

Alternatives d'abastament de l'aigua

3.1. Introducció	74	3.3.7. Cost de la reutilització a Espanya	87
3.2. La gestió integrada dels recursos hídrics	77	3.3.8. Propostes de gestió	90
3.2.1. Regulació de recursos	80	3.4. Dessalinització	92
3.3. La reutilització planificada	79	3.4.1. Implantació de la dessalinització	94
3.3.1. Beneficis de la reutilització planificada	80	3.4.2. Economia de la dessalinització	94
3.3.2. Exigències de la reutilització planificada	81	3.4.3. Beneficis de la dessalinització	95
3.3.3. Fiabilitat del procés de regeneració	82	3.4.4. Dependència energètica	95
3.3.4. Tipus de reutilització	83	3.5. Reutilització i dessalinització	96
3.3.5. Tendències actuals	84	3.6. Conclusions	98
3.3.6. Exemples de reutilització	85	Bibliografia	101

Alternatives d'abastament de l'aigua

Rafael Mujeriego

Catalunya consta de dues àrees territorials ben diferenciades pel que fa als seus recursos hídrics i a les demandes d'aigua de cadascuna d'elles: la zona inclosa a la conca hidrogràfica de l'Ebre, amb recursos relativament abundants, i les conques internes, amb recursos més limitats.

Agraïments

Els estudis i experiències presentats en aquest treball han estat possibles gràcies a la col·laboració i el suport econòmic que diverses institucions públiques ens han ofert des del 1985, entre les quals cal destacar el Consorci de la Costa Brava, l'antiga Junta de Sanejament de la Generalitat de Catalunya, l'Agència Catalana de l'Aigua, la Diputació Foral d'Àlaba, la Comunitat de Regants Arrato, l'Orange County Water District, el Ministeri de Educació i Ciència, la Fundació de l'Institut Euro-mediterrani d'Hidrotècnia i la Federació Nacional de Comunitats de Regants d'Espanya.

3.1. Introducció

Catalunya consta de dues àrees territorials ben diferenciades pel que fa als seus recursos hídrics propis i a les demandes d'aigua de cadascun d'ells. Mentre la zona inclosa a la conca hidrogràfica del riu Ebre disposa de recursos relativament abundants, les conques internes de Catalunya disposen d'uns recursos més limitats, una capacitat de regulació menor i una demanda urbana més intensa. Mentre les conques internes de Catalunya allotgen

uns 6,5 milions d'habitants, un 90% de la població, la conca de l'Ebre allotja menys d'un milió d'habitants, el 10% restant.

La taula 3.1 mostra els consums mitjans d'aigua per a diferents usos a les dues conques hidrogràfiques de Catalunya i posa de manifest les grans variacions entre els cabals dedicats a cada un d'ells. L'augment de la població, els plantejaments de nous regadius, la irregularitat de les precipitacions, l'estabilitat en la capacitat de regulació o emmagatzemament d'aigua, les limitades interconnexions dins de les conques i, sobretot, entre ambdues conques han portat durant la dècada dels anys 2000 a una situació crònica de falta de garantia del subministrament, tant urbà com agrícola i industrial. Aquesta situació ha assolit el seu punt més intens durant la primavera de 2008, en la qual els embassaments de les conques internes de Catalunya han arribat al 20% de la seva capacitat (610 hm³ de capacitat màxima total), amb la necessària aplicació d'una sèrie de restriccions en l'ús de l'aigua i la consideració de solucions d'emergència. Aquesta situació ha generat una gran sensibilitat per l'ús i l'estalvi del recurs i també un intens malestar entre concessionaris i usuaris de l'aigua dins de la zona d'abastament dels rius Ter i Llobregat (vegeu la taula 3.1).

Taula 3.1. Dotacions d'aigua per a diversos usos, en hm³/any, a les diverses conques hidrogràfiques de Catalunya durant la dècada dels anys 2000

Conca	Reg	Domèstic	Industrial	Demanda
Conques de l'Ebre	1.851	54	32	1.937
Conques internes catalanes	417	520	282	1.187
Total	2.268	574	314	3.124

Font: R. Mujelego, a partir de dades de l'Agència Catalana de l'Aigua.

L'abastament en alta (a l'engròs) d'aigua a la zona metropolitana de Barcelona el realitza Aigües Ter-Llobregat (ATLL), empresa pública dependent de l'Agència Catalana de l'Aigua. El volum d'aigua subministrat per ATLL a les companyies associades varia entre 460 i 490 hm³ a l'any, 180 hm³ dels quals procedeixen d'un transvasament del riu Ter, la conca hidrogràfica del qual està situada a la zona nord de Catalunya, 120-150 hm³ s'extreuen del riu Llobregat, la conca hidrogràfica del qual inclou l'àrea metropolitana de Barcelona, i 160 hm³ s'extreuen de diversos aquífers dins de la zona d'influència d'ATLL.

Encara que la xarxa regional de distribució d'aigua d'ATLL s'ha anat desenvolupant amb els anys, té una capacitat limitada d'interconnexió per assegurar la transferència d'aigua del riu Ter (que accedeix pel nord de la zona metropolitana) i del riu Llobregat (que accedeix pel sud de la zona me-

tropolitana) durant els freqüents períodes d'escassetat que ha experimentat la zona metropolitana durant l'última dècada.

La zona metropolitana de Barcelona cobreix uns 600 km² i inclou més de 30 municipis amb una població total pròxima a quatre milions d'habitants, la qual cosa representa una mica més del 50% de la població total de Catalunya, estimada actualment en 7,4 milions. És la primera zona industrial d'Espanya i la segona en termes de població, ocupació i renda. La seva estructura econòmica es basa en un sòlid sector industrial, ben diversificat i sotmès a un intens procés de diversificació al sector dels serveis, amb un clar compromís per convertir-se en una metròpoli de nivell internacional en la seva faceta social, cultural i econòmica. Té una elevada densitat de població (5.800 hab/km²), amb extenses zones urbanes, al llarg de les planes centrals, zones costaneres i els

deltes dels rius Llobregat i Besòs, que cobreixen un 40% de la seva superfície total. Les zones de vegetació natural, especialment el Parc Natural de Collserola, al nord, i el Parc Natural del Garraf, al sud, cobreixen un 38% del seu territori. Finalment, el sector agrícola ocupa la vall i el delta del riu Llobregat, la qual cosa representa el 16% del territori restant.

La intensa explotació del riu Llobregat com a font d'abastament d'aigua per a usos urbans, industrials i agrícoles, l'alta densitat de població de la zona metropolitana i el deteriorament de la qualitat de l'aigua del riu Llobregat, a causa del vessament agrícola i l'abocament d'efluents depurats d'origen urbà i industrial, han donat lloc a notables dèficits de quantitat i de qualitat d'aigua en moltes de les àrees proveïdes pel riu Llobregat. D'altra banda, la necessitat de disposar dels cabals transferits des del riu Ter, més fiables i de millor qualitat que els del riu Llobregat, ha fet que es concedeixi prioritat a l'ús de les seves aigües per al subministrament a la zona metropolitana de Barcelona, davant els usos propis de la conca del riu Ter, cosa que ha generat un notable dèficit d'aigua en aquesta conca i un creixent malestar entre la població que considera que aquesta és una captació desproporcionada dels seus recursos propis.

Entre les mesures plantejades i debates durant l'última dècada per satisfer els consums i augmentar la garantia de subministrament dels usos propis de les conques internes, i molt especialment dels usuaris proveïts per l'empresa ATLL, figuren l'estalvi d'aigua per part de la població i la indústria, la promoció de l'ús d'aqüífers locals, la utilització d'aigua regenerada per a reg

agrícola i de jardineria i per a recuperació ambiental, i la dessalinització d'aigua de mar. Mentre que l'estalvi d'aigua, especialment per a la població urbana, ha assolit nivells molt destacats, amb disminucions anuals sostingudes de l'1% i valors puntuals el 2008 de 115 litres/hab./dia, les altres alternatives han tingut una contribució més modesta.

La interconnexió entre la conca hidrogràfica de l'Ebre i les conques internes de Catalunya va ser descartada pel Govern de la Generalitat de Catalunya el 2004, i només ha estat plantejada com a solució d'emergència durant els mesos d'abril i maig de 2008. Les intenses pluges de maig de 2008 i la consegüent recuperació del volum d'aigua embassada a les conques internes de Catalunya (fins a superar el 50% d'una capacitat total d'embassament de 610 hm³) han fet que aquesta opció torni a ser descartada a començaments de juny de 2008.

La situació en aquest moment torna a ser la usual dels anys anteriors, on una futura irregularitat en el règim de pluges pot crear noves situacions d'emergència.

L'augment de població i d'usos urbans registrat a Catalunya, en particular a la zona metropolitana de Barcelona, i les propostes d'ampliació de zones regades a diversos territoris de Catalunya, juntament amb la irregularitat del règim de precipitacions d'aquest territori han plantejat, amb especial intensitat des de final dels anys noranta, un notable desequilibri estacional i geogràfic entre els consums d'aigua i la disponibilitat d'aigua i, en particular, una notable disminució de la garantia (fiabilitat) d'aquests mateixos subministraments.

Objectius

L'objectiu d'aquest treball és avaluar les possibilitats i els requisits que la reutilització planificada de l'aigua i la dessalinització d'aigües marines, salabroses i regenerades tenen com a elements de la gestió integrada de l'aigua, establint una valoració comparativa amb altres tècniques de gran actualitat, com la regulació superficial i subterrània de l'aigua.

Entre els objectius específics d'aquest treball es poden assenyalar: 1) l'enumeració dels criteris bàsics d'una gestió integrada, 2) la descripció dels objectius i condicionants bàsics de la regulació mitjançant aquífers i embassaments en derivació, 3) la presentació de les característiques pròpies de la reutilització planificada, 4) l'avaluació dels objectius i condicionants bàsics de la dessalinització d'aigua marina i salabrosa, 5) la valoració comparativa de la reutilització planificada i la dessalinització d'aigua, i 6) la valoració del paper que la reutilització planificada i la dessalinització poden tenir en la millora de la fiabilitat de l'abastament d'aigua i de la gestió dels recursos en general, tant a la zona metropolitana de Barcelona com a les conques internes de Catalunya.

3.2. La gestió integrada dels recursos hídrics

Entre els avenços més destacats sobre el coneixement dels recursos hídrics de la biosfera aconseguits durant les últimes dècades se'n poden destacar dos: 1) el reconeixement de l'existència d'una relació quantitativa i qualitativa entre les diferents formes físiques dels recursos hídrics, i entre aquests i altres components de la biosfera, com el flux d'ener-

gia i la presència d'éssers vius, i 2) la consideració del medi ambient per se com un usuari legítim d'aquests mateixos recursos hídrics (DOCE, 2000; Mujeriego, 2005).

En aquest context, la gestió integrada dels recursos hídrics pretén definir-ne l'assignació harmònica i equilibrada entre els diferents usos o aprofitaments, tenint en compte les relacions existents entre els diferents components d'aquests recursos i, en particular, el paper determinant que l'aigua té per a la preservació i la millora del medi ambient.

Per atendre i garantir els aprofitaments urbans, agrícoles i industrials, i en certa manera també, per assegurar la preservació del medi ambient, es disposa de diverses opcions, que en ordre creixent de complexitat i d'especificitat són: 1) la protecció i millora de les fonts convencionals d'aigua, 2) l'estalvi d'aigua, mitjançant l'ús eficient, 3) la regulació o l'emmagatzemament de volums addicionals d'aigua, 4) l'intercanvi de recursos entre diferents usuaris, 5) la regeneració i la reutilització planificada, i 6) la dessalinització d'aigües salabroses i marines.

