

**REUTILITZACIÓ  
PLANIFICADA  
D'AIGÜES RESIDUALS  
URBANES,  
A CÀRREC DE  
JOAN GARCÍA I SERRANO,  
DE LA UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA**

## 1. LA REUTILITZACIÓ I LA REGENERACIÓ: DESENVOLUPAMENT, BENEFICIS I USOS

L'aigua dolça és un recurs renovable essencial per a la vida i el desenvolupament de les poblacions d'éssers humans. La distribució mundial dels recursos hídrics és molt irregular, per exemple, un habitant de Gaza disposa de 59 m<sup>3</sup>/any, mentre que un islandès pot gaudir de 630.000 m<sup>3</sup> anuals (Courbet i Verant, 2001). Aquesta irregularitat natural, juntament amb l'augment de la població urbana i els models de desenvolupament actuals, provoca que moltes zones àrides o semiàrides no disposin de prou recursos hídrics per a les poblacions d'humans. Una d'aquestes zones és la Mediterrània. En aquestes zones, la manca del recurs hídric es resol normalment transportant-lo des d'indrets llunyans fins on es necessita. En són exemples les propostes de projectes de transvasament del riu Roina i del riu Ebre, de tanta actualitat al nostre país. Tanmateix, aquestes propostes presenten cada vegada més rebuig social perquè hi ha una tendència creixent a reconèixer el valor intrínsec dels recursos naturals davant del seu valor utilitari. En aquest context, la reutilització de les aigües depurades és una alternativa que permet alliberar parcialment o totalment els recursos hídrics i, per tant, pot contribuir a assolir el tan desitjat desenvolupament sostenible, o si més no a aproximar-s'hi.

La *reutilització d'efluents urbans depurats* consisteix en l'aprofitament d'aigües que ja han estat usades. La reutilització és, doncs, un aspecte important dins del marc general dels recursos hídrics i del control de la contaminació. Permet disposar d'un recurs hídric alternatiu i fiable i, a més, redueix la contaminació.

La reutilització es pot classificar en *indirecta* o *direc-ta*. La *reutilització indirecta* es basa en l'abocament dels efluents depurats al medi ambient, la mescla amb aigua

dels ecosistemes i la utilització incidental. Per exemple, una planta potabilitzadora que capta i tracta aigües d'un riu on s'hi aboquen efluents depurats que es barregen i dilueixen amb el cabal circulant, és un procés de reutilització indirecta. Aquesta pràctica no ha de sorprendre, ja que és habitual al nostre país. La reutilització indirecta és sempre parcial perquè no s'aprofita tota l'aigua depurada. La *reutilització directa* consisteix en l'aprofitament de l'aigua sense que s'aboqui al medi ambient receptor. Pot ser una reutilització completa o total de l'aigua. La reutilització directa és el que es coneix com a *reutilització planificada*.

La reutilització es classifica segons els usos: no potables o potables. En la *reutilització per a usos no potables* l'aigua que s'aprofita té una qualitat inferior a la de l'aigua potable. En aquest cas, s'utilitza, per exemple, per a reg agrícola i de jardineria, per a la indústria i per a la neteja de carrers. La *reutilització per a usos potables* consisteix en la utilització directa de l'aigua reutilitzada com a aigua potable després de tractaments terciaris molt avançats, o indirectament després d'haver-se barrejat i diluït amb aigües corrents. La reutilització per a usos no potables és la més habitual i té una gran acceptació pública a les zones amb tradició en reutilització, com Califòrnia i Florida. La reutilització directa per a usos potables és una pràctica que s'efectua a molt pocs llocs del món, i no té una bona acceptació pública (Okum, 2001). La reutilització tant per a usos potables com no potables encara té problemes d'acceptació pública en regions on no hi ha tanta tradició i estan en plena fase d'implantació (Jeffrey, 2001), com és el cas de Catalunya i de l'Estat espanyol.

