tota la secció. Per tal d'analitzar aquest aspecte el 21 de juliol de 1998 es va fer un aforament líquid i un altre de sòlids en suspensió a la secció on s'obtenen les mostres a l'entrada de l'embassament de Mequinensa. Es van prendre mostres a diferents punts al llarg de deu verticals contingudes a la secció i es va observar que hi havia una distribució relativament uniforme del material sòlid en suspensió.

3.3. *Discussió*

Segons Palanques i Guillén (1992), hi ha mesures del final del segle passat i del principi de l'actual segons les quals la concentració de sòlids en suspensió al tram final de l'Ebre oscil·lava entre els 700 i els 1.700 mg/L i que podia arribar a sobrepassar els 10.000 mg/L durant les avingudes. Considerant l'aportació anual del riu i les concentracions abans esmentades, es calcula que l'Ebre desguassava al mar entre 17 i 20 milions de tones anuals de material sòlid en suspensió. En set campanyes de camp realitzades entre el maig de 1988 i el febrer de 1990 la concentració mitjana de sediments en suspensió que es va obtenir a Amposta estava entre els 10 i els 20 mg/L, valor semblant a l'obtingut en aquest estudi per a la mitjana a la sortida de l'embassament de Riba-roja (12,9 mg/L). A partir d'aquests valors els autors conclouen que l'aportació anual de sediments en suspensió del riu Ebre al mar és d'aproximadament l'1 % de la que hi havia al començament del segle.

El Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX (al qual es refereixen Lechuga i Santos, 1997), ha estudiat també el transport de sòlids en suspensió al tram final del riu Ebre i ha obtingut que, en un any mitjà, 333.000 tones de sediment són desguassades per la presa de Riba-roja. Durant el trajecte que té fins al mar el riu incrementa la concentració, i l'aportació de sediments en suspensió al mar s'estima en unes 590.000 tones en un any mitjà.

A la figura 8 es mostra l'evolució temporal de la capacitat d'embassament a la conca de l'Ebre, de l'aportació sòlida al delta de l'Ebre i el cabal d'avingudes superiors a 3.500 m³/s. En el transcurs del segle xx s'observa una forta davallada de les aportacions sòlides i del cabal d'avingudes. Això es troba directament relacionat amb el notable increment (principalment a partir de 1950) del volum d'embassament. S'estima que la retenció de sòlids als embassaments de Mequinensa i Riba-roja és respectivament de 6,5 i 1 milions de tones anuals.

4. Agraïments

Els autors volen agrair a Gloria González d'URS, la informació proporcionada. També agraeixen a D. Niñerola, Q. Rabadà i J. Vicente el seu treball en la instal·lació i manteniment de la instrumentació.

Aquest estudi s'ha dut a terme dins dels projectes REN 2001-2185-C02-01 i REN 2001-2185-C02-02, subvencionats pel Programa de Recursos Hídricos del Plan Nacional de Investigación

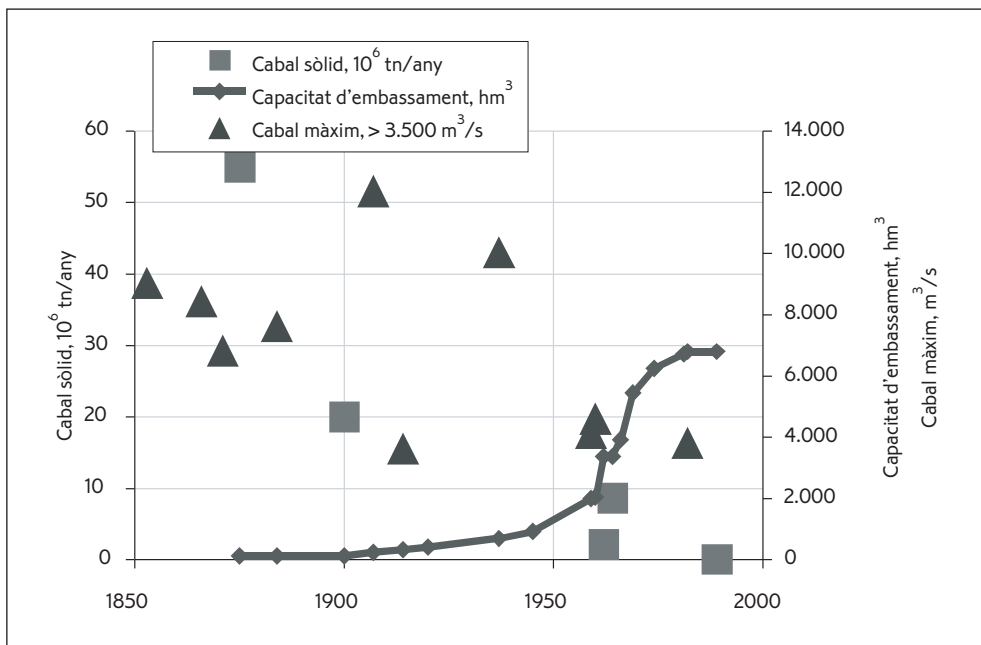


FIGURA 8. Evolució temporal de la capacitat d'emmagatzematge a la conca de l'Ebre, de l'aportació sòlida al delta de l'Ebre i el cabal d'avingudes superiors a $3.500 m^3/s$.

FONT: CEDEX.

y Desarrollo i el Fons Social Europeu. Aquests projectes han estat cofinançats per l'Agència Catalana de l'Aigua, el Departament de Política Territorial i Obres Públiques, ENDESA i l'Associació Nuclear Ascó-Vandellós.

5. Referències bibliogràfiques

- ALBERTO, F.; ARRÚE, J. L. (1986). «Anomalías térmicas en algunos tramos de la red hidrográfica del Ebro». *Anales de la Estación Experimental Aula Dei*, núm. 18 (1-2), p. 91-113.
- ARMENGOL, J.; BACARDIT, M.; CAPUTO, L.; GALLEGOS, M. A.; NAVARRO, E. (2003). *Ecología acuática dels embassaments de Mequinensa, Riba-roja i Flix. Estiu 2003*. Barcelona: Universitat de Barcelona.
- ARRÚE, J. L.; ALBERTO, F. (1986). «El régimen térmico de las aguas superficiales de la Cuenca del Ebro». *Anales de la Estación Experimental Aula Dei*, núm. 18 (1-2), p. 31-50.
- DEPARTAMENT D'ENGINYERIA HIDRÀULICA, MARÍTIMA I AMBIENTAL (DEHMA) (1990). *Estudio del comportamiento térmico del río Ebro en el tramo C. N. Ascó - Pas de l'Ase*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. [Informe preparat per a l'Associació Nuclear Ascó]

- INFRASTRUCTURA & ECOLOGÍA (2003). *Seguimiento de la calidad de las aguas en embalses de zonas sensibles*. Saragossa: Confederació Hidrogràfica de l'Ebre.
- LECHUGA, A.; SANTOS LÓPEZ, J. (1997). «Evolución reciente del Delta del Ebro. Aporte de sedimentos por el río. El oleaje y el transporte sólido litoral». *Ingeniería Civil*, núm. 105, p. 99-107.
- LIMNOS (1996). *Diagnóstico y gestión ambiental de embalses en el ámbito de la Cuenca Hidrográfica del Ebro*. Saragossa: Confederació Hidrogràfica de l'Ebre.
- LIMNOS (1997). *Estudi dels efectes de l'abocament tèrmic de la central nuclear d'Ascó sobre les comunitats biològiques*. Barcelona. [Informe preparat per a la Junta de Sanejament]
- MIGUEL, J. J. (1993). *Análisis de la estratificación térmica del embalse de Mequinzenza*. Universitat Politècnica de Catalunya. ETSCCPB. [Tesis d'especialitat]
- PALANQUES, A.; GUILLÉN, J. (1992). «Transporte de sedimentos en suspensión en la parte baja del río Ebro. (Mediterráneo Occidental). Impacto ambiental de las presas». *Geogaceta*, núm. 12, p. 37-40.
- ROURA, M. (2004). *Incidència de l'embassament de Mequinzenza en el transport de sòlids en suspensió i la qualitat de l'aigua del riu Ebre*. Barcelona: Universitat de Barcelona. Departament d'Ecologia. [Tesi doctoral]
- URS (2002). *Actualización limnológica de embalses*. Saragossa: Confederació Hidrogràfica de l'Ebre.
- VAL, R. (2003). *Incidencia de los embalses en el comportamiento térmico del río Ebro. Caso del sistema de embalses Mequinzenza, Riba-roja y Flix en el río Ebro*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. ETS d'Enginyers de Camins, Canals i Ports. Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental. [Tesi doctoral]

Resum

La concentració amb la qual s'aconsegueixi establir el diòxid de carboni en l'atmosfera serà sempre força més alta que la que s'ha donat al llarg dels darrers quatre-cents mil anys. No hi ha dubte que es produirà un canvi en el clima i que la seva influència sobre els sistemes naturals i els socioeconòmics serà significativa. Quins seran els canvis, com i quan es produiran ja és més complex de saber. Per això ens calen ecosistemes sentinella. En aquest article es presenta el cas dels estanys d'alta muntanya i els de zones remotes en general. Aquests sistemes ens permeten tenir punts d'observació similars repartits per molts llocs del món i, a més a més, tenen un registre històric en els seus sediments que ens faciliten posar en context els canvis del present respecte del passat. Aquests indrets remots també ens permeten estudiar la interacció del clima amb altres components del canvi global, com ara la contaminació a llarga distància i els canvis d'usos del territori.

Abstract

In any potential future scenario, the concentration at which it will be possible to stabilize atmospheric carbon dioxide will be higher than any recorded during the last 400,000 years. There is no doubt that climate will change and that its influence on the natural and socio-economic systems will be significant. More difficult to predict are the changes that will occur and when. Sentinel ecosystems may help to observe these changes. This article presents the case of the high mountain lakes and remote areas in general. These systems offer similar observation points distributed throughout the world and they also have an historical record in their sediments that makes easier the comparison between present changes and those occurred in the past. These remote places are also suitable for studying the interaction of climate with other components of global change such as long-range pollution and land use changes.

Com a resultat de cremar combustibles fòssils per a obtenir-ne energia s'està produint un increment de diòxid de carboni a l'atmosfera des de fa unes dècades. Sigui quina sigui la concentració atmosfèrica a la qual s'aconsegueixi estabilitzar, el valor sempre serà significativament superior als que s'han donat al llarg dels darrers quatre-cents mil anys. Avui en dia, no hi ha dubtes que es produirà un canvi significatiu en el clima i, per tant, en els sistemes naturals i agrícoles, i de retruc en tot el sistema socioeconòmic del planeta. La incertesa de com evolucionarà el clima és notable a hores d'ara, sobretot pel que fa a la projecció regional del canvi. Les incògnites encara són més sobre com reaccionaran els ecosistemes. Més enllà de tenir clar que, de canvis, d'haver-n'hi n'hi haurà, ens preocupa tot un seguit de qüestions: com pot variar la resposta dels diversos ecosistemes, quina intensitat i extensió poden tenir els canvis, a quina velocitat poden produir-se, si podrem distingir les fluctuacions habituals del clima i els seus efectes de tendències persistents de canvi que ens portin cap a noves situacions. Per a donar resposta a aquest tipus de preguntes, tenim a l'abast tres tipus d'aproximacions complementàries. D'una banda, tenim l'ús dels coneixements existents organitzant-los en models dinàmics que puguin preveure el que passarà; això ens permet comprendre millor els escenaris possibles, encara que té les limitacions pròpies de la complexitat de la qüestió, implícita en la multitud de processos que hi intervenen i que són rellevants a escales espaciotemporals diferents. Una altra opció és la de cercar situacions similars en el passat i fer analogies amb el que pot passar en un futur. En aquest sentit la limitació és que no hi ha, en el passat, una situació en què les condicions físiques i biòtiques del planeta fossin prou semblants a aquelles a què hom pot preveure que podem arribar en el canvi actual. Malgrat això, el passat relativament recent, els darrers vint mil anys, per exemple, pot il·lustrar sobre amb quina celeritat poden produir-se el canvis, i també pot proveir-nos d'analogies de situacions per les quals podem passar encara que sigui de manera transitòria. El tercer tipus d'aproximació és la pròpia observació del canvi. Com que és una situació en què estem immersos, el canvi climàtic i les seves conseqüències són una cosa que podem seguir dia a dia i, eventualment, anar-hi reaccionant o adaptar-nos-hi. Qualsevol anticipació, per lleu que sigui, pot permetre'ns alleugerir les conseqüències indesitjables. El que és estrictament el clima, el podem anar seguint a través de l'enregistrament dels diversos paràmetres meteorològics i analitzant-los estadísticament d'una manera apropiada. Pel que són, però, els efectes del clima sobre els sistemes naturals, l'observació ja no és tan simple, ja que els efectes de la fluctuació climàtica es barregen amb les influències d'altres activitats humanes i les fluctuacions pròpies de la dinàmica complexa dels sistemes naturals i els agrosistemes. En aquest sentit, ens són d'utilitat el que s'ha anomenat *ecosistemes sentinella*. És a dir, llocs que reben poca influència humana directa, i que, per tant, permeten observar sense interferències la reacció de la biosfera al canvi que s'està produint en el clima. Molts d'aquests sistemes, els trobem en zones remotes —els sistemes àrtics i antàrtics, per exemple—, però també en tenim en llocs més propers —entre d'altres, els estanyes d'alta muntanya.