La utilització de qualsevol d'aquestes opcions de gestió requereix una valoració objectiva dels seus beneficis, limitacions i requisits, de manera que sigui possible assolir conclusions ben justificades i coherents. En aquest procés, els criteris de valoració ambiental, social i econòmica constitueixen elements bàsics que cal tenir en compte. Convé ressaltar que els resultats d'aquesta valoració objectiva, de caràcter eminentment tècnic, ofereixen un fonament sòlid que s'ha de tenir en compte en els posteriors plans, programes i polítiques de recursos hídrics que estableixin les administracions i els governs.

La gestió integrada dels recursos hídrics pretén definir-ne l'assignació harmònica i equilibrada entre els diferents usos o aprofitaments.

La gestió integrada dels recursos hídrics es regeix fonamentalment per tres criteris operatius:

- Diversificar les alternatives utilitzades, com a forma d'assegurar la garantia de la solució conjunta. El fet que les societats desenvolupades hagin assolit l'explotació gairebé completa dels recursos hídrics més immediats o fàcils d'utilitzar fa que amb freqüència sigui pràcticament inviable l'obtenció de solucions *úniques o absolutes* als reptes actuals i que, per tant, s'hagi de recórrer a l'aplicació d'una sèrie coordinada de solucions parcials que resolguin conjuntament el problema.
- Utilitzar una combinació equilibrada tant d'infraestructures com de formes de gestió que, amb agilitat i flexibilitat, potenciïn la capacitat i les possibilitats d'unes i altres per atendre les ofertes i les demandes de recursos hídrics en l'espai i en el temps.
- Planificar sistemàticament aquestes actuacions, especialment les infraestructures, però també les formes de gestió, de manera que sigui possible assegurar tant la consecució dels seus objectius tècnics i econòmics com el seu debat, revisió i acceptació per part de tots els usuaris, inclosa l'encarregada de la preservació i la millora del medi ambient.

Normatives legals recents com la Directiva Marc de l'Aigua (DOCU, 2000) i les propostes d'organismes internacionals i d'associacions professionals (ACWA, 2005) emfatitzen la importància d'aquests tres criteris operatius.

3.2.1. Regulació de recursos

La regulació de l'aigua mitjançant embassaments constitueix una de les facetes més controvertides de la gestió dels

recursos hídrics. A més del paper fonamental dels embassaments per regular un règim de precipitacions tan irregular com l'espanyol, els embassaments ofereixen protecció a les poblacions i als recursos naturals davant de les catastròfiques conseqüències que les avingudes i les inundacions causades per règims torrencials de pluja poden i solen causar a les conques dels nostres rius (Muñerigo, 2005).

L'alteració del flux de sediments, amb el consegüent emmagatzemament al mateix embassament i la seva detracció a les zones de sedimentació deltaïques, junt amb l'alteració del flux d'aigua i de la mobilitat de certs components de la fauna (truites, salmons) són alteracions que convé remeiar i que poden ser evitades amb formes de construcció modernes. La instal·lació de rampes de desviació de sediments, a la capçalera dels embassaments, contribueix a mantenir el flux de sediments a través de la franja de riu afectada.

La construcció d'embassaments en derivació (*off-stream, embanked reservoirs*) permet limitar significativament les afeccions ambientals. El Diamond Valley Lake, construït per Metropolitan Water District of Southern California (MWD, www.mwdh2o.com), amb una capacitat de 1.000 hm³, il·lustra de forma emblemàtica com es poden regular els cabals excedents en temps d'abundància, per ser posteriorment turbinats i alliberats als canals d'abastament en moments d'escassetat. La inversió unitària requerida per aquest embassament en derivació, delimitat per tres preses de materials solts i construït atenent els requisits ambientals del moment, va ser de 2,0 dòlars per m³ de capacitat l'any 2000. Aquest cost unitari és similar al d'1,7 euros per m³ de capacitat de l'em-

Els embassaments ofereixen protecció a les poblacions i als recursos naturals davant de les catastròfiques conseqüències que les avingudes i les inundacions causades per règims torrencials de pluja poden i solen causar a les conques dels nostres rius.

bassament de 7 hm³ construït a Vitòria-Gasteiz el 2004.

L'ús conjunt d'aigües superficials i d'aigües subterrànies és una estratègia àmpliament utilitzada a les zones semi-àrides del sud de Califòrnia. L'estratègia adoptada en aquests casos consisteix a emmagatzemar aigua superficial en aquífers utilitzats per a l'abastament i el regadiu, sota la designació de «banc d'aigua». La particularitat d'aquestes actuacions és que es realitzen entre operadors públics i/o privats, sense la intervenció directa de l'administració estatal dels recursos hídrics, encara que amb el seu coneixement formal i amb l'observança de les reglamentacions municipals, estatals i federals aplicables.

El «banc d'aigua» que es va iniciar a finals de 2007 al Comtat de Madera, a Califòrnia, il·lustra perfectament aquest concepte. La Comunitat de Regants de Madera va adquirir 6.400 ha de terreny sota les quals existeix un extens aquífer amb capacitat per rebre fins a 310 hm³ d'aigua. L'adquisició d'aquesta superfície ha suposat un cost de 37 milions de dòlars, sufragat amb fons federals, estatals i locals, el que representa un cost unitari de 0,12 dòlars per m³ de capacitat d'emmagatzemament. L'aquífer serà recarregat durant els anys humits amb les concessions d'aigua disponibles dels rius San Joaquín i Fresno per part de diferents usuaris, i l'aigua emmagatzemada serà extreta durant els anys secs. Entre els aspectes més controvertits del projecte figura l'exigència que els estatuts d'aquest banc d'aigua limitin la utilització de l'aigua emmagatzemada als concessionaris locals, impeding la transferència a altres usuaris regionals o estatals.

Com a exemple de les possibilitats que ofereixen aquests bancs d'aigua,

n'hi ha prou a considerar que si s'haguessin pogut captar uns 500 m³/s (un 25-30%) dels prop de 1.800 a 2.000 m³/s que el riu Ebre ha assolit en el seu curs mitjà durant els últims dies de maig de 2008, s'haurien pogut emmagatzemar 43 hm³ al dia, 300 hm³ en una setmana i així successivament, mentre hagués durat aquesta situació.

3.3. La reutilització planificada

El procés de tractament necessari perquè una aigua depurada pugui ser reutilitzada es denomina generalment *regeneració* i el resultat de l'esmentat procés *aigua regenerada*. D'acord amb el seu significat etimològic, la regeneració d'una aigua consisteix a tornar-li, parcialment o totalment, el nivell de qualitat que tenia abans de ser utilitzada, d'igual manera que la regeneració de terres i la regeneració de platges tracten de restaurar l'estat i la forma que aquestes tenien en el passat.

La implantació d'un projecte de regeneració d'aigua té dos requisits essencials i complementaris: 1) definir els nivells de qualitat adequats per a cada un dels possibles usos que es pensi donar a l'aigua, i 2) establir els processos de tractament i els límits de qualitat de l'efluent recomanats per a cada un dels usos previstos. L'elaboració i l'aprovació d'aquests dos aspectes tècnics de la regeneració d'aigua són generalment les facetes més discutides de tot programa de reutilització, a causa de la dificultat d'establir una relació causal entre la qualitat de l'aigua i els seus possibles efectes sobre la salut i el medi ambient. Prova d'això són la diversitat i l'heterogeneïtat dels criteris i les normes de qualitat establertes per diversos països i

La regeneració d'una aigua consisteix a tornar-li, parcialment o totalment, el nivell de qualitat que tenia abans de ser utilitzada.

organitzacions internacionals per a la reutilització de l'aigua (USEPA, 2004; OMS, 2006). Des de desembre de 2007, Espanya compta amb normes de qualitat per a l'aigua regenerada, així com criteris bàsics per a la incorporació de l'aigua regenerada en la gestió integrada de l'aigua (RD 1620/2007).

3.3.1. Beneficis de la reutilització planificada

El balanç hídric d'una zona geogràfica s'obté com a diferència entre l'aportament anual d'aigua (precipitacions i aportacions de rius, aqüífers i transvasaments d'altres conques) i les pèrdues anuals d'aigua, o pèrdues irrecuperables, el destí de les quals és l'atmosfera o el mar.

El balanç hídric d'una zona geogràfica s'obté com a diferència entre l'aportament anual d'aigua, constituïda per les precipitacions i les aportacions dels rius, aqüífers i transvasaments d'altres conques, i les pèrdues anuals d'aigua, o pèrdues irrecuperables, el destí de les quals és l'atmosfera o el mar. Qualsevol actuació destinada a estalviar aigua i que aconsegueixi reduir aquestes pèrdues irrecuperables millorarà la disponibilitat d'aigua per al seu aprofitament al llarg de l'any. Per aquest motiu, la regeneració i la reutilització de l'aigua únicament resultaran en un increment real dels recursos hídrics aprofitables en una zona si aquestes aigües es perden actualment de forma irrecuperable, mitjançant el seu abocament al mar des d'una població costanera o per evapotranspiració en zones interiors.

No obstant això, la regeneració i la reutilització planificada de l'aigua en zones de l'interior permeten, en qualsevol cas, una gestió més adequada dels recursos hídrics disponibles (Mujeriego, 1990).

La reutilització planificada de l'aigua en general i per a regadiu en particular pot tenir múltiples beneficis, entre els quals es pot destacar els següents:

- Una nova font de subministrament d'aigua, capaç d'aportar recursos hídrics

addicionals, bé sigui com a recursos nets, o bé com a recursos alternatius que permeten alliberar recursos d'aigua de millor qualitat per a destinar-los a usos més exigents, com l'abastament públic i la restitució dels cursos naturals d'aigua.

- Una disminució dels costos de tractament i d'abocament de l'aigua depurada. La reutilització d'una aigua regenerada ofereix un clar avantatge econòmic quan els requisits de qualitat del tipus de reutilització considerada siguin menys exigents que els establerts per al medi receptor de l'abocament de l'aigua depurada.

- Una reducció de l'aportament de contaminants als cursos naturals d'aigua, en particular quan la reutilització s'efectua mitjançant reg agrícola, de jardineria o forestal. La reutilització de l'aigua mitjançant el reg permet que les substàncies orgàniques difícils de mineralitzar puguin ser degradades biològicament al terra, durant la seva infiltració a través del terreny.

- L'ajornament, la reducció o fins i tot la supressió d'instal·lacions addicionals de tractament d'aigua d'abastament, amb la consegüent reducció que això representa, tant dels efectes desfavorables sobre els cursos naturals d'aigua com dels costos d'abastament d'aigua.

- Un estalvi energètic, ja que s'evita la necessitat d'aportaments addicionals d'aigua des de zones més allunyades que la planta de regeneració d'aigua.

- Una reducció de les aportacions de diòxid de carboni a l'atmosfera, a raó dels menors consums energètics.

- Un aprofitament dels elements nutrittius continguts en l'aigua, especialment quan l'aigua regenerada s'utilitza per a reg agrícola i de jardineria.

- Una major garantia de subministrament. Els fluxos d'aigua depurada tenen

una garantia molt més gran que la majoria de les fonts naturals d'aigua, especialment en zones semiàrides com les mediterrànies espanyoles. A més, l'estacionalitat de la població a les zones costaneres espanyoles fa que els majors cabals d'aigua disponibles es registrin precisament durant la temporada estival, quan es produeixen les majors demandes d'aigua per a reg.

En definitiva, la reutilització planificada de l'aigua ofereix una garantia de subministrament molt superior a la de les fonts convencionals, assegurant la disponibilitat de cabals especialment durant l'estiu, alhora permet un aprofitament dels nutrients (nitrogen i fòsfor) continguts a l'aigua regenerada, i potencia una gestió més eficient dels recursos hídrics, permetent que aigües de qualitat prepotable puguin ser utilitzades per a l'abastament públic.