El notable desenvolupament de la reutilització planificada els últims temps obeeix fonamentalment a dos factors (Mujerigo, 2000). En primer lloc, en molts països i regions es pretén ampliar els abastaments i, en definitiva, augmentar la quantitat d'aigua disponible. Això és degut al fet que la

població i les dotacions segueixen augmentant de manera que les fonts d'aigua tradicionals són insuficients. Les distàncies entre noves fonts i els grans nuclis urbans cada vegada tendeixen a ser més grans. Amb molta freqüència hi ha grans limitacions de tipus ambiental per a construir embassaments. En algunes zones hi ha sovint sequeres recurrents que provoquen una reducció de la quantitat d'aigua disponible. En segon lloc, les exigències sanitàries i ambientals sobre el medi receptor, els requisits d'ubicació i els nivells de tractament cada vegada són més estrictes i, per tant, tendeixen a limitar els abocaments d'aigües depurades.

El procés de tractament necessari perquè una aigua residual depurada pugui ser reutilitzada és la *regeneració*. La regeneració té com a objectiu retornar a l'aigua el nivell de qualitat que tenia abans de ser usada totalment o parcialment. La implantació d'un projecte de regeneració té dos requisits fonamentals:

- 1) Definir els nivells de qualitat adequats per a cada ús.
- 2) Establir els processos de tractament per a regenerar l'aigua de manera que es puguin assolir els nivells de qualitat establerts prèviament.

L'elaboració i l'aprovació d'aquests dos punts constitueixen una de les parts més conflictives en qualsevol programa de reutilització (Mujeriego, 1990, 2000). Una prova en són la diversitat i l'heterogeneïtat dels criteris i de les normes de qualitat establerts pels diferents països, regions i organitzacions internacionals sobre la reutilització de les aigües.

La posada en marxa de programes de reutilització en una zona determinada té com a benefici general una gestió més adequada i completa dels recursos hidràulics. Altres beneficis són els que es descriuen a continuació (Mujeriego,

2000). La reutilització té més avantatges respecte de l'abocament directe de l'aigua al medi ambient quan les exigències de qualitat de la reutilització són menys restrictives. La reutilització permet reduir les aportacions de contaminants al medi ambient receptor; de fet, en el reg agrícola i de jardineria amb aigua regenerada es pot considerar que l'aigua rep un tractament addicional al sòl. La reutilització també promou que les instal·lacions de potabilització siguin més senzilles quant a processos, de manera que el preu de producció de l'aigua potable pot arribar a reduir-se. La reutilització agrícola i de jardineria permet que s'aprofitin els nutrients que conté l'aigua regenerada. Un altre benefici és que el cabal disponible d'aigua regenerada és molt fiable i regular, fins i tot més que moltes aigües corrents de la conca mediterrània.

Les aigües residuals regenerades s'utilitzen per a usos múltiples, entre els quals destaquen els següents:

- 1) reutilització urbana (jardineria, incendis, neteja de carrers i de cotxes)
- 2) reutilització industrial (refrigeració)
- 3) reutilització agrícola i forestal
- 4) reutilització ornamental i recreativa
- 5) reutilització per a la millora i la preservació del medi ambient
- 6) reutilització per a la recàrrega d'aqüífers.

La reutilització de les aigües és una pràctica molt estesa en alguns països i regions com Califòrnia, Florida, el Japó, Israel, Tunísia i Jordània. En cada cas, els programes de reutilització s'elaboren per respondre a demandes diferents segons el context local. A les regions àrides i semiàrides com Califòrnia, Jordània, Tunísia i Catalunya, les aigües regenerades s'utilitzen fonamentalment per a reg agrícola i de jardi-

neria, tant de cultius de consum cru com de cultius processats, i tant mitjançant reg per aspersió, com per goteig i per inundació. Japó és un cas particular perquè les aplicacions són fonamentalment de tipus urbà: alimentació de fonts i dipòsits ornamentals, usos en edificis i augment del cabal de trams de rius urbans, entre d'altres. La figura 1 mostra una comparació entre els usos de Califòrnia i del Japó. El cas de Catalunya és molt similar al de Califòrnia.