Hi ha diverses raons per les quals els estanyes de muntanya són uns bons ecosistemes sen-

tinella. En general es troben en llocs de relativa poca activitat humana a les conques, particularment els situats a més altitud. Són sistemes relativament senzills i petits, tant ells mateixos com les seves conques, de manera que se'n poden fer seguiments i es pot comprendre el que hi passa amb més facilitat que en molts d'altres ecosistemes. Com que són sistemes petits i la dinàmica que tenen està basada en organismes de vida molt curta, la resposta a les fluctuacions dels paràmetres que els forcen és ràpida. Hi ha algunes característiques que els fan particularment sensibles a la influència atmosfèrica. Per exemple, l'existència d'una coberta de gel durant l'hivern i un paquet de neu a la conca. Aquestes estructures integren els esdeveniments meteorològics al llarg d'uns quants mesos i en canalitzen la influència sobre el sistema lacustre cap al període de fusió, de manera que els fan més sensibles a captar tendències que es reparen durant els mesos d'hivern i primavera d'una manera fluctuant. D'altra banda, com que es tracta de sistemes aquàtics d'aigües molt diluïdes són molt sensibles a les entrades de substàncies nutritives, tòxiques o que en modifiquin l'entorn proper; per tant, les fluctuacions climàtiques que modifiquen la manera com els ecosistemes terrestres exporten substàncies en la seva aigua de drenatge es manifesten ràpidament en canvis significatius als sistemes lacustres. A aquestes propietats que podríem qualificar de sensibilitat, cal afegir-hi l'avantatge que els estanys tenen en els sediments el seu propi registre d'allò que ha anat passant al llarg de la seva història. L'abundància i la varietat d'estanys de muntanya permeten desxifrar i calibrar els senyals dels sediments i substituir la variació en el temps per la variació en l'espai, i d'aquesta manera reconstruir el que va succeir en temps passats. Aquesta perspectiva històrica pot completar-se amb una perspectiva geogràfica àmplia, ja que hi ha estanys de característiques similars en molts llocs del món.

Primers indicis dels efectes del canvi climàtic

En alguns estanys d'Europa s'han establert estacions limnològiques que permeten seguir la resposta dels estanys a les fluctuacions climàtiques que forcen els sistemes. En aquestes estacions generalment hi ha una estació meteorològica automàtica, col·lectors de deposició atmosfèrica i sensors a l'estany, i el seguiment s'hi completa amb estudis de la dinàmica de poblacions dels organismes i del transport de substàncies entre la conca i l'estany. Un exemple d'aquest tipus d'estació el tenim a l'estany Redon a la Val d'Aran.

Encara que actualment es compti amb estacions meteorològiques a les conques d'aquests estanys, les sèries de dades que tenen són encara massa curtes per a poder valorar els canvis. Per a poder-ho fer, s'utilitzen tècniques d'interpolació i extrapolació a partir de sèries temporals de terres més baixes, les quals tenen un registre molt més llarg. Aquests procediments es valen de les sèries curtes de l'estació situada a la vora de l'estany per a validar-ne els resultats. En general, s'aconsegueixen bones extrapolacions de les temperatures mitjanes mensuals pels darrers dos-cents anys.

Aquestes sèries reconstruïdes ens permeten analitzar quina ha estat la resposta dels estanys i dels sistemes de la seva conca a les fluctuacions. Això ho podem fer a partir de dades històriques si s'ha mantingut un seguiment al lloc, o pot fer-se a partir de l'estudi molt detallat dels primers centímetres del sediment dels estanys. En el cas de l'estany Redon, per exemple, veiem com en les darreres dècades s'ha produït un increment continuat de la temperatura, particularment a la primavera i la tardor. Aquesta tendència en la temperatura apareix reflectida en l'increment de la presència relativa de dues petites diatomees planctòniques (*Fragilaria nana* i *Cyclotella pseudostelligera*), que han augmentat d'una manera sense precedents en els darrers dos-cents anys. Un aspecte interessant és que els estudis actuals a l'estany han posat de manifest que aquestes algues creixen respectivament al setembre i a l'octubre, i les seves poblacions reproduïxen precisament les fluctuacions de temperatura mitjana d'aquests dos mesos. Per tant, es tracta d'un lligam clar i directe amb les tendències de canvi de tardor, probablement com a resposta a un allargament del període d'estratificació amb una termoclina profunda. Curiosament, d'augment de diatomees planctòniques petites, se n'han observat en d'altres estanys similars, però molt allunyats geogràficament. Comença a haver-hi molta evidència de canvis similars en estanys àrtics i subàrtics tant del continent americà com de l'europèu. Aquest fet és remarcable, perquè el registre sedimentari de diatomees d'aquests indrets àrtics és gairebé idèntic durant tot el temps d'existència dels estanys. Només apareix una tendència, en el sentit suau esmentat, en les darreres dècades. Per tant, ens està indicant que als sistemes àrtics s'està produint un canvi important sense precedents recents. L'extensió d'aquests sistemes fa que el senyal vagi més enllà de l'anècdota i tingui transcendència global.

D'aquestes observacions de l'actualitat també se n'han derivat altres conclusions. S'ha vist que hi ha certa dependència entre el temps de generació i l'escala temporal en què es produeix l'acoblament amb el clima. Els organismes de vida curta, de generacions de dies, com les algues, segueixen les fluctuacions de prop; els organismes de temps de vida més llarg integren períodes de temps més grans. Per exemple, les poblacions de quironòmids, amb generacions com a mínim d'un any, sembla que segueixen les fluctuacions de l'escala de dècades. Si, aquestes observacions, les extrapolem a organismes terrestres de vida encara més llarga, hem de pensar que el que podem estar observant com a resposta al canvi climàtic (el canvi en la fenologia de les plantes, la migració cap al nord d'algunes papallones, etc.) encara no és més que una fase incipient, segurament només la punta de l'iceberg del que realment pot passar.

En els aspectes biogeodinàmics del conjunt de l'estany també es reflecteixen tendències, però aquestes respostes de sistema sencer apareixen a escales d'unes quantes dècades. Per exemple, hi ha una clara resposta en alguns dels indicadors a l'escalfament del segle xx respecte del segle xix. Quan fluctuacions de la mateixa intensitat es produeixen en temps molt més breus, el sistema mostra una elevada histèresi. Aquest aspecte ens alerta un cop més que els canvis en els sistemes terrestres poden arrencar de manera molt subtil i, de sobte, accelerar-se.

El passat com a referència

La majoria d'estanys de muntanya tenen l'origen en la darrera glaciació; en el cas dels Pirineus podem trobar registres que van d'entre deu mil i quinze mil anys. Això, encara que pugui semblar molt, no ens serveix excessivament com a referència; però, si més no, és suficient per a il·lustrar la magnitud dels canvis que podem esperar en els ecosistemes.

El sediment és un registre la història del qual està escrita en una varietat de codis diferents i la interpretació que se'n faci no és sempre fàcil ni directa. Una de les fonts de més informació són els microfòssils. El pol·len, per exemple, ens ofereix els canvis de la vegetació, els quals, en els ambients remots, es deuen fonamentalment a canvis climàtics. Els darrers deu mil anys, el que es coneix per l'Holocè, corresponen a un període de relativa poca variació climàtica. Malgrat això, hom observa que es van produir canvis significatius en la vegetació dominant. Mitjançant tècniques estadístiques i utilitzant la informació climàtica que hi ha sobre quin és el clima que correspon a diferents tipus funcionals de vegetació, pot fer-se reconstruccions quantitatives d'alguns paràmetres climàtics. En el cas dels Pirineus, per exemple, es veu que no hi va haver canvis significatius en els valors de la mitjana anual de temperatura; els canvis de vegetació durant l'Holocè probablement van ser una conseqüència de variacions en l'estacionalitat i, potser, en la precipitació. Per exemple, la diferència de temperatures entre el mes més càlid i el mes més fred durant la primera meitat de l'Holocè era notablement més àmplia que en la segona meitat, tant perquè l'hivern es va anar fent més càlid, com perquè les temperatures d'estiu van baixar. Actualment, les previsions de canvi climàtic es fan encara sobre mitjanes anuals; pel sistema climàtic en conjunt potser l'estacionalitat no és un aspecte vital, però pels organismes sí; als registres dels estanys veiem que no cal que la mitjana canviï si l'estacionalitat ho fa perquè es donin profunds canvis en el paisatge.

Altres microfòssils ens permeten reconstruir altres aspectes dels canvis del passat. Els crisòfits, un grup d'algues unicel·lulars, són probablement bons indicadors de la durada del gel als estanys. Als Pirineus, per exemple, l'ús dels cists silícis que els crisòfits deixen als sediments ens permeten posar de manifest, d'una manera molt més clara que el pol·len, la fluctuació freda de l'anomenat *Dryas* recent, que hi va haver fa uns 12.500 anys. També ens indiquen que, en els períodes de transició climàtica de centenars d'anys, sembla que hi ha una probabilitat més elevada d'episodis extrems. Aquest és un aspecte fonamental del canvi climàtic de transcendència immediata, i que ens planteja les qüestions de fins a quin punt augmentarà la freqüència d'episodis extrems de fred, calor i precipitació, i en quina mesura poden determinar canvis permanents en el nostre entorn natural.

Altres microfòssils, com les diatomees, ens permeten reconstruir propietats químiques de l'aigua. Una de les que se'n poden inferir amb més fiabilitat és la capacitat neutralitzadora d'àcids (ANC). Actualment, s'està observant un augment d'aquesta capacitat als Alps, l'Himàlaia i els Pirineus. Tot i que encara no s'ha determinat amb detall els mecanismes que la determinen, sembla que està relacionat amb una meteorització més elevada de la roca de la conca a causa

d'un augment de l'extensió del sòl o de l'activitat biològica que hi ha. Si mirem el passat, aprofitant la capacitat indicadora de les diatomees, observem que al llarg de l'Holocè l'ANC de les aigües ha anat fluctuant i ha arribat a ser el doble i el triple del que és actualment en zones granítiques dels Pirineus. Hi ha indicacions que els canvis estaven relacionats amb un major desenvolupament del sòl a les conques. Una fluctuació molt significativa va produir-se a mitjan Holocè coincidint amb un deteriorament del clima. Aquest període és interessant perquè coincideix amb la dessecació del Sàhara i és un dels exemples en què es veu que una fluctuació climàtica produïda per un lleuger canvi en la radiació que arriba a la Terra es veu retroalimentada per canvis en la vegetació, i s'hi produeixen uns efectes molt notables en un període de temps relativament curt.

Resumint, dels registres del passat als estanys, en podem treure un parell de conclusions d'aplicació a la situació present. Primer, perquè hi hagi canvis significatius de la vegetació dominant i, per tant, del paisatge, no fa falta que es donin grans canvis climàtics; aspectes d'estacionalitat poden ser suficients. Segon, durant les transicions climàtiques és probable que els fenòmens extrems augmentin i és possible que fenòmens de retroalimentació positiva facin que els canvis en els sistemes naturals tinguin lloc de manera abrupta, és a dir, que siguin perceptibles en el transcurs d'una o unes quantes generacions.