3.3.2. Exigències de la reutilització planificada

Un dels factors determinants de la implantació i el desenvolupament de la reutilització planificada de l'aigua és l'establiment d'unes normes de qualitat de l'aigua per a cada un dels possibles tipus d'aprofitaments que es prevegin. Entre la gran varietat de substàncies que s'incorporen a una aigua durant la seva utilització urbana, industrial o agrícola, es poden esmentar les sals dissoltes, els elements nutritius, els microorganismes patògens, les substàncies inorgàniques tòxiques i bioacumulables, i els microcontaminants orgànics.

L'Estat disposa des de desembre de 2007 de normes de qualitat aplicables a les aigües regenerades utilitzables per a diversos usos (RD 1620/2007). Aquesta normativa bàsica representa el resultat

de nombrosos anys de treball, debat i consens entre administracions i usuaris, i ha de servir per potenciar l'ús generalitzat de l'aigua regenerada. L'experiència disponible des de 1985, particularment en el Consorci de la Costa Brava a Catalunya i en altres zones d'Espanya, com a Vitòria-Gasteiz, la Costa del Sol, les Illes Canàries o les Balears, respecte a la reutilització planificada per a nombrosos usos ha de permetre l'elaboració d'unes normes de bones pràctiques, així com l'adopció de millores i adaptacions de la pròpia normativa al progrés científic i tècnic. El nivell de qualitat de vida assolit a Espanya en les últimes dècades apunta la conveniència de produir una aigua regenerada de la millor qualitat possible, d'entre les establertes en el RD 1620/2007, fins a assolir nivells d'«aigua analíticament potable» com ja es fa en estats com Califòrnia i Florida per protegir la salut pública i el medi ambient.

L'aprofitament d'una aigua regenerada requereix normalment: 1) el seu transport des de la planta de regeneració fins al lloc d'utilització, 2) el seu emmagatzemament o regulació temporal per adequar el cabal subministrat per la planta als cabals consumits, i 3) la definició d'unes normes d'utilització de l'aigua que permetin minimitzar els possibles riscos directes o indirectes per al medi ambient, les persones que la utilitzen, la població circumdant al lloc d'ús i els consumidors de qualsevol producte conreat amb l'aigua regenerada. Aquests tres elements tècnics constitueixen el nucli central d'un programa de reutilització planificada de l'aigua.

L'experiència pràctica de nombrosos països posa de manifest la possibilitat d'adoptar dues estratègies bàsiques: 1) establir unes normes de qualitat de l'ai-

La reutilització planificada de l'aigua ofereix una garantia de subministrament molt superior a la de les fonts convencionals, assegurant la disponibilitat de cabals especialment durant l'estiu.

gua regenerada poc exigents, associades amb uns sistemes de regeneració d'eficiència i fiabilitat limitades i uns requisits d'explotació mínims, però condicionades per unes restriccions molt exigents quant a l'ús de l'aigua per a cada tipus d'aprofitament, i 2) establir unes normes de qualitat de l'aigua regenerada molt exigents, associades amb uns sistemes de regeneració molt eficients i fiables i uns requisits d'explotació estrictes, però amb uns condicionants molt bàsics i senzills respecte a la utilització de l'aigua en els seus diferents usos.

El transport d'aigua regenerada des de la planta de tractament fins al punt de reutilització és una exigència de qualsevol projecte de reutilització. Això requereix amb freqüència la construcció d'un emissari terrestre i d'una nova o doble xarxa de distribució, especialment quan es tracta d'una reutilització en zones que no disposaven d'una xarxa de reg específica. Per motius econòmics, la implantació d'aquesta xarxa de distribució de l'aigua regenerada sol realitzar-se de forma progressiva, començant pels grups d'usuaris amb major consum total d'aigua i estenent-la després a noves zones urbanes o amb menors consums d'aigua.

Les autoritats sanitàries dediquen especial atenció a la definició de les normes d'utilització de l'aigua regenerada, tals com: 1) la senyalització mitjançant cartells ben visibles que indiquin el tipus d'aigua utilitzada, 2) l'adopció normalitzada del color morat per a les conduccions i els dispositius de control, 3) la instal·lació de dispositius antiretorn, 4) les inspeccions de les connexions a la xarxa d'aigua regenerada, 5) l'exigència de determinats horaris de reg i de tipus d'aspersors, 6) la prohibició d'instal·lar aixetes exteriors, i 7) la utilització de

mesures de conducció i de boques de connexió de mànegues diferents dels utilitzats per a les aigües d'abastament públic. Referent a això, l'aparició progressiva de comptadors en el punt de connexió de l'aigua regenerada indica clarament l'objectiu d'aquests sistemes de distribució: l'optimització de l'aprofitament de l'aigua, en lloc de la seva evacuació i abocament mitjançant reg.

La senyalització utilitzada actualment en estats com a Califòrnia i Florida transmet una percepció molt positiva i quotidiana de la reutilització, mitjançant anuncis tals com «Aquest sistema de reg (o d'aixetes airejadores als lavabos) utilitza aigua regenerada, per tal d'estalviar aigua».

3.3.3. Fiabilitat del procés de regeneració

Una exigència característica dels projectes de regeneració d'aigua és la necessitat d'assegurar una fiabilitat notable del procés de tractament i una gestió adequada del sistema de reutilització de l'aigua. La reutilització de l'aigua sol plantejar-se en molts casos com l'única font alternativa d'aigua per a l'aprofitament, sense la protecció que la dilució amb aigua de millor qualitat pugui oferir. A més, la reutilització d'una aigua sol comportar en molts casos la possibilitat d'un contacte directe amb persones, animals o plantes, que poden veure's afectats en la seva salut o desenvolupament. Aquestes dues circumstàncies fan que la fiabilitat de les plantes de regeneració d'aigua hagi de ser alta i constitueixi un element essencial tant de la seva concepció com de la seva explotació i manteniment.

La regeneració de l'aigua es concep actualment com un procés destinat a obtenir un producte de qualitat, de manera molt similar al que s'adopta en les

La regeneració de l'aigua es concep actualment com un procés destinat a obtenir un producte de qualitat, de manera molt similar al que s'adopta en les instal·lacions de potabilització d'aigua d'abastament públic.

instal·lacions de potabilització d'aigua d'abastament públic. La producció i la distribució d'aquest producte s'han de plantejar en un marc més ampli que el tradicional de lluita contra la contaminació, i amb una nova mentalitat en la concepció i l'explotació dels processos de regeneració, diferent de l'adoptada generalment en la depuració de l'aigua residual, el resultat final de la qual sol considerar-se un residu líquid o sòlid. Aquesta nova forma de plantejar la regeneració de l'aigua ha fet que la reutilització planificada de l'aigua hagi passat a ser un element essencial de la gestió integrada dels recursos hídrics.

La reutilització planificada de l'aigua constitueix, junt amb la regulació en embassaments en derivació i en aqüífers subterranis i l'ús eficient de l'aigua, un dels elements bàsics de la gestió integrada dels recursos en zones semiàrides com les del sud de Califòrnia (Mujeriego, 2004).

3.3.4. Tipus de reutilització

L'aigua regenerada s'empra per a múltiples usos, entre els quals es poden destacar: 1) els usos urbans (jardineria, incendis, rentat de carrers i automòbils), 2) els usos industrials (torres de refrigeració, rentat de vagons de ferrocarril), 3) el reg agrícola, forestal i de jardineria, 4) els usos ornamentals i recreatius, 5) la millora i preservació del medi natural, i 6) la recàrrega d'aqüífers. La reutilització agrícola i de jardineria constitueix l'aprofitament més estès i tradicional de l'aigua regenerada, tant per a cultiu hortícola (consum directe) com per a cultius amb processament posterior, cereals, cítrics i vinyes, i tant mitjançant reg per aspersió, microaspersió i degoteig, com mitjançant reg per inundació.

Atenent al possible contacte o ingestió de l'aigua regenerada per part de les persones, la reutilització es classifica en: 1) reutilització per a ús potable i 2) reutilització per a ús no potable. La primera categoria inclou les utilitzacions en les quals l'aigua regenerada pot ser ingerida per les persones i la segona engloba totes les altres. És important assenyalar que, fins al moment, els projectes de regeneració per a usos no potables són els que han adquirit el major desenvolupament, amb l'assoliment d'unes excel·lents cotes de fiabilitat i d'acceptació per part dels usuaris i del públic en general. Això és especialment aplicable en països desenvolupats amb recursos hídrics limitats, on la protecció ambiental és una prioritat destacada.

Les taules 3.2, 3.3 i 3.4 resumeixen els cabals d'aigua regenerada en zones tan disperses com el Consorci de la Costa Brava, a Girona, i els estats de Califòrnia i Florida, als EUA. Com es pot observar en aquestes taules, els cabals d'aigua regenerada anualment són importants. Encara que els percentatges de reutilització en l'àmbit de tot l'estat de Califòrnia se situen entorn del 10%, els percentatges en l'àmbit regional arriben a superar el 30%, especialment a les zones àrides del sud de Califòrnia.

La reutilització agrícola i de jardineria constitueix l'aprofitament més estès i tradicional de l'aigua regenerada, tant per a cultiu hortícola (consum directe) com per a cultius amb processament posterior, cereals, cítrics i vinyes.

Taula 3.2. **Reutilització planificada d'aigua al Consorci de la Costa Brava, amb un cabal total de 5,5 hm³ el 2007 (18% d'un total de 30 hm³)**

Tipus d'ús	%
Recàrrega d'aqüífers	55
Usos ambientals	25
Reg de camps de golf i jardineria	13
Reg agrícola	5
Regs interns i urbans no potables	2

Font: R. Mujeriego.

Taula 3.3. Reutilització planificada d'aigua a Califòrnia, amb un cabal total de 495 hm³/any el 2000 (330 hm³/any el 1987).

Tipus d'ús	%
Reg agrícola	48
Reg de jardineria i ornamental	20
Recàrrega d'aqüífers	12
Restauració d'hàbitats	6
Reutilització industrial	5
Llacs recreatius	4
Barreres contra la intrusió	3
Altres usos	2

Font: R. Mujeriego.

Taula 3.4. Reutilització planificada d'aigua a Florida, amb un cabal total de 810 hm³/any el 2001

Tipus d'ús	%
Reg agrícola	19
Reg zones d'accés públic	44
Recàrrega d'aqüífers	16
Reutilització industrial	15
Zones humides i altres	6

Font: R. Mujeriego.

3.3.5. Tendències actuals

El debat tècnic sobre l'abast i el futur de la reutilització planificada, i consegüentment, dels mitjans tècnics per a la regeneració d'aigua en països amb realitzacions destacades en aquest camp, se centra en aquests moments entre la conveniència d'impulsar la reutilització indirecta per a usos potables, o de restringir l'abast de la reutilització als usos no potables que s'han anat desenvolupant des de fa dècades.

Aquest debat tècnic, i necessàriament polític en molts casos pràctics, està fent oblidar amb freqüència una realitat incontestable: el gran èxit assolit per la reutilització per a usos no pota-

bles a nombrosos països del món i especialment en estats amb un gran nombre i diversitat de projectes, com a Califòrnia i Florida, i en zones com la Costa Brava (Girona), la ciutat de Vitòria-Gasteiz (Àlaba) o les Illes Canàries, en les quals la reutilització planificada ha progressat de forma molt destacada des dels anys 1980.