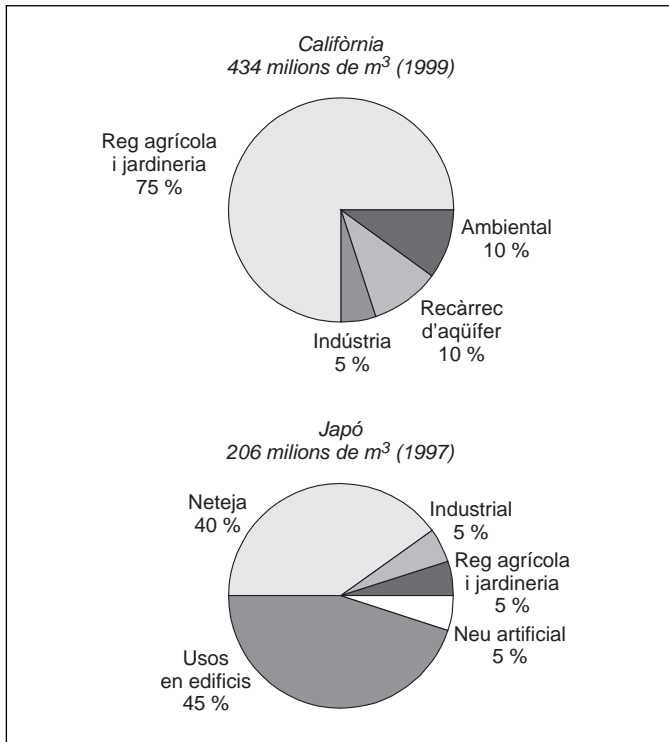


FIGURA 1. Comparació dels usos de les aigües reutilitzades a Califòrnia i al Japó.

Font: Courbet i Verant (2001).

En aquest article es tracta la reutilització per a reg agrícola i de jardineria, que constitueix l'ús principal al nostre país. Quant a tractaments de regeneració, el text se centra en els processos convencionals.

## 2. CARACTERÍSTIQUES FÍSQUES I QUÍMIQUES DE L'AIGUA REGENERADA PER A REG

La qualitat física i química que ha de tenir l'aigua regenerada depèn de l'ús que se'n faci (Mujeriego, 1990). La qualitat de l'aigua regenerada depèn també de la qualitat de l'aigua d'abastament, de la contaminació afegida i del tractament rebut per l'aigua residual. Normalment, si l'aigua d'abastament és adequada per al reg agrícola, l'aigua residual regenerada també ho és. Els problemes deguts a la salinitat i a l'acumulació de sodi solen aparèixer quan hi ha infiltracions d'aigua salada o salobre a la xarxa de sanejament, o bé si hi ha abocaments industrials salins.

La qualitat de l'aigua s'ha d'avaluar amb l'objectiu de preveure els efectes a llarg termini sobre les plantes i el sòl. Les analítiques que s'efectuen per avaluar la qualitat de l'aigua que serà regenerada no requereixen la precisió d'un estudi d'investigació. Tanmateix, s'han d'utilitzar els mètodes més adequats i estandarditzats. A la figura 1 es mostren les determinacions analítiques mínimes que cal fer en els programes de reutilització per a avaluar inicialment la qualitat de l'aigua. En aquest cas, es mostren els valors paramètrics d'aigües residuals tractades de diferents procedències. Des del punt de vista del reg agrícola i de jardineria són molt importants els paràmetres relacionats amb la salinitat i la qualitat de les sals presents. Desviacions importants d'aquests paràmetres poden provocar que l'aigua no es pugui reutilitzar sense aplicar un procés de desmineralització, amb

tots els inconvenients tècnics, d'exploració, de manteniment i financers que això representa en comparació amb un procés de tractament convencional. A continuació es descriuen aquests paràmetres.