Interaccions amb d'altres components del canvi global

El canvi climàtic induït per l'augment de gasos d'efecte hivernacle a l'atmosfera ha esdevingut el component més popular del canvi global. No obstant això, hi ha altres fenòmens que s'estan donant a escala global en paral·lel amb el canvi climàtic. Entre aquests, els relacionats amb la contaminació atmosfèrica també poden detectar-se i seguir-se als estanys de muntanya. Inicialment, l'efecte més conspicu va ser el de l'acidificació d'alguns d'aquests, que, en segons quins casos, va arribar fins al punt de canviar la flora i la fauna dels estanys. Les muntanyes Tatra entre Eslovàquia i Polònia són un exemple d'aquest cas extrem. L'estudi del fenomen mitjançant el registre del sediment va posar de manifest tant la gènesi del procés com la lenta recuperació després que les emissions de sofre a l'atmosfera es reduïssin. Un dels aspectes més interessants, pel que aquí ens ocupa, va ser l'evidència que la deposició àcida va provocar la disrupció de l'acoblament entre clima i acidesa de l'aigua. Estudis en estanys del Tirol van mostrar que, fins a la irrupció de la industrialització, el pH de l'aigua dels estanys havia fluctuat amb la temperatura de l'aire, augmentant i decreixent a l'uníson. Amb la pluja àcida la fluctuació en paral·lel es va desfer. Malgrat això, en els anys molt càlids encara s'observa una certa recuperació del pH. D'acord amb aquestes pautes, caldria esperar que un escalfament global facilités la recuperació de les zones acidificades, que permetria millorar l'efectivitat de les mesures de reducció d'emissions.

L'efecte positiu de l'escalfament sobre l'acidificació no té perquè ser general per a totes les formes de contaminació atmosfèrica a llarga distància. Sembla que l'increment de pluja en al-

gunes zones d'Escòcia està provocant un alliberament més elevat de metalls des dels sòls, en particular, del plom. Períodes més llargs d'estratificació també poden incrementar la mobilització de compostos des del sediment. Una comparació de la quantitat de metalls al sediment superficial amb la del sediment corresponent a èpoques preindustrials mostra un enriquiment en molts estanys alpins per tot Europa. D'altra banda, recentment s'ha descobert una acumulació selectiva d'organoclorats semivolàtils en els sediments i en els peixos d'alta muntanya. L'acumulació augmenta amb l'altitud de manera inversament proporcional a la temperatura mitjana del lloc. Aquest fet formaria part del procés de destil·lació global que s'està donant amb aquests compostos, que inclouen entre d'altres el DDT i els seus derivats, i els PCB d'elevat pes molecular. Les zones càlides i temperades del planeta on es fan o es van fer servir els compostos amb més intensitat actuen de fonts emissores a l'atmosfera, i les zones fredes actuen com a receptores i acumuladores. El canvi climàtic comportarà una modificació dels dos tipus d'àrees; les àrees que acumulen compostos probablement disminuiran, però pot ser que les concentracions hi augmentin. Els estanys de muntanya són excel·lents observatoris per a seguir el fenomen d'interacció entre clima i altres aspectes del canvi global relacionats amb les emissions de contaminants a l'atmosfera.

Referències bibliogràfiques

- BATTARBEE, R. W.; GRYNES, J. A.; THOMPSON, R.; APPLEBY, P. G.; CATALAN, J.; KORHOLA, A.; BIRKS, H. J. B.; LAMI, A. (2002). «Climate variability and ecosystem dynamics at remote alpine and arctic lakes: the last 200 years». *Journal of Paleolimnology*, núm. 28, p. 161-179.
- CAMARERO, L.; CATALAN, J.; PLA, S.; RIERADEVALL, M.; JIMÉNEZ, M.; PRAT, N.; RODRÍGUEZ, A.; ENCINA, L.; CRUZ-PIZARRO, L.; SÁNCHEZ, P.; CARRILLO, P.; TORO, M.; GRIMALT, J.; BERDIE, L.; FERNÁNDEZ, P.; VILANOVA, R. (1995). «Remote mountains lakes as indicators of diffuse acidic and organic pollution in the Iberian peninsula (AL:PE 2 studies)». *Water Air and Soil Pollution*, núm. 85, p. 487- 492.
- CATALAN, J. (2002a). «Los lagos de montaña como observatorios». *Mundo Científico*, núm. 236, p. 56-59.
- (2002b). «L'observació de canvis ambientals per mitjà dels estanys d'alta muntanya». *Aula d'Ecologia*, núm. 20, p. 37-41.
- CATALAN, J.; PÉREZ-OBÍOL, R.; PLA, S. (2000). «Canvis climàtics a Aigüestortes durant els darrers 15.000 anys». A: *V Jornades sobre Recerca al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici*, p. 45-52.
- CATALAN, J.; PLA, S.; RIERADEVALL, M.; FELIP, M.; VENTURA, M.; BUCHACA, T.; CAMARERO, L.; BRANCELJ, A.; APPLEBY, P. G.; LAMI, A.; GRYNES, J. A.; AGUSTÍ-PANAREDA, A.; THOMPSON, R. (2002). «Lake Redó ecosystem response to an increasing warming in the Pyrennees during the twentieth century». *Journal of Paleolimnology*, núm. 28, p. 129-145.

- CATALAN, J.; VENTURA, M.; BRANCELJ, A.; GRANADOS, I.; THIES, H.; NICKUS, U.; KORHOLA, A.; LOTTER, A. F.; BARBIERI, A.; STUHLÍK, E.; LIEN, L.; BITUŠÍK, P.; BUCHACA, T.; CAMARERO, L.; GOUDSMIT, G. H.; KOPÁČEK, J.; LEMCKE, G.; LIVINGSTONE, D. M.; MÜLLER, B.; RAUTIO, M.; ŠIŠKO, M.; SORVARI, S.; ŠPORKA, F.; STRUNECKÝ, O.; TORO, M. (2002). «Seasonal ecosystem variability in remote mountain lakes. Implications for detecting climatic signals in sediment records». *Journal of Paleolimnology*, núm. 28, p. 25-46.
- GRIMALT, J. O.; FERNÁNDEZ, P.; BERDIE, L.; VILANOVA, R.; CATALAN, J.; PSENNER, R.; HOFER, R.; AP-
PLEBY, P. G.; ROSSELAND, B. O.; LIEN, L.; MASSABAU, J. C.; BATTARBEE, R. W. (2001). «Selective trapping of organochlorine compounds in mountain lakes of temperate areas». *Environmental Science & Technology*, núm. 35, p. 2690-2697.
- MOSELLO, R.; LAMI, A.; MARCHETTO, A.; ROGORA, M.; WATHNE, B.; LIEN, L.; CATALAN, J.; CAMARERO, L.; VENTURA, M.; PSENNER, R.; KOINIG, K.; THIES, H.; SOMMARUGA-WÖGRATH, S.; NICKUS, U.; TAIT, D.; THALER, B.; BARBIERI, A.; HARRIMAN, R. (2002). «Trends in the water chemistry of high mountain lakes in Europe». *Water, Air, and Soil Pollution*, núm. 2, p. 75-89.

Resum

La gestió pública de l'aigua està determinada per tres factors d'influència: els recursos existents (econòmics i materials), l'estat de la ciència i la tecnologia i els interessos contraposats dels diferents usuaris. La integració i l'ordenació de totes tres dimensions (econòmica, social i científica) es materialitza mitjançant la legislació, que, en definitiva, marca les regles que s'han d'aplicar a l'hora de prendre les decisions pròpies de la gestió.

Sota la denominació àmplia de *qualitat de l'aigua* es barregen diversos conceptes que cal tenir presents:

- qualitat química i qualitat ecològica
- qualitat i quantitat
- els compartiments ambientals: aigua, sediments i biota
- el cicle antròpic de l'aigua
- qualitat d'immissió vs. qualitat d'emissió.

Per a tots hi ha legislació de referència. És important no oblidar que aquesta legislació ha experimentat, en el decurs dels darrers anys, una evolució progressiva: ha passat d'un concepte de qualitat lligat als diversos usos de l'aigua al de qualitat ecològica introduït per la nova Directiva marc.

El cicle de la gestió de la qualitat de l'aigua segueix l'esquema lògic següent: *a)* adquisició d'informació, *b)* valoració i *c)* actuació. A partir d'aquí es retroalimenten els resultats i es recomença de nou el procés.

Dintre de la fase d'adquisició d'informació, assoleix plena importància el concepte de *xarxa de control*. Sota aquesta denominació s'entén un conjunt de punts preestablerts, als quals es realitzen unes mesures experimentals específiques, amb una determinada freqüència, i amb una finalitat també determinada, normalment lligada a un criteri legislatiu.

A Catalunya les xarxes de control existents són les que s'indiquen a continuació, que es descriuen amb detall dintre de la ponència:

- aigües superficials continentals
- aigües subterrànies
- aigües marines.

Igualment, pel que fa referència al control d'abocaments al medi aquàtic, es poden classificar dintre de les categories següents:

- control d'abocaments d'establiments industrials i assimilables
- control dels sistemes públics de sanejament (EDAR).

Abstract

Water public management is determined by three factors of influence: the available resources (economic and physical), the level of development of science and technology, and the conflicting interests of users. The integration and organization of the three dimensions (economic, social and scientific) are achieved through the law, which actually establishes the rules by which management decisions will be supported.

The broad term 'water quality' includes several concepts:

- chemical quality and ecological quality
- quality and quantity
- environmental compartments: water, sediments and biota
- the anthropic water cycle
- immission quality *versus* emission quality.

For all those aspects there is a reference law. It must be kept in mind that during the last years this law has suffered a progressive evolution: the concept of quality based on the 'uses' of water has changed into a new paradigm based on ecological quality with the new Water Framework Directive.

The water quality management cycle is based on the following three-phase scheme: *a*) acquisition of information, *b*) evaluation and *c*) decision implementation. From that point on, after examining the results and the effects obtained, there is a feedback to a new cycle of the process.

In the information acquisition phase, the concept of *monitoring network* is very important. It is conceived as a set of predefined spots in which a series of specific experimental measurements are periodically carried out with a well-defined purpose (usually within the scope of an existing legal requirement).

In Catalonia the current existing water monitoring networks are as follows:

- inland surface waters
- ground waters
- marine waters.

Regarding the sewage discharges to the aquatic environment, the following types of monitoring controls can be considered:

- monitoring of discharges from industrial facilities
- monitoring of discharges from wastewater treatment plants (WWTP).

1. Introducció: la gestió de l'aigua

Des d'un punt de vista general es pot afirmar que la gestió pública de l'aigua està condicionada per tres elements o factors d'influència, que delimiten el marc d'actuació possible.

- la disponibilitat de recursos, tant materials com econòmics,
- l'estat de la ciència i la tecnologia,
- els interessos, de vegades contraposats, dels diferents usuaris.

La integració i articulació d'aquestes tres dimensions —econòmica, social i científica— és possible gràcies a l'existència d'un referent legislatiu, el qual, en definitiva, fixa les regles que s'han d'aplicar a l'hora de prendre les decisions pròpies de la gestió pública.