Els dèficits estacionals i geogràfics d'aigua que s'han registrat a determinades zones semiàrides del món han propiciat la consideració de l'aigua regenerada com a possible font addicional d'aigua per a abastament públic. Llevat del cas de la ciutat de Winhoek, capital de Namíbia, on l'aigua regenerada s'introdueix a la xarxa de distribució per complementar l'abastament d'aigua, les altres iniciatives incorporen el pas de l'aigua regenerada per un medi natural, bé sigui mitjançant la barreja amb aigües superficials d'un embassament, com el projecte NeWater de Singapur, o amb les aigües subterrànies d'un aqüífer, com el projecte Groundwater Replenishment System del Orange County Water District del sud de Califòrnia o el projecte de recàrrega de dunes costaneres d'Anvers a Bèlgica, o fins i tot mitjançant la circulació per un curs d'aigua.

En definitiva, aquest *toc de naturalitat* que es confereix a l'aigua regenerada fa que el procés de reutilització s'assembli al de la reutilització indirecta que es practica des de temps immemorial en els nostres cursos i aqüífers: les aigües més o menys depurades s'han anat barrejant i diluint amb les aigües del medi receptor. Aquesta proposta de reutilització (planificada) potable indirecta afegeix una faceta de gran rellevància: les aigües regenerades utilitzades en aquests projectes són amb freqüència d'una qua-

Els dèficits estacionals i geogràfics d'aigua que s'han registrat a determinades zones semiàrides del món han propiciat la consideració de l'aigua regenerada com a possible font addicional d'aigua per a abastament públic.

litat microbiològica i química superior al de les aigües del medi receptor. No obstant això, el gran repte d'aquests projectes ha estat i continua sent la seva acceptació per part del públic; un adequat procés d'informació i de demostració ha de permetre, com ha ocorregut a Orange County, obtenir l'aprovació i l'impuls de la població, davant d'una iniciativa que objectivament supera les millores de qualitat de l'aigua que s'aconsegueixen exclusivament amb els processos de depuració i dilució en els medis hídrics naturals.

3.3.6. Exemples de reutilització

Reutilització de l'aigua per a regadiu

Cada utilització o aprofitament d'aigua té unes exigències específiques de qualitat fisicoquímica, derivades del destí directe o indirecte de l'aigua utilitzada. Així, el reg de parcs i jardins comporta unes exigències de qualitat fisicoquímica de l'aigua que permetin assegurar el desenvolupament normal i el manteniment de les espècies vegetals que es desitja regar, alhora que protegir la salut pública de la població que utilitza aquests espais de lleure.

Entre els paràmetres de qualitat de l'aigua més evidents apareixen la seva salinitat (mesurada generalment en termes de la seva conductivitat elèctrica), el contingut de clorurs o el contingut de bor. Aquestes limitacions estan clarament definides als manuals i estudis de reg agrícola i de jardineria, alguns dels quals s'han convertit en documents de referència en el camp del reg amb aigua regenerada (Levine i Asano, 2004; Asano, 1998; Mujeriego, 1990), i de les bones pràctiques de gestió de la jardineria i del cultiu agrícola en general (Sala i Millet, 1995). Els límits establerts en aquestes normes no són generalment es-

trictes i varien en funció de les espècies vegetals en qüestió. L'experiència agronòmica disponible permet ajustar l'ús de l'aigua a les possibles oscil·lacions d'aquests paràmetres de qualitat, sense per això alterar significativament la qualitat dels cultius regats.

Mentre que l'existència de xarxes secundàries de distribució d'aigua regenerada per a regadiu és molt limitada o inexistent a Europa, l'explotació de xarxes secundàries d'aquest tipus d'aigua de reg és una pràctica molt comuna en nombrosos municipis de Califòrnia, Florida, i fins i tot Japó, on constitueix una faceta quotidiana dels serveis de distribució d'aigua i sanejament, i on el públic accepta i fins i tot promou obertament aquesta pràctica dins dels seus municipis. Les jornades Integració de l'Aigua Regenerada en la Gestió dels Recursos, celebrades l'octubre de 2005 a Lloret de Mar, Girona (CCB, 2005), van posar de manifest l'existència d'aquest tipus de xarxes a la comunitat del sud-est de Gran Canària per distribuir aigües de reg, així com de plans per implantar-les a la Costa del Sol occidental, per al reg de camps de golf.

El subministrament d'aigua regenerada en el municipi de Tossa de Mar i els Jardins de Santa Clotilde a Lloret de Mar, ambdós sota la coordinació del Consorci de la Costa Brava, il·lustren de forma emblemàtica els grans beneficis que la instal·lació progressiva d'aquestes xarxes de distribució d'aigua regenerada estan tenint en la recuperació de zones marginals i la millora de zones enjardinades existents. La disponibilitat d'aquesta font alternativa de subministrament ha assolit tota la seva rellevància quan ha estat necessari aplicar les restriccions de reg amb aigua potable, derivades de la situació d'emergència

El subministrament d'aigua regenerada en el municipi de Tossa de Mar i els Jardins de Santa Clotilde a Lloret de Mar, il·lustren els grans beneficis que la instal·lació progressiva de les xarxes de distribució d'aigua regenerada estan tenint en la recuperació de zones marginals i la millora de zones enjardinades existents.

creada per la sequera experimentada durant l'any 2008 a les conques internes de Catalunya.

La reutilització planificada de 495 m³/any a Califòrnia i de 810 h m³/any a Florida (taules 3.2 i 3.3) i en adequada proporció de 5,5 h m³/any reutilitzats a la Costa Brava el 2007 (<http://www.ccbgi.org/reutilitzacio.php>) són mostres eloqüents dels beneficis que l'aigua regenerada està aportant al reg agrícola i de jardineria en particular, com a element d'una gestió integrada dels recursos en un context de dèficit crònic i creixent de recursos.

Les zones costaneres espanyoles es caracteritzen pel relatiu paral·lelisme entre les majors produccions d'aigua depurada que es registren durant la temporada estival i la màxima demanda per a reg agrícola de jardineria que es produeix en aquesta mateixa estació.

Reutilització en zones costaneres

El desenvolupament urbà, turístic i agrícola actual, especialment a les zones costaneres espanyoles, comporta un important consum d'aigua, tant per satisfer els consums domèstics associats com per atendre les demandes d'una creixent extensió de zones enjardinades i agrícoles que serveixen de marc lúdic i comercial. La gestió dels recursos hídrics en aquestes condicions es planteja amb dos objectius complementaris: 1) la utilització racional de l'aigua, evitant els consums excessius i 2) la reutilització de l'aigua per a usos no potables, especialment la jardineria, l'agricultura i la millora ambiental, que ha de permetre la creació neta de noves dotacions d'aigua i evitar el deteriorament de les aigües costaneres.

Entre les actuacions més concordes a cada un d'aquests objectius es pot citar, d'una part, l'educació i la informació ciutadana, la reglamentació i les tarifes progressives i, en un altre àmbit, la regeneració i la reutilització planificada de l'aigua.

Les zones costaneres espanyoles es caracteritzen pel relatiu paral·lelisme entre

les majors produccions d'aigua depurada que es registren durant la temporada estival i la màxima demanda d'aigua per a reg agrícola i de jardineria que es produeix en aquesta mateixa estació. Al marge de les exigències tècniques i financeres que aquestes demandes estacionals plantegen, tant en el sistema d'abastament d'aigua com en el de tractament i abocament de l'aigua depurada, la reutilització planificada de l'aigua en zones costaneres ofereix clars avantatges econòmics i ambientals en les seves diverses alternatives: 1) reg de jardineria, amb tot el que comporta de millora de les condicions de vida, de l'aspecte estètic i del caràcter lúdic de la zona, 2) reg agrícola, com a font de recursos econòmics de gran importància estratègica i 3) recàrrega d'aquífers costaners i de zones humides, com a forma de protecció de recursos naturals de gran atractiu i valor ambiental. Els Jardins de Santa Clotilde a Lloret de Mar, les zones enjardinades de nombrosos municipis de la Costa Brava, les zones enjardinades de Port Aventura, i les zones humides construïdes per proveir el Parc Natural dels Aiguamolls de l'Empordà són exemples emblemàtics d'aquestes opcions de reutilització de l'aigua.

Encara que la reutilització de l'aigua en zones de l'interior no permet la creació neta de nous recursos hídrics, sí que ofereix la possibilitat d'una millor gestió de l'aigua, mitjançant la substitució d'aigua prepotable de consum públic per aigua regenerada, per a aquells usos que no requereixen aigua prepotable. En definitiva, es tracta d'impulsar la utilització de l'aigua prepotable, primer per produir aigua potable amb què proveir les poblacions i posteriorment, després de la seva regeneració, per proveir altres usos que no requereixen aquest

nivell de qualitat; d'aquesta manera, en lloc d'utilitzar un volum d'aigua per a abastament i un altre de diferent per a usos no potables, es tracta d'utilitzar un volum d'aigua per a abastament i aquest mateix volum d'aigua, o menor, per a altres usos. Cal ressaltar que una instal·lació de regeneració d'aigua per a reg agrícola i de jardineria, o d'un altre tipus, a les zones turístiques espanyoles s'ha convertit en un estàndard tecnològic i de prestigi de primera magnitud a tot el sud d'Europa i la regió mediterrània, conferint-li una posició d'avantguarda en aquesta faceta de la gestió dels recursos hídrics.

3.3.7. Cost de la reutilització a Espanya

Els estudis realitzats des de 1985 per la Universitat Politècnica de Catalunya en col·laboració amb el Consorci de la Costa Brava (CCB) i altres entitats públiques i privades han permès implantar un sistema de gestió de l'aigua regenerada en el CCB que inclou (Mujeriego, 1998): 1) un procés de regeneració d'aigua basat en una desinfecció amb llum ultraviolada i clor d'un excel·lent efluent secundari, prèviament filtrat amb sorra, 2) un seguiment de la qualitat de l'aigua als llacs ornamentals utilitzats per a emmagatzemament i regulació de l'aigua, i 3) un sistema d'informació sobre el contingut de nutrients i salinitat de l'aigua que permeti optimitzar la fertilització dels cultius i els camps de golf.

El sistema de regeneració i reutilització d'aigua per a reg agrícola de Vitòria-Gasteiz (Diputació Foral d'Àlaba, 1995) es va projectar seguint la línia de tractament més exigent recomanada pel títol 22 del Codi de l'aigua de Califòrnia (Mujeriego, 1990) que reproduïx un sistema convencional de potabilització

d'aigua, integrat pels processos de coagulació-floculació, decantació, filtració amb sorra i desinfecció amb clor líquid (dues hores de temps de contacte). L'aigua regenerada s'utilitza per a reg per aspersió de diversos cultius, entre els quals alguns de consum directe; des de l'any 2005, el pla de reg inclou 10.000 ha de la Llanada Alavesa i té com a objectiu regar les parcel·les per aspersió durant l'estiu, amb una freqüència d'un de cada tres estius consecutius. El model de gestió inclou la provisió de l'aigua regenerada d'excel·lent qualitat (absència de coliformes fecals en 100 mil·lilitres), així com informació periòdica sobre la salinitat de l'aigua i el seu contingut de nutrients, de manera que els agricultors puguin ajustar el seu pla de fertilització de manera adequada.

L'any 2004, l'acabament del primer embassament regulador d'aigües regenerades, com a part del projecte de gestió integral de l'aigua de Vitòria-Gasteiz, i l'expansió de diversos projectes de reutilització a la Costa Brava i altres zones espanyoles han marcat una segona dècada d'aquest procés de desenvolupament de la reutilització planificada, l'èxit més destacat del qual ha estat documentar el cost real de la regeneració i la reutilització de l'aigua amb un nivell de qualitat i de gestió integrada comparable al dels països líders en aquest camp. El cost de 0,06 €/m³ obtingut a Vitòria-Gasteiz ha passat a ser un referent per a altres comunitats autònomes, com indica la seva inclusió en els pressuposts de l'Entitat de Sanejament d'Aigües de la Generalitat Valenciana (EP-SAR, 2005). L'embassament regulador de Vitòria-Gasteiz, amb 7 hm³ de capacitat, ha representat una inversió de la Diputació Foral d'Àlaba d'11,8 M€, equivalents a 1,7 €/m³.