TAULA 1. *Determinacions analítiques mínimes en els programes de reutilització per avaluar la qualitat de l'aigua. Com a exemple es mostren els valors paramètrics d'efluents secundaris de diferents procedències*

Paràmetres	Unitat	EDAR Lloret	EDAR Llaneres	EDAR Teià	EDAR Tordera	EDAR Oriús	EDAR Canyamars	EDAR Blanes
Data		23/11/00	24/11/00	20/11/00	24/11/00	24/11/00	24/11/00	24/11/00
Tipus de mostra		Integrada	Integrada	Integrada	Puntual	Puntual	Puntual	Puntual
PH		7,45	7,48	7,38	7,15	7,2	7,44	7,14
Conductivitat	dS /m	1,3	1,35	1,58	0,96	1,22	0,9	2,35
Ca <sup>+2</sup>	mg/l	98	104	94	82	156	92	146
Mg <sup>+2</sup>	mg/l	14,4	6,0	7,2	6,0	7,2	10,8	33,6
Cl <sup>-</sup>	mg/l	260	309	309	162	167	134	680
Na <sup>+1</sup>	mg/l	201	226	241	141	151	108	300
Bor	mg/l	0,87	1,04	0,95	0,62	1,12	0,95	1,3
TAS		5,01	5,83	6,44	4,05	3,2	2,84	5,82

Font: dades pròpies.

*Salinitat.* Normalment es mesura mitjançant la conductivitat elèctrica. També es pot mesurar amb la matèria dissolta. Les aigües de reg que tenen una conductivitat elèctrica superior a 3-4 dS/m poden ocasionar problemes als cultius. Les concentracions dels ions majoritaris de les aigües, com el calci, el magnesi, el sodi, el bicarbonat, els clorurs i els sulfats solen estar correlacionades positivament amb la salinitat. A mesura que augmenta la salinitat, les plantes requereixen més energia per a extraure l'aigua del sòl, de manera que es produeixen plantes amb un desenvolupament escàs. La temperatura i la humitat afecten la resposta de les plantes a la salinitat. La salinitat és més crítica durant períodes calo-



rosos i secs, i especialment si es rega per aspersió (Mujeriego, 1990).

A la figura 2 es mostren el valors de conductivitat elèctrica d'aigües d'abastament i residuals depurades de diferents procedències de Catalunya. La comparació entre els valors d'abastament i els de l'aigua residuals dóna una idea de la magnitud de les aportacions salines. Com es pot observar, els valors són netament més elevats quan hi ha infiltracions d'aigua salobre o salada a la xarxa de sanejament, o bé quan hi ha abocaments industrials amb salinitat elevada. Aquests valors elevats de conductivitat limiten la reutilització de l'aigua per a reg agrícola i de jardineria sense recórrer a tractaments costosos de desmineralització, de manera que cal evitar l'entrada a les xarxes de sanejament d'aquestes infil-

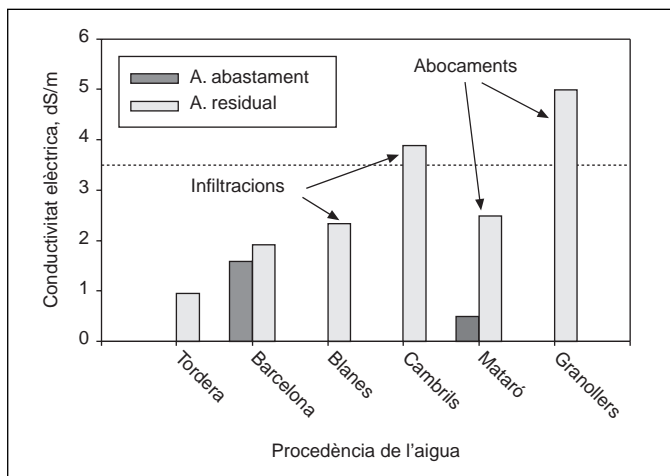


FIGURA 2. Valors de conductivitat elèctrica d'aigües d'abastament i residuals depurades de diverses procedències de Catalunya. La línia de punts indica el límit de conductivitat a partir del qual la salinitat pot ser un problema.

Font: dades pròpies i recopilades de fonts diverses.

tracions i d'abocaments mitjançant reparacions dels col·lectors i programes rigorosos de control d'abocaments.