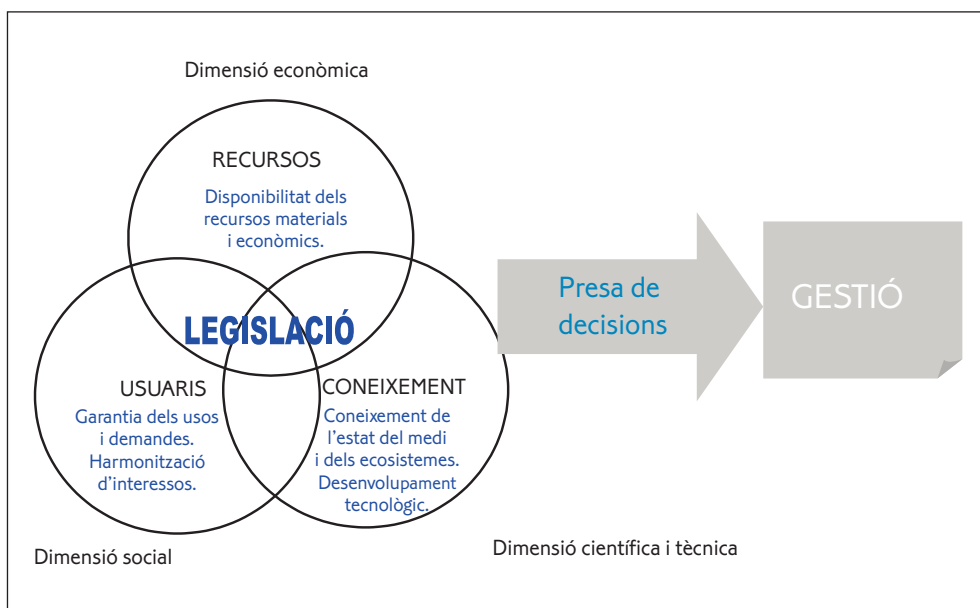


FIGURA 1. La gestió pública de l'aigua.

FONT: A. Ginebreda, Agència Catalana de l'Aigua.

2. Consideracions sobre el concepte de *qualitat de l'aigua*

Quan es parla de *qualitat de l'aigua* implícitament s'està fent referència —i això es fa parlès només a la vista del programa d'aquestes jornades— a tot un conjunt de diferents àmbits, tots rellevants, i que no per coneguts es poden deixar de tenir presents.

Unes breus consideracions sobre aquesta «multidimensió» de la qualitat poden resultar útils per a acabar de situar el context d'aquesta intervenció (i, potser, també d'altres).

2.1. Qualitat química i qualitat ecològica

Amb els extraordinaris avenços assolits per la química analítica, la caracterització fisicoquímica del medi aquàtic proporciona una manera objectiva i quantificable per a avaluar-ne la qualitat, d'enorme potència i fiabilitat. Els paràmetres fisicoquímics són, doncs, els indicadors «clàssics» de qualitat. Tanmateix, cal no perdre de vista que la qualitat desitjable al medi aquàtic és quelcom més que «aigua neta» (aquest és un requisit necessari, però no suficient), i que, en definitiva, el que ens n'interessa és la qualitat «sistèmica», o qualitat ecològica. Sorgeix, per tant, el concepte de *indicador de la qualitat ecològica*, que és incorporat significativament per la nova Directiva marc de l'aigua. Trobem, així, dos tipus d'indicadors que hem de qualificar de complementaris i que mai no poden ser mútuament excloents: per una banda els ecològics, que són els que realment defineixen l'estat últim del medi aquàtic (i, per tant, en aquest sentit, més rellevants), però que, en contrapartida, davant d'una situació problemàtica presenten menys capacitat de «diagnòstic», i per l'altra els fisicoquímics, més precisos, quantificables i mesurables, i de gran utilitat pràctica a l'hora d'investigar les causes concretes d'una manca de qualitat.

2.2. Qualitat i quantitat

Parlar de qualitat ambiental de l'aigua no és possible sense considerar també els aspectes quantitius. Tots dos van íntimament lligats, tant si es tracta de la qualitat química (recordem, en aquest sentit, que la dilució influeix directament en la concentració de qualsevol paràmetre químic), com de qualitat ecològica. Així, per exemple, un dels conceptes importants que cal tenir en compte dintre d'aquest darrer àmbit és el de cabal ecològic, o cabal mínim necessari per a mantenir la integritat de l'ecosistema associat.

2.3. Els compartiments ambientals

Quan es parla d'aigua o medi aquàtic (fins i tot des del punt de vista estrictament fisicoquímic) hem de referir-nos obligatòriament no solament a *l'element líquid*, sinó també als altres compartiments ambientals que es troben en interacció directa: així no es pot deixar de parlar de qualitat del sòl o sediments i del conjunt d'éssers vius que hi habiten o *biota*. Així, per exemple, és ben conegut que determinats microcontaminants orgànics (per exemple, DDT, PAH, etc.), a causa de les seves propietats fisicoquímiques, tenen tendència a acumular-se o bioacumular-se al sòl i a la biota. Referir-se a la qualitat de l'aigua comporta, doncs, incluíblement, estudiar simultàniament aigua, sòl i biota.

2.4. El cicle antròpic de l'aigua

Des d'un punt de vista antròpic estrictament pràctic, interessa destacar dues parts del cicle hidrològic: les aigües abans de ser utilitzades o aigües netes i les aigües ja utilitzades que cal tractar abans de restituir-les al seu medi natural. Com és evident, els criteris de qualitat que s'han d'aplicar en ambdós casos són totalment diferents.

2.5. Immissió vs. emissió

La qualitat del medi receptor (immissió) es veu en bona part determinada per la dels abocaments que hi arriben (emissió). Aquests dos termes —*immissió* i *emissió*— (habitualment utilitzats, per altra banda, en el context de la qualitat atmosfèrica) òbviament estan relacionats, però des del punt de vista quantitatiu hi ha un abisme entre els nivells de contaminants acceptables en immissió i en emissió. Lògicament aquests darrers són molt més alts que els d'immissió, ja que implícitament pressuposen una capacitat de dilució del medi. La legislació vigent així ho entén, i fa la corresponent distinció, fixant, per una banda, objectius de qualitat pel medi receptor i límits d'abocament o d'emissió per l'altra.

3. Enfocaments legislatius sobre la qualitat de l'aigua

3.1. La legislació clàssica: qualitat en funció dels usos

Quan parlem de qualitat de l'aigua, la pregunta que de manera natural se'ns planteja és: qualitat per a quina finalitat? És clar que no seran els mateixos els requisits de qualitat demanats per a una aigua de consum, que per a la que es destina a reg agrícola, o per a l'efluent d'una depuradora. És, per tant, inseparable el concepte de *qualitat* i el dels *usos* als quals l'aigua va destinada.

La legislació «clàssica» europea fa ampli ressò d'aquest fet, i així hi ha tot un conjunt de directives (transposades a legislació estatal) que fixen el nivell de qualitat desitjable en funció dels usos: aigües destinades a ser potabilitzades («prepotables»), aigües destinades a mantenir vida piscícola, aigües de bany, aigües per a la cria de mol·luscs, etc. Val a dir, no obstant això, que aquesta legislació múltiple actualment coexisteix amb la nova Directiva marc, tot i que es preveu que siguin gradualment derogades i substituïdes per aquesta darrera, a mesura que vagi assolint el seu horitzó total d'aplicació.

D'acord amb el criteri d'ús, clàssicament hi ha els següents «estàndards» legislatius:

- aigües d'abastament («beguda»)
- aigües destinades a la potabilització (aigües «prepotables»)

- vida piscícola
- aigües de bany
- aigües destinades a la cria de mol·luscs.

3.2. *La nova legislació (Directiva marc)*

Per contra, les noves tendències legislatives, que tenen el seu exponent més representatiu en la Directiva marc, presenten com a tret més representatiu la introducció explícita per primera vegada de l'estat ecològic com a complementari del químic per a definir la qualitat global de les aigües naturals.

Quant a la qualitat dels abocaments, és important citar com a nova tendència l'exigència progressiva en funció de les millors tecnologies disponibles.

Qualitat de les aigües naturals (Directiva marc)

- aigües superficials continentals
- aigües litorals
- aigües de transició
- aigües subterrànies.

Altres

- zones protegides (abastament, interès natural, etc.)
- masses d'aigua fortament modificades
- masses d'aigua artificials.

Qualitat dels abocaments

- límits d'abocament en funció de les *millors tecnologies disponibles* (IPPC).

4. Les xarxes de control de qualitat i el control d'abocaments

La gestió de la qualitat segueix el cicle representat en la figura 2.

Si ens concentrem en la primera part d'aquest cicle de gestió de la qualitat del medi aquàtic, és a dir, en l'origen de la informació sobre el medi, trobarem les anomenades *xarxes de control de qualitat*, enteses com un conjunt de punts preestablerts, en els quals rutinàriament (és a dir, amb una freqüència determinada) es realitza un control amb una finalitat específica.

En el cas actual de Catalunya, l'Agència Catalana de l'Aigua disposa, a data de 2003, de les xarxes que s'indiquen a continuació:

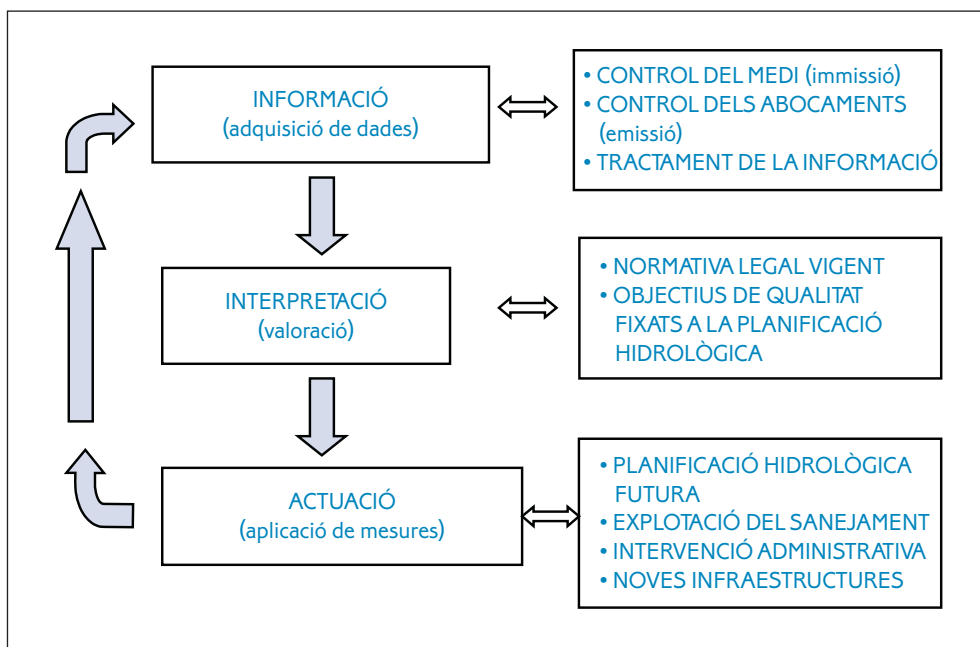


FIGURA 2. El cicle de la gestió de la qualitat de l'aigua.

FONT: A. Ginebreda, Agència Catalana de l'Aigua.

a) Aigües superficials (157 punts de control) (figura 3)

- xarxa de vigilància
- xarxa operativa
- xarxa d'abastaments
- xarxa d'embassaments
- zones humides
- CHE
- control de metalls i microcontaminants orgànics en sediments i peixos.

b) Aigües marines (punts de control) (figura 4)

- aigües de bany (qualitat sanitària de les platges): 253
- xarxa ambiental (camps propers, mitjans i llunyans): 113
- metalls i microcontaminants orgànics en sediments: 56
- fitoplàncton tòxic: 24
- comunitats bentòniques: 60
- cartogràfic de comunitats litorals: 3.500 × 50 m
- control de *Caulerpa taxifòlia*: 126
- *Posidonia oceanica*: 12.

c) Aigües subterrànies (677 punts de control) (figura 5)

- xarxa de vigilància
- salinitat
- nitrats
- seguiment d'episodis de contaminació.

d) Xarxa automàtica de control de qualitat (35 punts de control) (figura 6)