Les dades més recents facilitades pels responsables de l'explotació de la planta de regeneració d'aigua de Vitòria-Gasteiz (Julio López, comunicació personal, 2006) permeten establir valors de referència del cost de l'aigua regenerada a Espanya. La taula 3.5 resumeix els costos d'amortització i d'explotació i manteniment de la planta de regeneració d'aigua de Vitòria-Gasteiz, amb una capacitat de tractament de 35.000 m³/dia (vegeu la taula 3.5).

El factor limitant de l'expansió d'aquests projectes ha estat precisament l'absència d'un marc de gestió integrada, que permeti considerar conjuntament els costos del procés i els beneficis directes i indirectes (externalitats) que comporta. No hi ha dubte que molts d'aquests projectes han assolit una acceptació molt positiva entre els usuaris i una percepció pública molt favorable, especialment per al reg de jardineria i de camps de golf. Sembla evident que l'objectiu a aconseguir en la tercera dècada que es va iniciar en el 2005 haurà de ser que la reutilització planificada es converteixi realment en un element més de la gestió integrada dels recursos hídrics, mitjançant acords entre usuaris urbans, agrícoles, de lleure i industrials.

La recent aprovació del Reial decret 1620/2007 ofereix noves alternatives de promoció institucional de la reutilització de l'aigua, que han de contribuir al progrés en aquest camp.

El pla de reutilització integral de Vitòria-Gasteiz ofereix un marc de referència gairebé ideal per avaluar les implicacions econòmiques que la reutilització planificada de l'aigua comporta:

- Uns costos anuals d'explotació i manteniment de la planta de regeneració xifrats en 0,4 milions d'euros, per produir 12,5 hm³ anuals d'aigua regenerada amb una qualitat adequada per a reg sense restriccions.
- Una inversió de 3,25 milions d'euros per construir la planta de regeneració d'aigua, amb una capacitat de 35.000 m³/dia (400 L/S).
- Una inversió de 28 milions d'euros per sufragar la construcció d'una xarxa de reg de nova planta per distribuir l'aigua en 10.000 ha, incloent els bombatges i un embassament regulador de 7 hm³ (inversió específica d'11,8 milions d'euros) per emmagatzemar aigua regenerada durant l'hivern amb la qual poder regar durant l'estiu.

Cal aconseguir que la reutilització planificada es converteixi realment en un element més de la gestió integrada de recursos hídrics, mitjançant acords entre usuaris urbans, agrícoles, de lleure i industrials.

Taula 3.5. **Costos d'amortització i d'explotació i manteniment de l'aigua regenerada a la planta de Vitòria-Gasteiz, amb capacitat de 35.000 m³/dia, durant l'estiu de 2005**

Concepte	Contingut	Cost parcial (€/m ³)	Cost total (€/m ³)
Amortització	3,25 milions d'€	0,026	0,026
	coagulant	0,010	
Reactius	polieletròlit	0,001	0,016
	desinfectant	0,005	
Energia	180 hp instal·lats	0,002	0,002
Personal	2 operaris	0,010	0,010
Manteniment preventiu	material de recanvi	0,005	0,005
Anàlisi d'aigua		0,003	0,003
Cost total			0,062

Font: R. Mujeriego.

Com il·lustren aquestes xifres, les principals exigències econòmiques estan associades a la reutilització (distribució a l'usuari), mentre que el cost de la planta de regeneració i sobretot els costos d'explotació i manteniment (la regeneració de l'aigua) són comparativament molt menors. Aquesta reflexió permet anticipar que el cost de producció de l'aigua regenerada, fins i tot assolint els nivells necessaris per al reg sense restricció, són d'escassa significació relativa quan es planteja un projecte de reutilització planificada amb una visió de futur i d'acord amb els nivells de protecció ambiental i de salut pública d'una societat com la d'Espanya del segle XXI.

L'àrea metropolitana de Barcelona disposa de diverses plantes de regeneració d'aigua, entre les quals destaquen la planta de regeneració del Baix Llobregat. Construïda el 2006, com a complement de l'estació depuradora del Baix Llobregat, és una de les plantes de regeneració d'aigua més grans i modernes d'Europa (Mujeriego i col·lab. 2008). La planta rep un efluent secundari de l'estació depuradora d'aigües residuals (EDAR) i li aplica un tractament de regeneració (coagulació-floculació llustrada amb sorra, decantació lamel·lar, microtamisat de 10 µm de porus, desinfecció amb llum ultraviolada i hipoclorit sòdic, i aireig amb oxigen) capaç de produir una aigua regenerada de la millor qualitat prevista en el Reial decret 1620/2007. Els resultats analítics preliminars dels mesos de març a maig de 2008 indiquen que l'aigua regenerada té una qualitat química i microbiològica superior a la del riu Llobregat, en el tram aigües a dalt del punt de presa d'aigua prepotable de Sant Joan Despí. Encara que la planta té capacitat per regenerar fins a 3 m³/s d'aigua, equiva-

lents a uns 100 hm³ anuals, la previsió inicial era fer-la funcionar únicament durant la temporada estival, i assolir una producció pròxima a 50 hm³ anuals.

L'aigua regenerada a la planta del Baix Llobregat s'utilitza per a tres usos diferents: 1) subministrament a unes zones humides costaneres pròximes (0,40 m³/s), 2) substitució d'aigua de reg al canal del marge dret del riu Llobregat (0,75 m³/s) i 3) substitució o complement de cabals ecològics del riu Llobregat (2,0 m³/s). La planta també proveeix un projecte de demostració de barrera contra la intrusió salina del delta del Llobregat, amb uns 15.000 m³/dia. Els cabals d'aigua regenerada per a la substitució o complement de cabals ecològics s'han anat abocant en un punt aigües avall d'on es capta l'aigua d'abastament per a la potabilitzadora de Sant Joan Despí. No obstant això, la gran escassetat de recursos experimentada en les conques internes de Catalunya durant el primer semestre de 2008 ha portat l'Agència Catalana de l'Aigua a prolongar aquesta conducció, fins un punt situat a uns 1.200 metres aigües amunt de la planta potabilitzadora de Sant Joan Despí. D'aquesta manera, la nova conducció ha de permetre la impulsió tant d'aigua regenerada a la planta del Baix Llobregat com d'aigua prepotable importada per vaixell des de fora de Catalunya, i el seu posterior abocament al riu Llobregat, de manera que pugui circular pel curs del riu abans de ser captada a Sant Joan Despí perquè sigui potabilitzada en les instal·lacions existents.

Catalunya compta amb un extens nombre de projectes de regeneració i reutilització d'aigua per a una gran varietat d'usos. A més del projecte del Baix Llobregat, es pot esmentar el projecte de reg de jardineria de Port Aventura a

L'àrea metropolitana de Barcelona disposa de diverses plantes de regeneració d'aigua, entre les quals destaca la planta del Baix Llobregat, una de les més grans i modernes d'Europa.

Catalunya disposa de 23 anys d'experiència en la implantació, explotació i gestió de projectes de regeneració i reutilització d'aigua, per als usos més diversos i condicionants geogràfics.

Tarragona, on està previst passar de les 170 ha de superfície regada actual a una superfície de 445 ha en un futur pròxim, així com els nombrosos projectes que el Consorci de la Costa Brava ha estat implantant en els seus 27 municipis des de 1985, entre els quals mereixen especial rellevància les zones humides construïdes que proveeixen els Aiguamolls de l'Empordà i la recàrrega d'aqüífers a Blanes. El Consorci va reutilitzar 5,5 hm³ d'aigua el 2007, la qual cosa representa un 18% dels 30 hm³ anuals d'aigua residual que depura. Es pot pensar que les importants restriccions d'ús d'aigua potable adoptades amb motiu de la sequera del 2008 incrementaran l'ús d'aigua regenerada, especialment en els municipis amb xarxes de distribució d'aigua regenerada, com ara Tossa de Mar i Lloret de Mar, i també mitjançant la distribució d'aigua regenerada amb cisternes.

Catalunya disposa de 23 anys d'experiència en la implantació, explotació i gestió de projectes de regeneració i reutilització d'aigua, per als usos més diversos i condicionants geogràfics. Es pot pensar que l'experiència del projecte de reutilització d'aigua del Baix Llobregat, amb la faceta imprevista de reutilització potable indirecta deguda a la sequera de l'any 2008, ha d'afavorir una valoració molt més realista de l'aigua regenerada com una nova font d'aigua per satisfer, entre d'altres, les demandes de l'àrea metropolitana de Barcelona.

Els efluent secundaris de les estacions depuradores del Baix Llobregat (100 hm³/anuals) i del Besòs (160 hm³/anuals) ofereixen una matèria primera amb la qual poder obtenir uns 210 hm³/anuals d'aigua de gran qualitat (mitjançant filtració amb osmosi inversa i desinfecció amb llum ultraviolada i hipoclorit)

que podria incorporar-se a les masses d'aigua superficials i subterrànies de l'àrea metropolitana, passant així a formar part de les seves futures fonts de subministrament i alliberant cabals de les fonts des d'on ara importa aigua. Un projecte com aquest contribuiria considerablement a millorar la garantia de subministrament en l'àrea servida per l'empresa pública Aigües Ter-Llobregat, i col·locaria Barcelona i Catalunya a l'avantguarda de les noves formes de gestió dels recursos hídrics, més concordes amb les sequeres climatològiques que s'anticipen i molt més respectuosa amb el medi ambient i els usuaris de les conques fluvials d'on capta aigües en aquests moments.

3.3.8. Propostes de gestió

Entre les propostes de gestió en les quals la reutilització planificada està contribuint a millorar la gestió integrada dels recursos oferint una major garantia de subministrament als usuaris urbans i agrícoles, poden esmentar-se les següents (Mujeriego, 2006):

- La substitució d'aigües prepotables per aigües regenerades. Considerant que el cost marginal de les aigües prepotables en un context de dèficit sol ser considerablement superior al de l'aigua regenerada, i també al de l'aigua prepotable disponible convencionalment, l'intercanvi podria realitzar-se prenent com a referència el cost de l'aigua prepotable que s'allibera, de manera que el concessionari inicial pogués implantar el reg amb aigua regenerada (producció i distribució) sense costos addicionals. El concessionari inicial rebria una aigua regenerada de qualitat comparable a la disponible, i podria satisfer així les seves necessitats, amb unes garanties de sub-

ministrament molt superiors. L'usuari urbà obtindria així una font addicional d'aigua prepotable de gran valor.

- L'aportació d'aigua regenerada per a regadius infradotats o nous regadius. El règim econòmic i financer d'aquestes concessions pot plantejar-se en el marc general de les alternatives disponibles, de manera que el beneficiari sufragui el cost del projecte, seguint unes pautes similars a les aplicades als usuaris de recursos convencionals.

- La recàrrega artificial d'aqüífers amb aigües regenerades. El Groundwater Replenishment System del Orange County Water District i de l'Orange County Sanitation District representa el projecte més emblemàtic i de major envergadura del món, amb una producció anual de 90 hm³ d'aigua. La recàrrega d'un aqüífer potable comptarà amb 47 hm³, mentre que els restants 43 hm³ s'utilitzaran per alimentar la barrera contra la intrusió salina d'aquest mateix aqüífer. El cost de l'aigua regenerada en els punts d'infiltració i injecció se situava en 0,40 dòlars/m³ el 2007, que era el preu màxim assolit per les aigües superficials disponibles en aquesta zona per a aquests mateixos usos.