*Taxa d'absorció de sodi (TAS)*. És un paràmetre que relaciona les concentracions de sodi, calci i magnesi, expressades en termes de meq/l:

$$TAS = 2Na^+ / (Ca^{+2} + Mg^{+2})^{1/2}$$

Té una importància vital per a avaluar els riscos d'acumulació de sodi al sòl. La preocupació de l'acumulació de sodi (*sodicitat*) és l'alteració de l'estructura del sòl, que finalment provoca una minva de la permeabilitat i de la velocitat d'infiltració de l'aigua. La influència de la TAS en la permeabilitat del sòl depèn de la textura. Així, per exemple, l'aplicació d'aigües amb una TAS > 9 en un sòl de textura fina pot ocasionar problemes. Això no passa en sòls sorrenes.

106

La interpretació de la TAS s'ha de fer en relació amb la salinitat (conductivitat elèctrica), ja que l'aspecte important que cal tenir en compte és la contribució del sodi als valors totals de salinitat. Per exemple, l'ús d'aigües de reg amb una conductivitat elèctrica baixa però deguda fonamentalment al sodi pot donar lloc a salinització i acumulació de sodi al sòl. En canvi, les aigües amb una conductivitat elèctrica elevada (inferior, però, a 4 dS/m) i amb una TAS baixa no solen donar problemes. La figura 3 mostra la relació entre la conductivitat elèctrica i la TAS de les aigües residuals depurades de la taula 1 (com a exemple). Les aigües que queden per sobre de la línia estan en condicions favorables (és el cas de totes les analitzades) i les que queden per sota, desfavorables. Com es pot veure, a mesura que augmenta la TAS, perquè les condicions siguin favorables l'aigua ha de tenir més conductivitat elèctrica. Quan l'aigua es troba a la zona de condicions desfavorables, s'ha de desmineralitzar o bé s'hi han d'afegir reactius per a modificar la relació entre

les dues variables. Per exemple, si a l'aigua s'hi afegeix  $\text{CaSO}_4$ , augmenta la conductivitat elèctrica i alhora disminueix la TAS (Mujeriego, 1990).

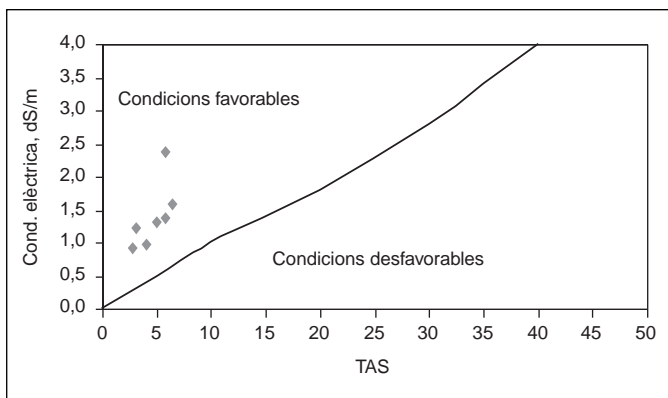


FIGURA 3. Relació entre la conductivitat elèctrica i la TAS de les aigües residuals depurades. La línia diagonal separa les condicions favorables de les desfavorables.

Font: elaborat a partir de Mujeriego (1990).

La qualitat que ha de tenir l'aigua regenerada s'estableix en funció del nivell de gestió que s'ha d'efectuar per a resoldre els problemes que es poden derivar de l'ús. A la taula 2 es mostren els paràmetres i els valors per a avaluar la qualitat de l'aigua regenerada. Les restriccions esmentades són més aviat arbitràries, ja que els canvis són graduals. En conseqüència, les restriccions s'han d'entendre com a indicatives. Quan hi ha restriccions severes pot haver-hi problemes seriosos o simplement menys producció vegetal.