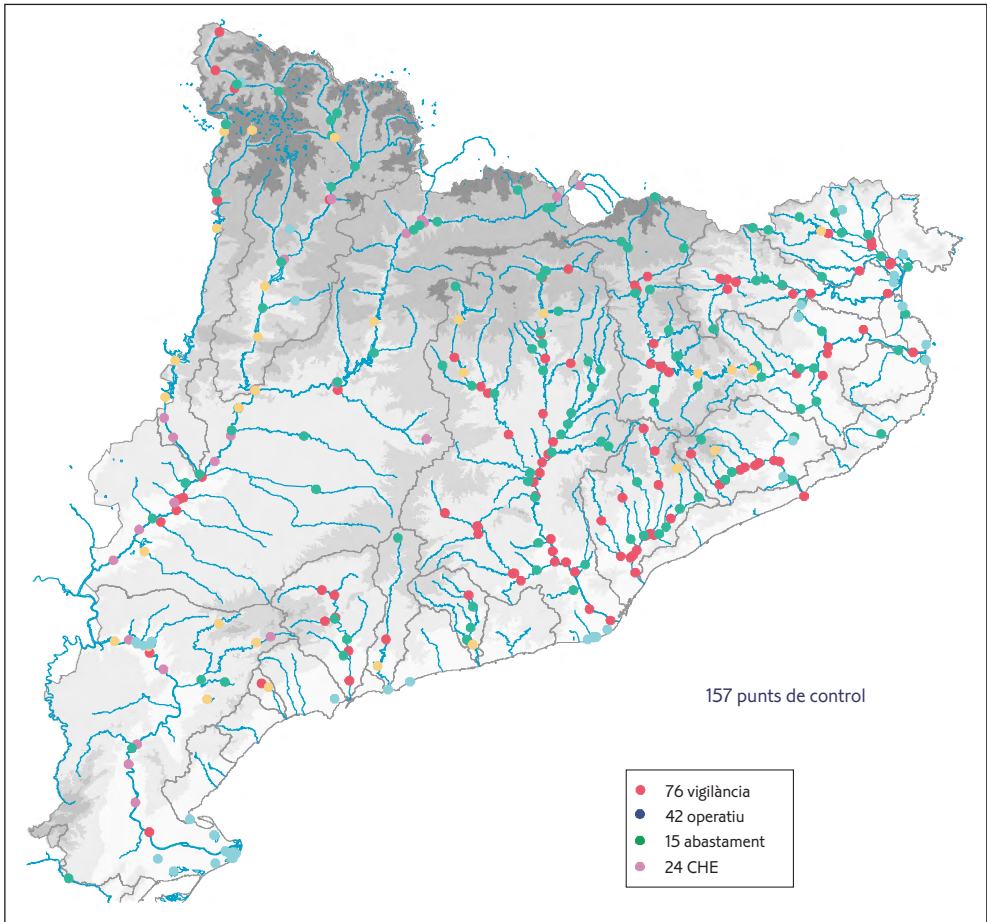


FIGURA 3. Xarxa de control de qualitat de les aigües superficials continentals.

FONT: Agència Catalana de l'Aigua.

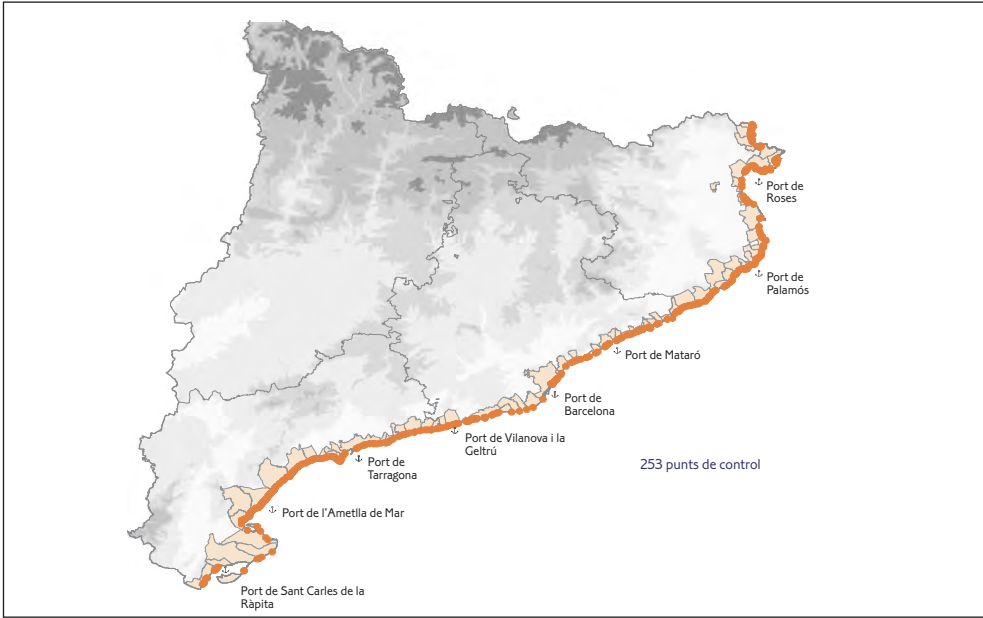


FIGURA 4. Xarxa de control de qualitat sanitària de les zones de bany litorals.

FONT: Agència Catalana de l'Aigua.

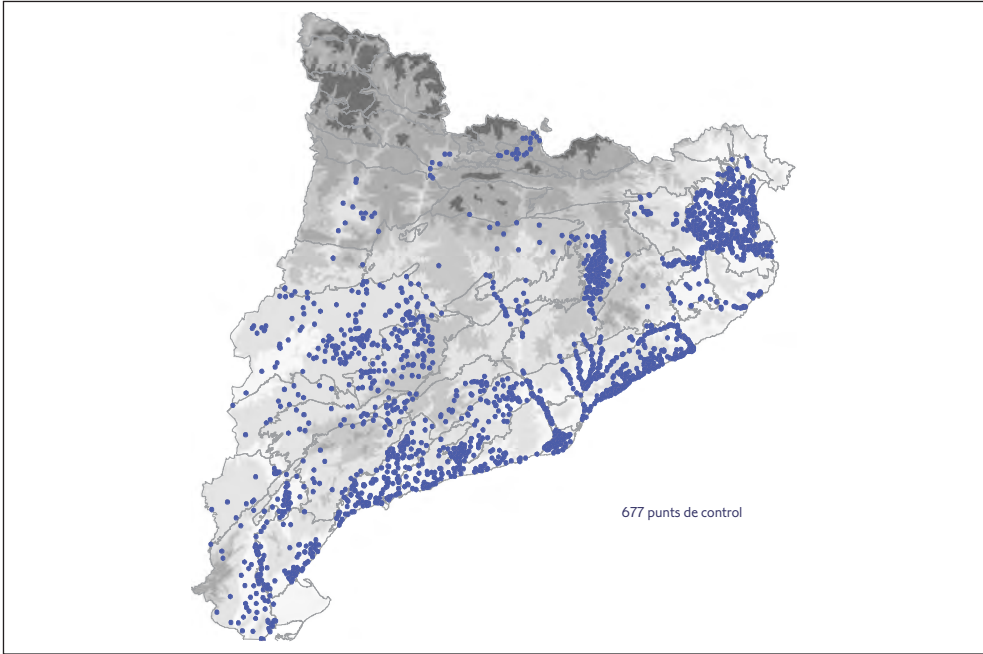


FIGURA 5. Xarxa de control de qualitat de les aigües subterrànies.

FONT: Agència Catalana de l'Aigua.

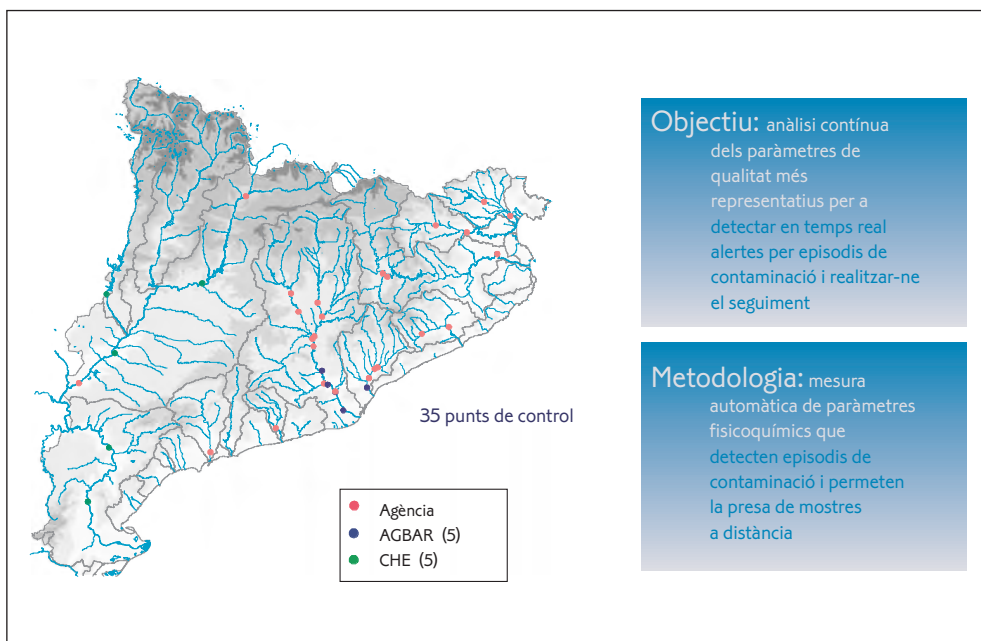


FIGURA 6. Xarxa automàtica de control de qualitat de les aigües superficials continentals.

FONT: Agència Catalana de l'Aigua.

Finalment, si ens referim no ja a l'estat del medi, sinó a l'impacte dels abocaments sobre aquest, hi ha dues grans categories que cal considerar: els abocaments procedents dels sistemes públics de sanejament i els originats per les diverses activitats econòmiques particulars, principalment (però no únicament) industrials.

a) Sistemes de sanejament

D'acord amb el marc normatiu actual (Directiva 91/271/CEE), i atès que l'Agència és competent en matèria d'alta inspecció, durant l'any 2002 s'han dut a terme 3.052 inspeccions a les 292 estacions depuradores d'aigües residuals públiques de Catalunya, per tal de comprovar que els respectius abocaments es realitzaven d'acord amb el marc normatiu esmentat. Així mateix, derivades d'aquestes inspeccions, s'han pres 3.216 mostres i s'han analitzat 28.965 paràmetres.

b) Inspecció i control d'abocaments industrials i assimilables

Pel que fa als controls en establiments industrials o assimilables, durant l'any 2002 s'han fet 11.197 inspeccions, s'han pres 6.369 mostres i s'han analitzat 107.772 paràmetres.

A continuació es detallen aquestes dades, classificades segons els diferents grups d'activitat econòmica:

TAULA 1
Inspecció i control dels abocaments industrials (any 2002)

| <i>Classificació d'activitats econòmiques</i> | <i>Inspeccions</i> | <i>Mostres</i> | <i>Paràmetres</i> |
|-----------------------------------------------|--------------------|----------------|-------------------|
| Alimentàries | 1.987 | 1.246 | 14.745 |
| Tèxtils | 1.034 | 817 | 14.349 |
| Adobadores | 252 | 194 | 7.375 |
| Papereres | 570 | 311 | 5.978 |
| Químiques | 1.191 | 1.091 | 21.116 |
| Galvàniques | 618 | 495 | 9.661 |
| Altres de manufactureres | 3.258 | 1.341 | 21.726 |
| Altres de no manufactureres | 2.287 | 874 | 12.822 |
| <i>Total</i> | <i>11.197</i> | <i>6.369</i> | <i>107.772</i> |

FONT: Agència Catalana de l'Aigua.

Resum

La necessitat de l'aigua en la pràctica i el desenvolupament de l'agricultura és d'una obvietat tan evident que fa inútil qualsevol comentari justificatiu. El mateix s'ha de dir de l'aigua en relació amb la vida, entesa en el sentit biològic més habitual. Tenint en compte que una de les necessitats primeres, totalment imprescindible, de l'home és la d'alimentar-se, el que li cal en primer lloc és proveir-se d'aliments, majoritàriament a través de l'agricultura. El que no és en absolut imprescindible és que els aliments es produeixin al costat mateix dels grans centres de consum, de les grandioses aglomeracions urbanes actuals. La millora dels mitjans de transport, que fa possible proveir-se d'aliments produïts en qualsevol part del món, de manera rendible i competitiva, obliguen a repensar seriosament els grans projectes de nous regadius. Molt sovint aquests s'ubiquen en territoris poc adients o gens i molt sovint també sense gaire respecte pel medi natural ni per les espècies animals i vegetals existents allà. En tots aquests casos s'ha de procurar *pensar amb rigor i sentit crític* per a allunyar-nos dels biaixos cap als quals a vegades les circumstàncies de la vida i de la feina de cadascú ens poden portar.