Altres opcions de gestió integrada de l'aigua que s'estan implantant, al marge o en coordinació amb l'ús d'aigua regenerada, són les següents:

- La rehabilitació dels sistemes de reg agrícola (modernització de regadius, millora de la seva eficiència) a canvi d'una fracció de l'aigua estalviada mitjançant aquestes mesures. Aquest plantejament compta amb exemples emblemàtics a Espanya, el més recent dels quals és el Pla Delta al riu Ebre (Consorci d'Aigües de Tarragona, 2001). El revestiment i mi-

llora de 197 km de canals de reg, junt amb la rehabilitació d'instal·lacions auxiliars, amb un pressupost total de 140 milions d'euros l'any 2000 va permetre estalviar 12 m³/s d'aigua que s'infiltra ven pels canals de reg, dels quals el Consorci d'Aigües de Tarragona va rebre una concessió de 4 m³/s, equivalents a 126 hm³ anuals. En definitiva, una inversió d'1,10 €/m³ va permetre obtenir una nova concessió d'aigua prepotable.

- La recàrrega artificial d'aqüífers com a forma de regular els recursos d'aigües superficials. Encara que la recàrrega artificial d'aqüífers ha estat àmpliament estudiada i debatuda a Espanya (ITGE, 2000), només ha assolit fins al moment una aplicació limitada, fins i tot després dels episodis de sequera i escassetat de recursos experimentats durant les últimes dècades en diverses zones del país. Com exemple del potencial que ofereix aquest element de gestió, pot citar-se el cas del Metropolitan Water District del Sud de Califòrnia (MWD; <http://www.mwdh2o.com>), distribuïdor en alta d'aigua d'abastament per a 18 milions d'habitants del sud de Califòrnia. El MWD ha establert durant l'última dècada acords amb un total de sis municipis i comunitats de regants dotats d'aqüífers, mitjançant els quals ha aconseguit una capacitat de regulació de 230 hm³, lleugerament superior a la capacitat del Lake Matthews, el segon embassament per capacitat d'aquesta agència. El febrer de 2005 es va establir un acord amb la ciutat de Compton, amb una durada de 25 anys, que preveu la possibilitat d'infiltrar fins a 2,8 hm³ d'aigua excedent del transvasament Sacramento-Los Angeles, a canvi d'una aportació de 2,42 milions de dòlars, destinada a la rehabilitació de les canonades i els pous utilitzats per la ciutat per a la gestió del seu abastament

a partir de l'aqüífer en qüestió. Aquest acord representa una inversió unitària de 0,86 dòlars per m³ de capacitat de regulació, amortitzable en 25 anys.

La consecució d'un gran acord marc entre els usuaris agrícoles i els urbans, en un context de gestió integrada de l'aigua com el que ofereixen els organismes de conca a Espanya i l'Agència Catalana de l'Aigua a Catalunya, mitjançant instruments reglamentaris com els Centres d'Intercanvi de Drets de l'Ús de l'Aigua, o d'altres que es puguin establir, constitueix una via molt favorable per satisfer les necessitats d'aigua prepotable per a abastament públic i d'aigua de reg per a l'agricultura i la jardineria.

La implantació d'acords contractuals per a la utilització d'aigües regenerades que responguin a les inquietuds de qualitat i de garantia de subministrament de l'aigua de reg, alhora que als interessos econòmics dels concessionaris, ofereix a l'agricultura de regadiu una alternativa pràctica d'enorme interès per resoldre els reptes que se li plantegen davant del dèficit de recursos, alhora que un suport reglamentari davant de les exigències de qualitat dels productes conreats amb aquestes aigües.

3.4. Dessalinització

La dessalinització d'aigua és una alternativa tècnica ben consolidada, que ha experimentat un apogeu considerable a causa del progrés continu registrat en el desenvolupament de les membranes d'osmosi inversa necessàries per a la separació de les sals contingudes en l'aigua. Els principals progressos d'aquesta tecnologia han permès la utilització de nous materials sintètics, més resistents a

la temperatura, a la pressió, a l'acció de l'embrutiment biològic i a l'acció dels composts químics utilitzats per a netejar-los, així com el desenvolupament de sistemes més eficaços de pressurització de l'aigua i sobretot de recuperació de la pressió (energia) de l'aigua producte. Les dades experimentals més recents indiquen una certa estabilitat en les millores de certes facetes essencials del procés, especialment en el consum energètic unitari. Les membranes d'osmosi inversa aconsegueixen la separació dels ions i les molècules dissoltes mitjançant la seva difusió a través del material de la membrana, i són les molècules o els ions de menor mida els que més fàcilment la travessen (AWWA, 1998).

D'altra banda, un dels criteris més utilitzats per valorar l'eficàcia de les membranes, especialment en el camp de la regeneració d'aigües, és la seva capacitat per retenir els composts orgànics continguts tant en aigües continentals i marines com en aigües depurades. L'afinitat química del material orgànic de les membranes amb certes molècules orgàniques que poden ser presents en aquestes aigües, permeten el pas preferent d'aquestes molècules amb independència que la seva mida superi la mida mitjana de porus o la capacitat de separació per difusió de les membranes. Els fabricants de membranes estan desenvolupant membranes de nous materials, capaços de separar les molècules orgàniques d'interès, tant sanitari com ambiental, com els productes denominats farmacèutics i d'higiene personal que poden estar presents en les aigües depurades, en concentracions de nanograms per litre.

La dessalinització d'aigua ha assolit un desenvolupament notable en àrees amb recursos hídrics limitats i amb

La dessalinització d'aigua és una alternativa tècnica ben consolidada, que ha experimentat un apogeu considerable a causa del progrés continu registrat en el desenvolupament de les membranes d'osmosi inversa necessàries per a la separació de les sals contingudes en l'aigua.

abundància d'energia, com els països del golf pèrsic. La dessalinització d'aigua de mar a Espanya té una llarga tradició a les Illes Canàries i les Illes Balears, i ha experimentat una notable expansió amb el projecte ACUAMED del Ministeri de Medi Ambient (<http://www.acuamed.com/>), que ha promogut la construcció de nombroses dessaladores a les zones costaneres mediterrànies des de la seva creació el 2004. Encara que el sud de Califòrnia té dèficits hídrics molt similars als de les conques mediterrànies espanyoles i és, a més, líder mundial en el disseny i la fabricació de membranes d'osmosi inversa i de vasos a pressió, la dessalinització d'aigua a Califòrnia ha estat molt limitada i centrada especialment en aigües salabroses. La raó fonamental de l'escassa implantació de les dessaladores d'aigües marines al sud de Califòrnia resideix en el cost de l'aigua dessalada, considerablement superior als 0,35-0,40 dòlars/m³ d'aigua en alta que cobra MWD a les seves agències i municipis, i que s'incrementa fins i tot 0,45 dòlars/m³ quan s'inclouen les despeses de distribució.

L'informe del DWR (2003) inclou una descripció molt clara i detallada de les consideracions bàsiques que cal tenir en compte per a la implantació d'una instal·lació de dessalinització d'aigua: 1) la necessitat de comptar amb una captació d'aigua acceptable ambientalment, 2) la necessitat de disposar d'un sistema de dilució i dispersió de les salmorres generades durant el procés i 3) la conveniència de disposar d'una font d'energia elèctrica econòmica, a raó del considerable consum unitari d'aquestes instal·lacions. Una de les estratègies adoptades per satisfer aquests requisits consisteix a situar la planta dessaladora als voltants, sinó en la mateixa propietat,

d'una central elèctrica dotada de sistemes de refrigeració amb aigua de mar. D'aquesta manera, 1) la captació d'aigua marina pot ser la mateixa que la utilitzada per refrigerar la central elèctrica, una vegada que ha passat per les torres de refrigeració, 2) la dilució i l'abocament de les salmorres pot fer-se mitjançant la seva incorporació al cabal d'aigües de refrigeració, aprofitant per a la seva dilució els sistemes de dispersió de l'aigua de la central i 3) l'energia elèctrica pot obtenir-se directament de la central, minimitzant els costos de distribució i de transport, amb la qual cosa es pot gaudir, fins i tot, d'unes tarifes especials.

Entre les recomanacions explícites de l'informe del DWR (2003) es pot ressaltar la conveniència d'adoptar una captació d'aigua a partir de pous costaners, enlloc de preses a mar obert, davant de la creixent evidència de l'impacte que els sistemes de protecció i filtració d'aquestes últimes poden causar en la flora i la fauna marines, tant macroscòpica com microscòpica, pròpies de la franja costanera, que és la més productiva del medi marí.

L'impacte tan desfavorable que les centrals amb preses d'aigua a mar obert causen sobre la fauna microscòpica marina és una de les raons principals, junt amb la infravaloració del pressupost de les instal·lacions, que esgrimeix la Califòrnia Coastal Commission per autoritzar la implantació de plantes de dessalinització d'aigua de mar i per exigir informació més detallada, tant sobre les mesures per mitigar aquests impactes com per valorar els costos reals de les instal·lacions i de l'aigua produïda (<http://ocvoice.wordpress.com/2008/05/06/poseidons-delay-coastal-commission-waits-2-years-for-desal-answers/>).

La dessalinització d'aigua de mar a Espanya té una llarga tradició a les Illes Canàries i Illes Balears, i ha experimentat una notable expansió amb el projecte ACUAMED del Ministeri de Medi Ambient, que ha promogut la construcció de nombroses dessaladores a les zones costaneres mediterrànies.

La ubicació de les plantes de dessalinització d'efluents depurats, tal com es planteja en nombroses mancomunitats de les Illes Canàries, segueix una estratègia innovadora: la matèria primera és l'efluent tractat d'una depuradora situada a prop de la costa, la dilució i l'abocament de les salmorres es realitza mitjançant un emissari, i l'aportació energètica se sol gestionar mitjançant la implantació coordinada d'aerogeneradors, amb uns notables rendiments energètics a causa del règim de vent tan favorable d'aquestes illes.

Encara que els beneficis potencials de la dessalinització d'aigua de mar són enormes, els costos econòmics, culturals i ambientals d'una comercialització generalitzada continuen sent elevats. En molts països del món, altres alternatives poden proporcionar els mateixos beneficis per a les aigües continentals que els de la dessalinització d'aigua marina, encara que amb uns menors costos econòmics i ambientals. Entre aquestes alternatives es pot destacar el tractament de fonts d'aigua de baixa qualitat (aigües salabroses), la promoció de transvasaments regionals d'aigua, la millora de l'estalvi i l'eficiència de l'ús de l'aigua, la intensificació de la regeneració i la reutilització d'aigua, i la implantació d'una planificació territorial adequada. Actualment, la major capacitat industrial de dessalinització d'aigua marina està ubicada al golf Pèrsic, en zones insulars amb una disponibilitat limitada de recursos i a certes zones del món on les opcions d'abastament són limitades i el públic està disposat a pagar preus elevats.

Les dessaladores no són la solució definitiva als problemes de l'aigua, encara que sí que són probablement un element bàsic del sistema de gestió dels

recursos hídrics. En darrer terme, les decisions finals sobre el desenvolupament de la dessalinització requeriran unes valoracions complexes de les circumstàncies i les necessitats locals, els factors econòmics i financers, els impactes ambientals i socials, i les alternatives disponibles.

Serà necessari, a més, que aquestes decisions siguin transparents, obertes, públiques i sistemàtiques. És necessari i urgent que els legisladors desenvolupin normatives completes, coherents i clares per als projectes de dessalinització, de manera que les propostes inapropiades siguin rebutjades ràpidament, i les apropiades puguin ser identificades i potenciades.