Quan les aigües regenerades es desinfecten amb clor s'ha de tenir una cura especial amb les concentracions de clor residual. El clor és un oxidant molt fort que pot afectar negativament els vegetals. En general, es recomana que la

TAULA 2. *Paràmetres i valors per a avaluar la qualitat de l'aigua regenerada*

Possible problema de reg	Unitats	Grau de restriccions en l'ús		
		Cap	Moderat	Elevat
Salinitat: afecta la disponibilitat d'aigua per a cultiu				
Conductivitat elèctrica (CE)	dS/m	< 0,7	0,7-3,0	> 3,0
Matèria dissolta	mg/l	< 450	450-2.000	> 2.000
Permeabilitat: afecta la velocitat d'infiltració de l'aigua al sòl				
Valorada conjuntament mitjançant la CE i la TAS				
	TAS i CE			
	0-3	> 0,7	0,7-0,2	< 0,2
	3,0-6,0	> 1,2	1,2-0,3	< 0,3
	6,0-12	> 1,9	1,9-0,5	< 0,5
	12-20	> 2,9	2,9-1,3	< 1,3
	20-40	> 5,0	5,0-2,9	< 2,9
Toxicitat d'ions específics: afecta espècies vegetals sensibles				
Sodi (Na)				
Reg superficial	TAS	< 3	3,0-9,0	> 9
Reg per aspersió	mg/l	< 70	> 70	
Clorurs (Cl)				
Reg superficial	mg/l	< 140	140-350	> 350
Reg per aspersió	mg/l	< 100	> 100	
Bor (B)	mg/l	> 0,7	0,7-3,0	> 3,0
Efectes diversos: afecten cultius susceptibles				
Nitrogen total	mg N/l	< 5	5,0-30	> 30
Bicarbonats (sistema amb dispersió)	mg/l	< 90	90-500	> 500
Bicarbonats (efecte sobre el sòl)	meq/l	< 1,5	1,5-8,5	> 8,5
pH		Valors normals entre 6,5-8,4		
Clor residual	mg/l	< 1,0	1,0 - 5,0	> 5,0

Font: Mujeriego (1990).

concentració de clor residual sigui inferior a 1 mg Cl<sub>2</sub>/l. Si la concentració és superior a 5 mg Cl<sub>2</sub>/l, el reg s'ha d'aturar. En els programes de reutilització les concentracions de clor residual s'han de controlar a diari. Al mercat, hi ha jocs de mesura del clor residual que, amb un cost molt assequible, permeten controlar i donar seguretat al reg.

Un avantatge que presenten les aigües residuals regenerades per a ús agrícola i de jardineria és que contenen concentracions elevades de macronutrients: nitrogen, fòsfor i potassi (Sala i Millet, 1997). La reutilització en aquest sentit és molt interessant, atès que pot permetre un estalvi en fertilitzants i, a més, permet el reciclatge d'elements que podrien ser problemàtics per al medi receptor. A la taula 3 es mostra la valoració econòmica de les aportacions de nitrogen a la gespa d'un camp de golf. Com es pot observar, l'aigua regenerada efectivament permet fer aquest estalvi.

TAULA 3. *Valoració econòmica de les aportacions de nitrogen a la gespa del camp de golf Mas Nou (Girona) durant l'any 1992*

<i>Valoració</i>	<i>Aigua regenerada</i>	<i>Adob</i>	<i>Total</i>
Aportació nitrogen, kg N/ha	726	936	1.662
Aportació adob equivalent, kg/ha	2.513	4.200	6.713
Valoració econòmica, MPTA*	3,3 (45 %)	4,0 (55 %)	7,3 (100 %)

\* Tenint en compte que la superfície total regada és de 33,7 ha.

Font: modificada a partir de Mujeriego *et al.* (1994).