Abstract

The need for water in agriculture is so obvious that no justification might appear to be necessary. The same could be stated for water as the essential element for life. Bearing in mind that one of the first needs of human beings, an absolutely basic one, is eating, it is essential to obtain enough foodstuffs. Agriculture is the main source to satisfy this need. However, this does not necessarily imply that production and consumption centres, urban and rural areas must be close to each other: thanks to the improvement of means of transport, food is produced anywhere in the world, bringing profits and in a competitive way. This fact has an impact on new irrigation projects because irrigation lands are often located in unsuitable areas, which creates a negative impact on the environment. For this reason, it is essential to think with scientific rigor and critical awareness, and to avoid being biased by life and work circumstances.

Per començar, i abans que cap altra cosa, citaré unes frases del filòsof Josep-Maria Terricabras, membre de l'Institut d'Estudis Catalans, que trobo molt indicades com a lema per a iniciar la meua exposició sobre *L'aigua en l'agricultura*, que pot ser un tema ben complicat i difícil. Amb les frases de Terricabras vull, no tan sols fer unes citacions de prestigi, sinó, i sobretot, crear un marc ideal de pensament rigorós i crític, que és el que crec que convé especialment en aquesta ocasió.

Les frases en qüestió —quatre en total— no han estat tretes de cap llibre, sinó de l'encapçalament d'una nova pàgina web¹ que Terricabras ha penjat a la xarxa. La que poso en primer lloc és la que diu:

Pensar amb rigor i sentit crític.

que complemento amb les tres següents, que diuen així:

Pensar amb més claredat.

Pensar millor per a entendre més.

Entendre més per a actuar millor.

Són frases que no necessiten comentaris. Si de cas m'atreveixo a fer un únic comentari serà per a dir que, a la segona, entenc que la claredat de què es parla s'hauria de prendre en el sentit de puresa de comprensió i d'intencions, que ens allunyi dels biaixos als quals, a vegades, les circumstàncies de la vida i de la feina de cadascú ens poden portar.

Feta aquesta breu introducció, que podríem qualificar com de tipus conceptual i metodològic, ja podem començar a entrar en el tema en concret. Potser, però, abans de continuar, convé que els adverteixi que el meu discurs no es basarà en llargues i monòtones llistes estadístiques, que poden trobar en altres autors i en els prestigiosos llibres d'estadístiques que es publiquen anualment. Tampoc no em basaré en l'evolució dels preus al llarg dels anys i dels segles, encara que sí que hauré de fer-hi alguna breu referència. I tampoc el PIB i les seves variacions serà objecte especial de la meua atenció.

Fins i tot penso que m'hauria de disculpar davant del lector per atrevir-me amb aquest tema. Ho dic pensant en els autors que han tractat a bastament aquestes qüestions, i molt especialment pensant en el meu bon amic Jordi Peix, bon amic i mestre en moltes coses, que fa poc més de dos anys va parlar, en aquesta mateixa seu de l'Institut d'Estudis Catalans, de la *gestió de regadius*, en un cicle de conferències dedicades a *l'aigua i el medi*. El seu treball, molt ben documentat, com correspon als extensos coneixements que té de la matèria, omple cin-

1. Vegeu l'adreça: <http://www.terrincabras-filosofia.info>.

quanta pàgines del llibre² que l'Institut ha editat amb totes les conferències del cicle. No cal dir que en recomano especialment la lectura. I encara he de dir que si la meua exposició és la que és i no una altra, en certa manera és perquè Jordi Peix va escriure el que va escriure. I amb això no vull pas que es pensin que li carrego a ell el mort del que jo he escrit, que la culpa és meua, tota meua i ben meua.

L'aigua, necessària i imprescindible per a la vida

Dit això, ja puc començar a parlar de l'aigua en l'agricultura. I, per a començar, sembla que estaria bé dir que l'aigua és absolutament necessària i imprescindible en l'agricultura, i encara més si parlem de l'agricultura de regadiu! Però dir això és d'una obvietat tal, que, a més de ser excessiva i totalment gratuïta, resulta gairebé allò que en diuen «insultant per a la intel·ligència» de l'oient o del lector. Jo crec que, en canvi, el que sí convé destacar és el caràcter d'element —entès en el sentit dels clàssics— absolutament necessari i imprescindible de l'aigua en qualsevol forma de vida, de les més elementals dels éssers unicel·lulars, fins a les més complexes dels vegetals i els animals superiors, inclosa la totpoderosa espècie humana.

En parlar de vida em refereixo, és clar, no pas a les formes aparents de vida que presenten els ciborgs de les novel·les de ciència-ficció, per més mostres que puguin donar d'una gran intel·ligència, que no deixa de ser una intel·ligència artificial, evidentment. No em refereixo tampoc a les formes de vida que puguin presentar certs metalls líquids (a vegades), com les dels *terminators* de les pantalles cinematogràfiques, que són capaços de refer-se i de tornar a actuar com a éssers «vius» a partir de les múltiples partícules en què els ha convertit, per a dir alguna cosa, l'explosió d'una potentíssima bomba.

En parlar de vida em refereixo, evidentment, a la vida tal com l'entendem els humans: des de la vida del més humil dels cucs de terra, de la més humil de les moltes, fins a la de l'ésser més superior de l'escala evolutiva de la naturalesa, l'home. Parlant de l'home, de la vida i de l'aigua, potser convé recordar, com a dada prou significativa, que el cervell humà està compost en un 85 % per aigua. Bé, del que parlo, doncs, és de la vida que és possible gràcies a l'aigua, de la vida que dóna l'aigua, i, en definitiva, de la vida de l'aigua.

Convé recordar, també, encara que sigui molt breument i superficialment, de la anormalitat de les propietats físiques i químiques de l'aigua, que la fan una substància excepcionalment important des de molts punts de vista, en particular en els éssers vius, a partir del

2. Jordi PEIX (2003), «Gestió de regadius», a *L'aigua i el medi*, Barcelona, Institut d'Estudis Catalans, col·l. «Publicacions de la Presidència», núm. 11, p. 143-195. Aquest mateix treball ha estat publicat també a *Quaderns Agraris*, núm. 27, p. 69-104. Se'n pot aconseguir una còpia baixant-la en format PDF de la pàgina web de l'Institut <http://www.iecat.net>, dins «Societats filials», «Ciències Biològiques», «Institució Catalana d'Estudis Agraris», «Publicacions», i, més directament, encara, accedint a l'adreça <http://www.iecat.net/institucio/societats/ICEstudisAgraris/inici.htm>.

mateix origen de la vida, en la qual degué tenir lloc. Així, per exemple, la densitat que té en l'estat sòlid ($0,917 \text{ g/cm}^3$), sensiblement inferior a la de l'estat líquid; la màxima densitat als $4 \text{ }^\circ\text{C}$; els valors elevats de les temperatures de fusió i ebullició; els valors elevats de les calor específica, de fusió, i de vaporització que fan que les masses d'aigua actuïn com a volant tèrmic, i que influeixin enormement sobre el clima. Precisament la calor d'evaporació i la calor de fusió que té, excepcionalment altes, en fan un factor termoregulador bàsic (suor, transpiració, resistència a la glaçada). És per això, a més de la gran calor específica que té, que els éssers vius poden emmagatzemar molta calor i atenuar les variacions de la temperatura exterior.

La importància fisiològica de l'aigua és una conseqüència de les seves excepcionals propietats físiques i químiques. I l'estructura polar li confereix propietats dissolvents i ionitzants que en fan un medi ideal per a mantenir dispersos i convenientment ionitzats enzims, sals minerals, etc., i per al transport d'aquests materials. Així, doncs, no ha de sorprendre que, en els teixits amb més gran activitat fisiològica, la presència de l'aigua hi sigui en més gran quantitat: en els meristemes, un 93 %; en els embrions humans de tres dies, el 97 %; en els fetus humans de tres mesos, encara el 91 %, i en els de vuit mesos ja ha baixat al 81 %, aproximant-se, tot i que en queda força lluny, al percentatge de l'home adult, que és del 65 % en conjunt, encara que al cervell és del 85 %, com ja s'ha dit. Com a éssers vius amb un percentatge d'aigua més alt s'acostumen a citar les meduses —les que tantes molèsties ocasionen a vegades als banyistes—, que són aigua, i només aigua, en un 95-97 % del seu pes. Però ja que parlem d'agricultura, citem que enciams, espàrrecs i espinacs són, gairebé com les meduses, pura aigua en un 95 % del pes; un contingut no tan alt és el de mongetes tendres, tomàquets i pastanagues, que són aigua en un 90 %; més avall en l'escala hi ha les carxofes, peres i pomes, amb un 85 %, i encara més avall, les patates, amb un contingut aquós del 80 %. Altra cosa ben diferent són, per exemple, les mongetes seques i els cigrons, que només tenen un 10 % d'aigua.

Sembla que amb aquesta mostra de dades que acabo de donar queda prou clara i evident la importància de l'aigua, no tan sols per a l'agricultura específicament, sinó també, i més en general, per a qualsevol manifestació de vida, amb caràcter de necessitat totalment i absolutament imprescindible. Podem dir ben tranquil·lament, a manera de sentència i sense por d'equivocar-nos, que l'aigua és font de vida i que *sense aigua no hi ha vida*.

Els humans i les fonts d'aliments

Centrant-nos més en el tema, i enfocant-lo des de la nostra situació actual d'humans, de la qual no podem defugir, hem de considerar que el que necessitem són aliments, cada dia i diverses vegades al dia. Des que l'home va començar a ser home, separant-nos del primat més pròxim que tenim, el ximpanzé, ara fa uns cinc milions d'anys, una de les activitats màximes

que té ha continuat sent la recerca d'aliments, els aliments diaris que el permetrien estar viu, créixer i reproduir-se, tenir cura de les seves cries, etc. Aquest proveïment d'aliments molt sovint li ha estat dificultós en un grau màxim, i l'ha obligat a constants desplaçaments i a llargs moviments migratoris. L'invent (o descobriment, que ve a ser el mateix) de l'agricultura, fa relativament ben pocs anys, deu o onze mil a tot estirar, va anar canviant el sistema d'aprovisionament fins a arribar a l'actualitat que tots coneixem prou bé.

És bo de recordar que durant aquests cinc milions d'anys, menys els deu mil de l'agricultura, l'home practicava el sistema de vida que ara coneixem com dels *caçadors recol·lectors*. És a dir, que vivien dels animals que podien caçar, i també dels que trobaven ja morts, com a carronyaires, dels peixos que podien pescar, i de les fruites, llavors, arrels, fulles, etc., que recol·lectaven. Aquest sistema de vida comporta un nomadisme més o menys repetitiu, i l'establiment de petits grups, de vint a trenta individus, que es mantenien estables al llarg dels anys i dels segles. Pel que sembla, no vivien tan malament com ens podríem imaginar des de la nostra perspectiva actual, i fins i tot no els tocava treballar gaire per a aconseguir la ració diària d'aliments. En aquest sentit es pot citar el que diu Richard E. Leakey, de la nissaga dels arqueòlegs Leakey, descobridors de la famosa Lucy, que recull en un llibre seu³ els resultats aconseguits per Richard Lee, un investigador que va estudiar, al començament dels anys seixanta del segle xx, els !kung, un poble de caçadors recol·lectors de la vora del desert de Kalahari. Lee va poder comprovar que els homes del grup (trenta persones com a màxim) en tenien prou amb unes vint hores de caça a la setmana per a proveir-se de la carn que consumien tots plegats, i que les dones en tenien prou amb dotze hores setmanals per a proveir-se dels aliments vegetals, que constituïen aproximadament el 70 % de la dieta. Veritablement, tampoc no es pot dir que s'ho passessin tan malament i que haguessin d'estar tot el dia treballant per a poder menjar!

D'altra banda, dos etòlegs del Departament de Zoologia de la Universitat de Melbourne, Greg Wadley i Angus Martin,⁴ recullen en un treball seu sobre els orígens de l'agricultura les afirmacions d'uns altres investigadors segons les quals també que els caçadors recol·lectors havien de treballar menys que els primers agricultors per a aconseguir la mateixa quantitat d'aliments, i que estaven més sans i menys subjectes al perill de les fams que no pas ells.