3.4.1. Implantació de la dessalinització

Malgrat el considerable progrés realitzat en els últims anys, la dessalinització continua sent una font d'aigua marginal, excepte en les regions de major nivell de vida i amb majors dèficits d'aigua (Cooley *et al.*, 2006). En concret, la dessalinització continua sent massa cara per convertir-se en la font principal d'aigua dolça, i presenta, a més, una sèrie d'obstacles socials, ambientals i tecnològics que serà necessari superar.

3.4.2. Economia de la dessalinització

La faceta econòmica és un dels factors més importants i determinants de l'èxit i de l'abast de la dessalinització. Els costos financers, els consums energètics, les implicacions ambientals, la garantia del subministrament i les conseqüències socials són factors estretament relacionats amb els factors econòmics.

Fins ara, el debat sobre els costos reals de la dessalinització ha estat confús i fosc, a causa que les estimacions s'han presentat en una gran varietat d'unitats,

Encara que els beneficis potencials de la dessalinització d'aigua de mar són enormes, els costos econòmics, culturals i ambientals d'una comercialització generalitzada continuen sent elevats.

Les dessaladores no són la solució definitiva als problemes de l'aigua, però probablement sí que són un element bàsic del sistema de gestió de recursos hídrics.

referides a diferents anys d'explotació, i en formats que no n'han permès una comparació senzilla.

Les corbes de costos desenvolupades per l'US Bureau of Reclamation el 2003 (Cooley *et al.*, 2006) evidencien dos fets importants: 1) l'osmosi inversa és considerablement més econòmica que els processos tèrmics, en tot el rang de mides de les plantes i 2) totes aquestes tecnologies ofereixen economies d'escala.

Dit d'una altra manera, aquestes corbes indiquen que el cost real de l'aigua produïda en plantes petites (20.000 m³/dia) és molt més gran que el cost de referència utilitzat freqüentment, i que correspon a plantes de mida mitjana (40.000-80.000 m³/dia) o gran (100.000 m³/dia). L'experiència del promotor del projecte, el període d'amortització, la taxa d'interès i els aspectes reglamentaris afecten igualment el cost final de l'aigua dessalada.

Els costos reals de l'aigua dessalada produïda a les instal·lacions espanyoles (dessaladores de Palma de Mallorca i dels Canals del Taibilla) se situa en els 0,8 €/m³, considerant la totalitat dels costos d'inversió i d'explotació i manteniment, inclosa l'energia elèctrica. Els costos corresponents a la dessalinització d'aigües salabroses són notablement inferiors, a causa d'una major recuperació d'aigua de les membranes i un menor consum d'energia, arran del menor contingut de sals de l'aigua d'alimentació.

3.4.3. Beneficis de la dessalinització

Un dels beneficis és la major garantia de subministrament que proporciona mitjançant la diversificació de les fonts d'abastament, especialment en zones àrides i semiàrides, caracteritzades per una gran variabilitat dels recursos disponibles.

Una altra faceta positiva de la dessalinització és que els recursos que aporta queden sota la tutela directa de les entitats locals, sense dependre de circumstàncies alienes, i tenen a més una menor dependència de factors com els desastres naturals o altres amenaces sobre els sistemes hídrics.

La dessalinització pot oferir una resposta favorable a la conveniència de disposar de recursos propis a la zona geogràfica d'influència del promotor, sense necessitat de realitzar transvasaments des d'altres zones, especialment zones agrícoles, alhora que ofereix una protecció davant la vulnerabilitat de les interrupcions del subministrament des de zones allunyades, la capacitat de control de les quals és sovint limitada. Convé indicar la possibilitat que els usuaris agrícoles siguin els primers interessats a promoure la dessalinització com a font d'abastament urbà, a causa que els seus costos no els afectaran i els ajudaran a disminuir les pressions polítiques a què es poden veure sotmesos perquè transfereixin aigües més barates des del sector agrícola a les zones urbanes.

3.4.4. Dependència energètica

L'enfocament més convencional per avaluar un projecte de dessalinització és sospesar els seus dos principals beneficis, la garantia de subministrament i la qualitat de l'aigua dessalada, amb les seves dues principals exigències, el major cost unitari i els possibles impactes ambientals (Cooley *et al.*, 2006). No obstant això, hi ha una exigència addicional de l'aigua dessalada que convé tenir en compte: la seva dependència tan directa de l'evolució dels preus de l'energia necessària per a la seva explotació. Als subministradors d'aigua els preocupa no solament la variabilitat del sub-

Fins ara, el debat sobre els costos reals de la dessalinització ha estat confús i fosc.

ministrament de les diferents fonts d'abastament, sinó també la variabilitat dels principals costos de producció. Aquesta variabilitat dels costos pot obligar-los a apujar les tarifes per compensar els costos imprevistos. Això pot ser especialment problemàtic durant els períodes de sequera, quan els ingressos disminueixen a causa de les menors vendes d'aigua. Considerant que les plantes de dessalinització són normalment explotades al seu nivell màxim de producció durant les èpoques de sequera, qualsevol augment inesperat dels costos pot augmentar la inestabilitat dels ingressos propis de l'entitat subministradora en condicions normals.

En definitiva, el component energètic tan important de la dessalinització (un 44% de mitjana) fa que la pujada progressiva del cost de l'energia generi un augment progressiu del cost de l'aigua dessalada, en major grau que el d'altres fonts convencionals d'aigua, on les amortitzacions del capital tenen una participació significativament superior al de l'energia.

3.5. Reutilització i dessalinització

La reutilització planificada i la dessalinització d'aigua tenen diversos elements en comú que convé ressaltar. En primer lloc utilitzen una font de matèria primera no convencional i en certa manera molt més abundant que els recursos convencionals, especialment quan es tracta d'aigua marina; en segon lloc, l'aigua resultant d'ambdós processos necessita conductes específics per a la seva incorporació a les xarxes de distribució d'aigua. Així, l'aigua regenerada se subministra mitjançant un conducte específic (per evitar el seu contacte amb

l'aigua de qualitat potable), que pot existir prèviament quan es tracta d'una substitució d'aigua per a reg agrícola o de jardineria, o que és necessari construir de nou quan es tracta d'ampliar una activitat inexistente. De manera similar, la incorporació de l'aigua dessalada a una xarxa d'abastament, tant si és per a abastament humà com per a altres usos, requereix una conducció des de la planta dessaladora fins un punt d'emmagatzemament o d'incorporació a la xarxa d'abastament que es tracta de complementar. En ambdós casos, el cost d'aquesta conducció sol ser significatiu, amb una importància relativa fins i tot molt més gran en el cas de la regeneració, a causa del menor cost unitari del procés de regeneració respecte del de dessalinització.

Tant la regeneració com la dessalinització assoleixen la seva utilització òptima quan les instal·lacions funcionen de forma continuada i sistemàtica, de manera que els costos fixos de la inversió puguin distribuir-se sobre el major volum d'aigua produït. La circumstància que la inversió d'una instal·lació de dessalinització assoleixi usualment els 4 €/m³ anual, en comparació amb un valor pròxim a 0,30 €/m³ anual de la regeneració, fa que una planta de dessalinització hagi de ser explotada de forma gairebé permanent, per tal d'assolir la màxima producció anual d'aigua.

Una de les estratègies més eficaces i econòmiques de produir aigua regenerada o dessalada és utilitzar una planta amb una producció mitjana igual a la requerida per l'ús o l'aprofitament que es consideri, i disposar d'un dispositiu de regulació que permeti ajustar l'oferta i la demanda temporal d'aquests mateixos usos. Aquesta proposta òptima

Tant la regeneració com la dessalinització assoleixen la seva utilització òptima quan les instal·lacions funcionen de forma continuada i sistemàtica, de manera que els costos fixos de la inversió puguin distribuir-se sobre el major volum d'aigua produït.

es pot ajustar mitjançant petits canvis en el factor de punta de la planta de producció i el nivell de cobertura del dispositiu de regulació. L'absència d'un sistema de regulació pot limitar considerablement l'abast de la reutilització o dessalinització de l'aigua, a més d'augmentar-ne considerablement el cost unitari.

La matèria primera utilitzada usualment per a la regeneració sol ser un bon efluent secundari d'origen municipal, mentre que la dessalinització sol plantejar-se amb aigua marina o salabrosa. No obstant això, hi ha solucions intermèdies, que aprompen considerablement els conceptes de regeneració i de dessalinització.

La utilització d'aigua salabrosa com a matèria primera per a la dessalinització ofereix el gran avantatge econòmic d'un menor consum energètic unitari, quan aquest guarda una relació gairebé lineal amb el contingut de sals de l'aigua.

La utilització d'un bon efluent secundari d'origen municipal com a font inicial d'aigua per a la dessalinització és una estratègia ben demostrada en projectes com el de la Water Factor 21, que ha funcionat durant 25 anys en l'Orange County Water District (<http://www.ocwd.com>). La versió actualitzada i ampliada d'aquest concepte s'està duent a terme a diverses parts del món, en particular a Singapur (<http://www.pub.gov.sg/newater>) i a l'Orange County Water District amb el nom de Groundwater Replenishment System (Mujeriego, 2004). L'avantatge d'aquesta alternativa de regeneració-dessalinització és que utilitza una font d'aigua prou abundant en la majoria dels casos (efluent secundari), especialment en zones costaneres, on els efluentes tractats s'aboquen al mar, amb efectes indesitjables en alguns casos.

El mes de maig de 2008, l'Stockholm International Water Institute ha concedit a l'Orange County Water District i a l'Orange County Sanitation District, de Califòrnia, l'Stockholm Industry Water Award de l'any 2008, a raó del treball pioner que han realitzat per desenvolupar la planta de purificació d'aigua més gran del món destinada a la recàrrega d'aqüífers, sota la denominació del Groundwater Replenishment System (GWRS). L'Stockholm Industry Water Award té per objecte homenatjar i estimular el sector industrial perquè realitzi aportacions al desenvolupament sostenible en el camp dels recursos hídrics. El premi es lliura durant la World Water Week que se celebra cada mes d'agost a Estocolm. Aquest prestigiós guardó va ser establert el 2000 per la Stockholm Water Foundation, en col·laboració amb la Reial Acadèmia Sueca de Ciències de l'Enginyeria i el Consell Empresarial Mundial per al Desenvolupament Sostenible (www.siwi.org).

Un últim aspecte que cal destacar d'ambdues formes de generar recursos hídrics addicionals és la importància transcendental que té establir un acord contractual, al més específic possible, entre els responsables de la producció de l'aigua regenerada i/o dessalada, i els futurs beneficiaris d'aquest mateix producte. La desconsideració d'aquest element bàsic de gestió planteja dificultats sistemàtiques durant la posada en marxa de la planta de producció d'aigua. L'experiència de nombroses enquestes i projectes de reutilització d'aigua posa de manifest que els usuaris potencials tenen inicialment una predisposició favorable a utilitzar l'aigua regenerada; no obstant això, arribat el moment d'utilitzar-la, solen plantejar nombrosos impediments a la seva implantació.

La matèria primera utilitzada usualment per a la regeneració sol ser un bon efluent secundari d'origen municipal, mentre que la dessalinització sol plantejar-se amb aigua marina o salabrosa. No obstant això, hi ha solucions intermèdies.

Mentre que l'impediment més freqüent per a la reutilització d'aigua regenerada sol ser de tipus psicològic, a causa, concretament, de la percepció del possible risc sanitari que la seva utilització pot comportar, l'impediment més freqüentment esgrimit per a la utilització de l'aigua dessalada sol ser de tipus econòmic, davant del seu major cost unitari relatiu al dels recursos convencionals.