Va ser amb l'adveniment de l'agricultura i la ramaderia que les coses van començar a canviar molt i molt acceleradament per a la humanitat. Van iniciar-se els processos de sedentarització, i els de jerarquització de les noves societats d'agricultors ramaders. Ara ja no els calia ser

3. Richard E. LEAKEY (1989), *La formació de la humanitat*, Barcelona, Ediciones del Serbal, p. 108.

4. La citació, en l'anglès de l'original, diu així: «Hunter-gatherers typically do less work for the same amount of food, are healthier, and are less prone to famine than primitive farmers (Lee & De-Vore 1968, Cohen 1977, 1989).» Es troba a Greg WADLEY i Angus MARTIN (1993), «The origins of agriculture? A biological perspective and a new hypothesis», *Australian Biologist*, núm. 6 (juny), p. 96-105.

nòmades quan s'esgotava el territori de caça; als seus corrals ja hi tenien cabres i ovelles, i més endavant bous i vaques. I ja no els calia fer llargues caminades per a tornar carregats de fruites, fulles o arrels; ja havien descobert com fer créixer vegetals comestibles als camps del costat de les seves incipients aglomeracions urbanes. I més canvis que va haver-hi amb l'establiment de l'agricultura: s'inventà també l'escriptura, i floririen les primeres grans civilitzacions del món antic: Assíria, Babilònia, Egipte... i, més endavant, grecs i romans.

Amb una població en creixement continuat, i molt sovint concentrada a les àrees urbanes, l'aprovisionament d'aliments s'ha fet freqüentment difícil, o molt difícil, i les grans fams han estat habituals a la història de la humanitat. Moltes vegades la solució al problema s'ha aconseguit amb l'emigració massiva de pobles sencers o de part de la seva població. Això últim és el que feien els grecs clàssics, que, quan els faltaven aliments, carregaven un vaixell amb gent jove i els enviaven a crear una nova colònia, on es poguessin alimentar sense dificultats. D'aquestes emigracions, clarament forçades, Karl Marx en deia *emigracions coercitives*,⁵ i pel que diu l'historiador E. Will, «el problema referente al impulso original que dio lugar a las colonizaciones, la localización de las colonias más antiguas, dan mayor base a favor del presupuesto de la tesis de la colonización agraria y del origen demográfico, y no mercantilista de la expansión colonial griega».

Així sembla que es va originar Massàlia, la Marsella actual, i de retruc la nostra Empúries. I per motius semblants es va poblar i colonitzar, més recentment, el Nou Món, Austràlia i Nova Zelanda, i la República de Sud-àfrica.

No hem d'oblidar tampoc que el comerç, a llargues distàncies, de productes alimentaris és una cosa que ve de molt antic. Durant l'Imperi romà s'exportaven, del que ara és l'actual Andalusia quantitats enormes d'oli d'oliva, contingudes a les clàssiques àmfores romanes, de les quals tantes s'han trobat a les restes arqueològiques de naufragis. I de les costes tarragonines sortien també vaixells carregats de vi, contingut a les clàssiques àmfores, òbviament, amb destinació cap a Roma, on els vins d'aquest origen hi eren molt apreciats. D'altra banda, és clàssica la manca de cereals panificables en algunes regions i en algunes grans ciutats, com, per exemple, Barcelona. Pierre Vilar diu sobre això, en la seva obra magna *Catalunya dins l'Espanya moderna*,⁶ que

Mai, quan la seva població s'ha tornat més densa, Catalunya no s'ha pogut abastar dels grans productes d'alimentació. «No, la nostra terra no és el paradís de la vida fàcil», subratllà Carles Pi i Sunyer quan analitzà les *aptituds econòmiques* de Catalunya.

5. Aquesta expressió de Marx i l'explicació d'E. Will es troben a V. V. STRUVE (1974), *Historia de la Antigua Grecia*, Madrid, Akal, p. 161, quarta edició 1981.

6. Pierre VILAR (1964), *Catalunya dins l'Espanya moderna*, vol. I: *Introducció: El medi natural* (1987), 5a ed., Barcelona, Edicions 62, p. 428.

És cert que han passat ja molts anys des que Carles Pi i Sunyer, primer, i Pierre Vilar, més endavant, escrigueren el que acaben de llegir. La producció s'ha incrementat, de ben segur, i s'ha especialitzat, però també s'ha incrementat, i molt, la població i el consum. El que segur que no s'ha incrementat, *per capita*, és el consum de pa, i, per tant, de blat. Les raons són prou conegudes: la por al *sobrepès*, propiciada pels nous models estètics dels cossos «Danone», i les noves recomanacions dietètiques per a una alimentació més diversificada, sana i saludable. I no sembla que l'èxit de les *pizzas*, abans desconegudes a casa nostra, i dels productes de la brioi-xeria industrial, als quals són tan aficionats els més menuts de la nostra societat, siguin suficients per a compensar la pèrdua de consum de pa. Recordem que abans el pa era l'aliment per excel·lència de la població, sobretot de les classes humils, i també de les no tan humils. La seva mancança, o els preus massa alts, podien provocar greus desordres socials, com va passar a Barcelona, Vic i Mataró amb els Rebomboris del Pa de l'any 1789, que acabaren molt malament, molt especialment per als revoltats (set executats a Barcelona), però també per a la capital, que va estar militarment ocupada durant diversos mesos. És per a evitar aquests problemes que les autoritats de Barcelona de sempre s'havien preocupat de tenir controlats els camins per on els arribava el blat, com el conegut com a «el vell camí del blat», part de l'antic camí ral de Barcelona a Madrid que, passant per la vall del Llobregat fins a Martorell, i «seguint l'Anoia per l'estret de Capellades, portava a la conca d'Òdena i, més enllà, als planells segarrencs i a les grans extensions ponentines, graner, durant molt temps, de Barcelona».⁷ També el camí fluvial de l'Ebre fou usat com a via fàcil per al transport del blat que es produïa a l'Aragó, i que en barcasses era portat fins a les ribes baixes del riu. Encara que no sempre calia arribar a Tortosa. Segons explica també Lluís Casassas, a vegades era suficient arribar a Garcia, població de l'esquerra de l'Ebre, aigües amunt de Móra la Nova, on la ciutat de Reus, a costa d'ella, «edificà grans magatzems destinats al gra que les barcasses baixaven des d'Aragó», de manera que així Reus actuava, fins a temps força moderns, com un gran centre d'emmagatzematge i distribució del blat aragonès.

Un altre i no menys prestigiós autor, Josep Iglèsies, ens parla també del transport del blat destinat a Barcelona en tractar del tema de la navegació per l'Ebre. Aquestes són les seves paraules:⁸

La Ciutat Comtal es proveïa de blat a les Garrigues i a Aragó, i es documenta que, a Flix, s'hi portava el blat de Llardecans. Per a evitar els impostos de pas que exigia Tortosa, Barcelona va fer reconstruir el camí carreter que anava del Castellet de Banyoles a l'Hospitalet de l'Infant i Miramar. Fins a la Guerra de Successió es mantingué en actiu aquest servei de proveïment.

7. Lluís CASASSAS (1978), *Fires i mercats a Catalunya*, Barcelona, Edicions 62, p. 70.

8. Josep IGLÈSIES (1974), «Ribera d'Ebre», a L. SOLÉ I SABARÍS (dir.), *Geografia de Catalunya*, vol. 3, Barcelona, Aedos, p. 187.

No tots els productes agrícoles són tan fàcils —relativament— de transportar com el blat, l'oli i el vi, els tres aliments sagrats de les cultures mediterrànies, que de tants anys enrere s'han portat amunt i avall al llarg de les costes del nostre mar mediterrani. Els productes més fàcilment peribles, algunes fruites i verdures especialment, no es podien pas produir en llocs molt allunyats dels centres de consum. La distància màxima a la qual es puguin transportar dependrà de com sigui de perible, del temps que transcorri durant el viatge, de les condicions en què s'efectuï aquest, sobretot de la temperatura, de la suavitat del mitjà de transport, etc. Un cas exemplar en aquest sentit és el de la llet, molt perible per la seva pròpia naturalesa, per les ràpides transformacions químiques i bioquímiques que comença a experimentar així que s'extrau de la mamella materna, sobretot els dies de fortes calors estiuenques. És això el que fa dir a McKeown⁹ que, abans de la difusió de les tècniques de producció de fred industrial i de les tècniques de la pasteurització, qui volia beure llet havia de viure prop d'una vaca o d'una cabra.

Les circumstàncies actuals

Ara, afortunadament, les coses són molt i molt diferents. I per això hem de considerar els fets i les circumstàncies actuals amb criteris actuals i des de punts de vista actuals. No podem pas oblidar que vivim en un món, per a bé o per a mal, cada vegada més globalitzat.¹⁰ Ara, quan s'incrementa la demanda alimentària d'una determinada àrea, generalment urbana, ja no s'envia el jovent a colonitzar nous territoris per a obtenir més aliments, com feien els grecs, sinó que el que es fa és simplement proveir-se de més productes alimentaris procedents de l'exterior, molt sovint de llocs ben allunyats però ben comunicats. Hi ha excepcions, evidentment, a països en què la fam obliga a emigrar poblacions enteres. Recordem els tristos casos de l'Àfrica subsahariana, però les raons són ben diferents i no és aquest el moment per a tractar-ho. De totes maneres, si no fos per aquests moviments d'aliments des dels centres de producció als grans centres de consum no s'explicarien, no podríem entendre i no podrien existir les grans aglomeracions urbanes del món actual. Recordem que a Tòquio hi ha gairebé vint-i-set milions d'habitants; que a la ciutat de Mèxic, com a Nova York, en són gairebé disset milions, i a Bombai gairebé arriben als setze. A Buenos Aires s'acosten als dotze, i, a París, als deu; a Londres en són set i mig llargs, i al Caire en són

9. T. McKEOWN (1990), *Los orígenes de las enfermedades humanas*, Barcelona, Crítica, p. 73.

10. El sentit amb què s'usen aquí els mots *globalitzar* i *globalització* no és el mateix que el que avui se'ls atribueix habitualment, més pròxim al *capitalisme salvatge* que practiquen moltes empreses industrials multinacionals establertes en països del Tercer i del Segon Món, en clar benefici de les seves seus centrals del Primer Món. Més aviat s'ha d'entendre en el sentit més ampli de mundialització, que inclouria els efectes beneficiosos de la millora dels transports, de les comunicacions, de la transferència de les noves tecnologies i de la internacionalització de les economies.

gairebé set milions.¹¹ I tots els seus ciutadans mengen (amb excepcions, malauradament). I tantes boques per a satisfer necessiten molt de menjar, que en gran part no es podrà obtenir a les zones de vocació agrícola dels voltants de les ciutats, d'aquelles que a l'edat mitjana en deien l'*hort i vinyet*. Ni tampoc no es podrà aconseguir en una segona, tercera o quarta anelles periurbanes, que cada vegada més estan ocupades per complexos fabrils, per aeroports, autopistes i carreteres, vies fèrries, etc. A l'àrea barcelonina ho podem veure ben clar: aeroport, autopistes i vies fèrries estan acabant amb els usos agrícoles del delta del Llobregat. Llevat de l'aeroport, el mateix passa amb la vall baixa d'aquest riu, que cada dia s'omple més de fàbriques —incloses les petroquímiques—, de grans superfícies comercials i d'enormes instal·lacions esportives. I coses semblants, encara que amb característiques particulars, passen al Maresme.

És evident que per a satisfer la demanda de les ciutats, més o menys grans, més o menys petites, s'ha de recórrer a les produccions de fora del seu àmbit territorial més pròxim. Els mitjans de transport moderns, ràpids i eficaços, dotats quan convé de sistemes de refrigeració, fan possible el gairebé miracle de proveir-nos amb gran rapidesa de productes que no sabem pràcticament d'on vénen. Es tracta de la versió agrícola, amb característiques particulars, de la temuda *deslocalització* industrial, que tant i tant preocupa treballadors, sindicalistes i polítics de bona part del Primer Món. I anant una mica més lluny, ara també podem menjar productes frescos d'una altra estació que no sigui la nostra actual si els anem a buscar a l'hemisferi austral. Cada any podem comprovar com, gràcies als transports aeris, per Nadal podem disposar de cireres fresques, a preus assequibles a moltes butxaques, que ens arriben de Xile.

D'aquestes dues qüestions, la *deslocalització* d'una banda i de l'altra la que podríem denominar, potser amb no gaire rigor ni encert, la *destemporització*, Massimo Montanari,¹² medievalista especialitzat en temes alimentaris, en diu que «superar las limitaciones del clima y las estaciones, independizarse de ellas, ha sido durante milenios un gran anhelo de los hombres, un importante objetivo de su organización alimentaria». Unes pàgines més endavant, Montanari, per a remarcar la importància d'aquests dos fets, diu això:

El sueño se ha hecho realidad, hemos conquistado el país de Jauja. Por fin nos podemos permitir vivir al día, como Adán y Eva antes de la caída, sin la angustia de tener que conservar y acumular. La comida fresca del tiempo es un lujo que sólo ahora, y no entonces, puede llegar a la

11. Aquestes dades d'algunes de les grans ciutats del món han estat tretes, inusualment i de manera insòlita, d'un llibre de text de matemàtiques per a joves estudiants del cicle superior d'educació primària: J. FRILE (2003), *Matemàtiques*, Barcelona, Vicens Vives, p. 3. L'elecció ha estat feta per raó de la seva simplicitat i del seu *dramatisme*, atès que s'hi incorporen els habitants de les poblacions marginals que ajuden a conformar les grans aglomeracions urbanes. Agraïxo aquesta informació a la meva néta Laia Jorba Ràfols.

12. Massimo MONTANARI (1993), *El hambre y la abundancia: Historia y cultura de la alimentación en Europa*, Barcelona, Crítica, p. 159, 161-162. D'aquest llibre, se'n pot trobar la ressenya feta per l'autor a la revista virtual *Biblio 3W. Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales* (en línia), (Universitat de Barcelona), núm. 92 (27 maig 1998), 5 p., ISSN 1138-9796, <<http://www.ub.es/geocrit/b3w-92.htm>>.

mesa de la mayoría. No es la recuperación de una dimensión perdida, sino la trabajosa conquista de un derecho que había sido el privilegio de unos pocos.

Queda clar que la implantació dels mitjans de transport moderns, començant pel tren, ha modificat substancialment el sistema de proveïment alimentari. En aquest sentit potser és bo de recordar que els preus del blat a Espanya no es van uniformar a tot el territori de l'Estat fins que la xarxa ferroviària no va quedar establerta íntegrament, i va arribar als quatre punts cardinals de la Península. Podríem dir que eren els inicis de la globalització contemporània.

Si ara podem anar a comprar productes de la terra, bons productes, per descomptat, a distàncies inimaginables fa un centenar, o potser només cinquanta anys enrere, i és possible que a preus bons i competitius, potser millors que els produïts més a prop, ben a prop del centre consumidor, quines raons pot haver-hi per a voler tornar a un règim d'autosuficiència, gairebé autàrquic? Que consti que amb això que acabo de dir no em declaro pas enemic de l'establiment de nous regadius, ni de res que s'hi assembli. Simplement el que vull dir, seguint la línia de pensament crític i rigorós que he enunciat al començament, és que abans d'abocar-nos indiscriminadament a una política de regadius sens fi, són moltes les qüestions que s'han de tenir en compte, i moltes les preguntes que s'han de plantejar i contestar adequadament. Moltes seran de tipus tècnic, d'altres d'ordre mediambiental, econòmic, etc., però n'hi ha algunes que ultrapassen aquestes qüestions i plantegen problemes més transcendents, que poden afectar segments importants de la població.

A mi, se m'acut, per a començar, que per què cal posar en regadiu zones semidesèrtiques de la nostra geografia? Conec algunes de les respostes, com, per exemple, que es fa per a incrementar la producció, i poder diversificar-la amb produccions que no són possibles sense el reg adequat. La contraresposta ràpida és preguntar: i, això, a quin cost? I aquí pot ser que ja es comenci a embolicar la troca: que si un tant per cent elevat es pagarà amb diners públics, que si la part que correspongui a l'agricultor es podrà pagar a molt llarg termini, etc.

Els dos principis fonamentals de l'agricultura

Aquí, en aquest cas, i en molts d'altres de similars, sembla que aniria bé tenir en compte els dos *principis fonamentals de l'agricultura*¹³ que fa anys que vaig enunciar, amb motiu d'unes lliçons que vaig haver de donar a la UB sobre l'agricultura catalana. El nom, potser massa pretensions, el vaig adoptar copiant una mica el dels principis fonamentals de la termodinàmica, encara que temo molt que més aviat en vaig fer una mena de paròdia.

En principi, del que es tracta és d'establir una mica per què en agricultura les coses són les que són, i no unes altres. L'enunciat d'aquests dos principis els podrà semblar, a primer cop

13. J. RÀFOLS CASAMADA (1995), «Algunes consideracions teòriques sobre l'agricultura i el seu desenvolupament», *Quaderns Agraris* (Barcelona), núm. 17, p. 79-80.

d'ull, una mena d'acudit (*boutade*), però no els vaig pas redactar amb aquesta intenció. Bé, vostès ho jutjaran. En primer lloc, el primer principi, molt simple, l'he formulat així: *l'agricultura és una funció del clima*. Em podran dir que això tothom ho sap. I jo els respondré que sí, però que molt sovint s'oblida.

Aprofundint en aquesta qüestió, s'entén que el que vol dir l'enunciat és que a cada terra, a cada regió climàticament uniforme, li correspon naturalment un determinat tipus de vegetació que li és propi, que hi està ben adaptat i que és el que podríem cultivar-hi de manera extensiva o intensiva sense gaires problemes. Exemples típics de moltes de les nostres terres mediterrànies són, a més de les bones herbes de la cuina —farigola, orenga i sajolida—, els integrants de la clàssica trilogia mediterrània —el blat, l'olivera i la vinya—, vegetals ben adaptats als estius secs i calorosos, sigui perquè en els moments de màxima calor i secada ja no estan en període vegetatiu —cas dels cereals—, sigui per la profunditat de les seves arrels —la vinya—, o bé pel fet que adopten una certa parada vegetativa, com fan les oliveres. Si volem sortir dels vegetals que permet el clima, només podrem aconseguir-ho a base de modificar-lo. La manera més senzilla de fer-ho és regant, que és aproximadament una manera d'enganyar les plantes subministrant-los l'aigua que hauria de caure del cel, però que no cau. La modificació més sofisticada del clima l'obtidrem, però, amb el conreu sota la coberta dels hivernacles, dels quals n'hi ha tota una extensa gamma, des dels més senzills fins a aquells mitjançant els quals tot el clima queda modificat, i que inclouen fins i tot canvis en la il·luminació, tant en sentit positiu com negatiu, i en la duració dels cicles de llum i foscor.

Així no és cap disbarat pensar que aquí podríem produir tot el que volguéssim, fins i tot coses tan allunyades de la nostra terra com podrien ser les pinyes americanes i els plàtans, la qual cosa des del punt de vista científic i tècnic és totalment factible i possible. El que passa és que aquí entra en joc un altre factor, que és l'econòmic. Aquest és el factor que està determinat pel meu segon principi de l'agricultura, que podem enunciar així: *l'agricultura és una activitat productiva econòmica*.

Podríem fer el mateix tipus de comentaris que amb el primer principi, que això ja ho sabem tots, etcètera. I jo diria que tot sovint, massa sovint, s'oblida. S'oblida quan programem unes plantacions o uns conreus que produeixen uns productes que no tenen sortida al mercat, potser perquè productes iguals que vénen de molt lluny, gràcies a les facilitats actuals dels mitjans de transport, poden vendre's a preus més baixos. S'oblida també, i convé recordar-ho especialment aquí, quan es vol portar l'aigua per a regar conreus que no seran suficientment rendibles per a compensar els costos del reg. També s'hauria de tenir present que importar o exportar productes agraris d'un lloc a un altre equival, en certa manera, a moure enormes volums d'aigua sense haver de fer obres.

Unes consideracions finals

Tornant a la pregunta mare: per què posar en regadiu zones semidesèrtiques de la nostra geografia? Una altra de les respostes que conec és que convé per a equilibrar o reequilibrar el terri-

tori. Pel que fa a reequilibrar-lo, sembla que la qüestió va en el sentit de retornar-li una població que abans hi havia hagut, i ara ja no hi és perquè s'ha desplaçat a la ciutat més propera o potser a la gran ciutat, Barcelona, sobretot en el cas de Catalunya. Deixant de banda les migracions produïdes el segle XIX, provocades i propiciades per la revolució industrial, el problema de les migracions més actuals s'ha de mirar amb tot detall, perquè el possible despoblament rural a vegades és més fictici que real, com va posar de manifest fa uns quants anys la demògrafa Anna Cabré en unes jornades d'agricultura sobre *el despoblament rural*, que organitzà la ICEA a la UCE. Deia Cabré que si es fa una comptabilitat de la gent que ara ocupa, encara que sigui temporalment i que no hi siguin censats, molts pobles dels que es diu que s'estan despoblant, resulta que ara hi ha molta més gent que abans, cosa que és ben evident a moltes de les valls pirinenques.

I pel que fa al manteniment de la població que encara no ha emigrat, a força de donar-li ajudes econòmiques i subvencions de tota mena, sota els auspicis de la PAC o de qui sigui, a mi, i em sap greu haver-ho de dir, em recorda enormement la situació dels remences, aquells pagesos de l'edat mitjana, mig esclaus subjectes a la voluntat del senyor, que no podien abandonar la terra i la subjecció al senyor si no era pagant l'impost de la remença, que s'havia de pagar en metàl·lic, i que era pràcticament impossible de pagar perquè mai no podien aconseguir els diners necessaris. Aquesta injusta situació va provocar les guerres remences, molt ben estudiades per Vicens Vives i altres historiadors. Ara les coses són molt diferents, i als pagesos i els ramaders del món rural se'ls dóna ajudes, subvencions i «premis» perquè continuïn al seu lloc d'origen. Els arguments poden ser diferents, però el desig continua sent el mateix, que el pagès continuï a casa seva.

I què pot ser que faci convenient la permanència del pagès al seu territori? Un, que és malpensat, i ara que acaba d'haver-hi eleccions autonòmiques, pensa en la llei d'Hondt i les altres normes i lleis que fan que per a aconseguir un escó al Parlament només calguin 20.000 vots a les terres de Lleida, per exemple, contra 46.000 que són necessaris per a aconseguir-lo a la demarcació de Barcelona. Els comentaris, els deixo per a cadascun de tots vostès, i crec que són ben fàcils de fer.

D'altra banda, qui són els primers grans beneficiats en l'establiment d'una nova zona de regadius? En primer lloc, i d'una manera claríssima, les grans companyies constructores, seguides de les fàbriques de ciment i dels productors de les estructures metàl·liques imprescindibles avui dia en les obres de formigó armat. Això no deixa de ser un altre punt de reflexió.

Ja per a acabar, i com a reflexió final, són moltes les qüestions que s'han de tenir en compte, a més de les consideracions ja fetes, abans d'abocar-nos indiscriminadament a una política de regadius sens fi: la petjada ecològica pot ser molt llarga i les externalitats negatives¹⁴ ens poden costar molt cares.

14. Segons J. MARTÍNEZ ALIER (1984), *L'ecologisme i l'economia*, Barcelona, Edicions 62, p. 275-276, «en les externalitats hom inclou el que no passa pel mercat però que hom pensa (amb una barreja d'imaginació i de regles morals específiques, històricament contingents) que podria ésser valorat pel mercat. La pertinença del càlcul crematístic i de la història econòmica o de les previsions del futur que el fan servir depèn de les regles morals de la societat en qüestió (o de diferents grups socials)».

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. 1, 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) [exhaurit]
- 10 *Jornades sobre Biodiversitat i Conservació Biològica = Seminar on Biodiversity and Biological Conservation* (2003)
- 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) [exhaurit]
- 15 *Terratrèmols i temporals de llevant: dos exemples de sistemes complexos* (2003)
- 16 *Seminari de Finances de Barcelona: Curs 2001-2002* (2002) [exhaurit]
- 17 *La llengua i la literatura: història i actualitat* (2004)
- 18 *Història de la historiografia catalana* (2004)
- 19 *L'aigua, un recurs fonamental* (2006)



IECent anys 19072007



9 788472 838598