Mentre que la regeneració i la reutilització planificada de l'aigua a Espanya han estat impulsades pel desig dels usuaris de disposar de recursos addicionals d'aigua, la dessalinització ha estat generalment una proposta de les administracions per oferir recursos addicionals o alternatius.

En definitiva, mentre que la regeneració i la reutilització planificada de l'aigua a Espanya han estat impulsades pel desig dels usuaris de disposar de recursos addicionals d'aigua, la dessalinització ha estat generalment (especialment en la zona peninsular) una proposta de les administracions per oferir recursos addicionals o alternatius.

3.6. Conclusions

La gestió integrada dels recursos hídrics prova de definir-ne una assignació harmònica i equilibrada entre els diferents usos o aprofitaments. Per atendre els aprofitaments urbans, agrícoles i industrials, i també per assegurar la preservació del medi ambient, es disposa de diverses opcions que garanteixen la qualitat d'aquests recursos. La gestió actual requereix la utilització simultània de diverses o de totes aquestes opcions, com a forma de diversificar el subministrament i assegurar la fiabilitat del servei.

L'emmagatzematge d'aigua mitjançant embassaments permet regular un règim de precipitacions tan irregular com l'espanyol, i ofereix protecció a les poblacions i als recursos naturals davant de les catastròfiques conseqüències que les avingudes i les inundacions

causades per règims torrencials de pluja poden i solen causar a les conques dels nostres rius. La construcció d'embassaments en derivació (*off-stream, embanked reservoirs*) permet limitar significativament les afeccions ambientals dels embassaments tradicionals.

L'ús conjunt d'aigües superficials i d'aigües subterrànies és una estratègia àmpliament utilitzada a les zones semiàrides. L'estratègia adoptada en aquests casos consisteix a emmagatzemar aigua superficial en aquífers utilitzats per a l'abastament i el regadiu, sota la designació de «banc d'aigua». La particularitat d'aquestes actuacions és que es poden realitzar entre operadors públics i/o privats.

La reutilització planificada de l'aigua constitueix un component essencial de la gestió integrada dels recursos hídrics, especialment en zones costaneres, on pot contribuir de forma significativa a l'augment net d'aquests recursos. La regeneració de l'aigua es concep actualment com un procés destinat a obtenir un producte de qualitat, de manera molt similar al que s'adopta a les instal·lacions de potabilització d'aigua d'abastament públic.

La reutilització planificada de l'aigua ofereix una garantia de subministrament molt superior a la de les fonts convencionals, ja que assegura la disponibilitat de cabals especialment durant l'estiu. Permet un aprofitament dels nutrients (nitrogen i fòsfor) continguts a l'aigua regenerada i potencia una gestió més eficient dels recursos hídrics, ja que permet que aigües de qualitat prepotable puguin ser utilitzades per a abastament públic.

En un futur immediat, l'objectiu a aconseguir ha de ser que la reutilització planificada es converteixi realment en

un element més de la gestió integrada dels recursos hídrics, mitjançant acords entre usuaris urbans, agrícoles i de lleure. La recent aprovació del Reial decret 1620/2007 ofereix noves alternatives de promoció institucional de la reutilització de l'aigua, que han de contribuir al progrés en aquest camp.

L'àrea metropolitana de Barcelona disposa de diverses plantes de regeneració d'aigua, entre les quals cal destacar la planta de regeneració del Baix Llobregat, que construïda el 2006, és una de les plantes de regeneració d'aigua més grans i modernes d'Europa. La planta rep un efluent secundari i li aplica un tractament de regeneració capaç de produir una aigua regenerada de la millor qualitat prevista al Reial decret 1620/2007. Els resultats analítics preliminars dels mesos de març a maig de 2008 indiquen que l'aigua regenerada té una qualitat química i microbiològica superior a la pròpia del riu Llobregat, en el tram aigües a dalt del punt de presa d'aigua prepotable de Sant Joan Despí.

Catalunya compta amb un extens nombre de projectes de regeneració i reutilització d'aigua per a una gran varietat d'usos. A més del projecte del Baix Llobregat, cal esmentar el projecte de reg de jardineria de Port Aventura a Tarragona, així com els nombrosos projectes que el Consorci de la Costa Brava ha anat implantant en els seus 27 municipis des de 1985, entre els quals mereixen especial rellevància les zones humides construïdes que proveeixen el Parc Natural dels Aiguamolls de l'Empordà, la recàrrega d'aqüífers a Blanes i les xarxes de distribució d'aigua regenerada a Tossa de Mar i Lloret de Mar.

Catalunya disposa de 23 anys d'experiència en la implantació, explotació i gestió de projectes de regeneració i reu-

tilització d'aigua, per als usos més diversos i condicionants geogràfics. Es pot pensar que l'experiència del projecte de reutilització d'aigua del Baix Llobregat, amb la faceta imprevista de reutilització potable indirecta deguda a la sequera de l'any 2008, ha d'afavorir una valoració molt més realista de l'aigua regenerada com una nova font d'aigua per satisfer, entre d'altres, les demandes de l'àrea metropolitana de Barcelona.

La dessalinització d'aigua és una alternativa tècnica ben consolidada, que ha experimentat un apogeu considerable a causa del progrés continu registrat en el desenvolupament de les membranes d'osmosi inversa necessàries per a la separació de les sals contingudes en l'aigua. Encara que els beneficis potencials de la dessalinització d'aigua de mar són enormes, els costos econòmics, culturals i ambientals d'una comercialització generalitzada continuen sent elevats. Fins ara, el debat sobre els costos reals de la dessalinització ha estat confús i fosc, a causa que les estimacions s'han presentat en una gran varietat d'unitats, referides a diferents anys d'explotació, i en formats que no han permès una comparació senzilla entre ells.

La reutilització planificada i la dessalinització utilitzen una font de matèria primera no convencional i en certa manera molt més abundant que els recursos convencionals, l'aigua regenerada en el primer cas i l'aigua de mar en el segon. Mentre que la regeneració i la reutilització planificada de l'aigua a Espanya han estat impulsades pel desig dels usuaris de disposar de recursos addicionals d'aigua, la dessalinització ha estat generalment (especialment a la zona peninsular) una proposta de les administracions per oferir recursos addicionals o alternatius.

Els dèficits estacionals i geogràfics d'aigua que s'han registrat en determinades zones semiàrides del món han afavorit la consideració de l'aigua regenerada com a possible font addicional d'aigua per a abastament públic. La utilització d'un bon efluent secundari d'origen municipal com a font inicial d'aigua per a la dessalinització és una estratègia ben demostrada en projectes

com el Groundwater Replenishment System de l'Orange County Water District (<http://www.ocwd.com>). L'avantatge d'aquesta alternativa de regeneració-dessalinització és que utilitza una font inicial d'aigua prou abundant en la majoria dels casos (efluent secundari), especialment en zones costaneres, on els efluentes tractats s'aboquen al mar, amb efectes indesitjables en alguns casos.

BIBLIOGRAFIA

- ASANO, T. (Editor): *Wastewater: reclamation and reuse*. Water Quality Management Library, vol. 10. Technomic Publishing Co. Inc. Lancaster: PA, USA, 1998.
- ASSOCIATION OF CALIFORNIA WATER AGENCIES (ACWA): *No Time to Waste, A Blueprint for California Water*. Sacramento, Califòrnia: 2005. www.acwa.com.
- CALIFORNIA ENERGY COMMISSION: *California's Water-Energy Relationship*. CEC-700-2005-011/CEC-700-2005-011-SF.PDF Sacramento, Califòrnia: Final Staff Report, 2006. www.energy.ca.gov/2005publications/
- COOLEY, H.; GLEICK, P. H.; WOLF, G.: *Desalination, with a grain of salt; a California perspective*. Oakland, Califòrnia: Pacific Institute, 2006. www.pacinst.org/reports/desalination/desalination_report.pdf.
- CONSORCI D'AIGÜES DE TARRAGONA: *El Pla Delta*. 2001. www.ccaait.com.
- CONSORCI DE LA COSTA BRAVA: Actes de las jornades tècniques: Integració de l'aigua regenerada en la gestió dels recursos: el paper dinamitzador del territori. Lloret de Mar: 2005. www.ccbgi.org/jornades2005
- CUTHBERT, R. W; HAJNOSZ, A. M.: «Setting reclaimed water rates». *Journal of the American Water Works Association*, vol. 91, n. 8, pàg. 50-57, 1999.
- DEL RÍO, F.; LÓPEZ, J.; DE JUANA, I.: *Reutilización del agua residual, experiencias prácticas en Vitoria*. Comunicación presentada en las XVII Jornadas de la Asociación Española de Abastecimiento y Saneamiento. Vitoria: 1996.
- DIARI OFICIAL DE LES COMUNITATS EUROPEES: *Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política del agua*. L 327/1-71. 2000.
- DIPUTACIÓ FORAL D'ÀLABA, GOVERN BASC i AIGÜES MUNICIPALS DE VITÒRIA: *Plan de recuperación y reutilización integral de las aguas residuales de Vitoria-Gasteiz*. Vitòria: Diputació Foral d'Àlaba, 1995.
- ENTITAT DE SANEJAMENT D'AIGÜES: *Gestión actual y reutilización de las aguas residuales en la Comunidad Valenciana*. Curs d'estiu de la Fundació Caixa de Castelló- Universitat Jaume I. Castelló: 2005.
- INSTITUT TECNOLÒGIC GEOMINER D'ESPANYA: *Identificación de acciones y programación de actividades de recarga artificial de acuíferos en las cuencas intercomunitarias*. Madrid: Ministerio de Medi Ambient, 2000.
- LEVINE, A.; ASANO, T.: «Recovering sustainable water from wastewater». *Journal of Environmental Science and Technology*. American Chemical Society. June 1, pàg. 201A-208A. 2004.
- MUJERIEGO, R.: *La reutilización planificada del agua para regadío*. Ponencia presentada en el XI Congreso Nacional de Comunidades de Regantes de España, Palma de Mallorca, 15-19 de maig de 2006. Actes del Congrès, Madrid: FENACORE, 2006.
- MUJERIEGO, R.: *La reutilización, la regulació y la desalación de agua*. *Ingeniería y Territorio*, n. 72. ISSN: 1695-9647. Col·legi d'Enginyers de Camins, Canals i Ports. Madrid: 2005. <http://www.ciccp.es/revistait/>
- MUJERIEGO, R.: «La gestión del agua en el sur de California». *Ambienta*, n. 38, novembre de 2004, pàg. 31-38. Madrid: Ministerio de Medi Ambient, 2004. www.mma.es/publicacion/ambienta/
- MUJERIEGO, R.: *Evolución y perspectiva de la reutilización de aguas en España. La gestión de l'aigua regenerada*. Editat per R. Mujeriego i L. Sala. Girona: Consorci de la Costa Brava, 1998.
- MUJERIEGO, R. (Editor): *Manual práctico de riego con agua residual municipal regenerada*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, 1990.
- ORGANITZACIÓ MUNDIAL DE LA SALUT: *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater*. Ginebra, Suïssa: 2006. http://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/gsuweg2/en/index.html
- SALA, L.; SERRA, M.: *Towards Sustainability in water recycling*. *Water Science and Technology*, vol. 50, n. 2, pàg.1-8. 2004.
- SALA, L.; MILLET, X.: *Aspectos básicos de la reutilización de las aguas residuales regeneradas para el riego de campos de golf*. Jornades Tècniques de la Federació Espanyola de Golf de 1995. Girona: Consorci de la Costa Brava, 1997.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY AND UNITED STATES AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT: *Guidelines for Water Reuse*. EPA/625/R-04/108, September 2004. Office of Water, Washington, DC; Office of Research and Development, Cincinnati, Ohio: 2004. <http://www.epa.gov/nmri/bs/625r04108/625r04108.htm>