L'aigua regenerada sol tenir una concentració de nitrogen que oscil·la entre 10 i 60 mg N/l (Sala i Millet, 1997). La distribució del nitrogen en les corresponents espècies químiques depèn del tractament a què ha estat sotmesa l'aigua residual. En molts efluents secundaris sol predominar l'amoniac. El reg amb aigua regenerada implica de forma inevitable que la principal aportació de nitrogen (i en general de tots els nutrients) tingui lloc durant l'estiu, ja que és quan

més es rega. Quan es calculen les aportacions de nutrients s'ha de tenir en compte que part de l'amoniac es volatilitza i una altra part important es desnitrifica. Només s'ha de fertilitzar el sòl quan l'aportació amb aigua regenerada sigui insuficient. Per a poder efectuar tots els càlculs d'aportacions i pèrdues de nutrients es recomana consultar el manual de Sala i Millet (1997).

La concentració de fòsfor a l'aigua residual varia entre 6-15 mg P/l. Aquesta concentració sol variar molt poc amb el procés de tractament de l'aigua, de manera que les aigües regenerades tenen concentracions molt similars. Les necessitats de les plantes generalment queden cobertes per l'aportació d'aigua regenerada i gairebé mai no calen fertilitzants per a aportar fòsfor. Fins i tot, si l'aigua té fòsfor en excés, tendeix a acumular-se al sòl i pot arribar a ser problemàtic. El potassi sol tenir una concentració a l'aigua que oscil·la entre 10-30 mg K/l. Aquesta concentració no es veu afectada pels tractaments que normalment s'efectuen a les aigües residuals urbanes.

### 3. MICROORGANISMES I ASPECTES SANITARIS DE L'AIGUA REGENERADA PER A REG

La reutilització de les aigües residuals regenerades presenta riscos sanitaris per a la salut pública (Mujeriego, 2000). Els microorganismes patògens entèrics són els contaminants més importants en els programes de reutilització. Els contaminants químics no solen tenir tanta importància ja que es tracta d'aigües d'origen urbà. Tanmateix, en els últims temps hi ha una gran susceptibilitat sobre els compostos orgànics sintètics, incloent-hi productes farmacèutics (Okum, 2001). Per aquesta raó els usos potables de les aigües regenerades tenen poca acceptació social. S'ha d'assegurar que a la plan-

ta de regeneració no arriben contaminants imprevistos que puguin perjudicar el programa de reutilització. En aquest sentit és necessari disposar d'ordenances d'abocament i de programes d'educació ciutadana per a evitar la incorporació a la xarxa de sanejament de compostos no desitjables (Mujeriego, 1999).

Els microorganismes entèrics patògens que tradicionalment més han preocupat són els bacteris. Els bacteris se solen quantificar indirectament a través dels microorganismes indicadors de contaminació fecal: coliformes totals (CT), coliformes fecals (CF), estreptococs fecals (EF), i últimament també *Escherichia coli*. Els darrers temps ha sorgit un interès especial pels virus patògens entèrics i els protozous paràsits, ja que s'ha demostrat diverses vegades que l'aigua regenerada lliure de bacteris indicadors de la contaminació fecal no ha d'estar contaminat necessàriament de virus i protozous (Lucena i Jofre, 1996; Bourrouet *et al.*, 2000). La detecció de virus entèrics és relativament complicada i en conseqüència s'està realitzant un esforç considerable per a desenvolupar virus model capaços d'indicar la presència de virus patògens. Aquests virus indicadors, denominats *bacteriòfags*, infecten bacteris que es troben en el tracte intestinal dels éssers humans. El control sobre protozous es fa analitzant pròpiament aquests organismes, que són fonamentalment *Cryptosporidium* i *Giardia*. Uns altres microorganismes d'interès en els programes de reutilització són els helmints paràsits, que s'analitzen a través del recompte del nombre d'ous. El problema dels helmints no acostuma a ser gaire important als països del nord i es restringeix fonamentalment a les zones tropicals o subtropicals.

*Eliminació de microorganismes en processos de tractament convencionals.* Els sistemes de depuració de les aigües residuals no produeixen una eliminació suficient dels micro-

organismes patògens per a garantir una bona qualitat sanitària (figura 4). Com es pot observar a la figura, a l'efluent encara hi ha una concentració elevada de microorganismes. Per aquesta raó, entre d'altres, es requereixen tractaments addicionals (anomenats *terciaris* o de *regeneració*) per a garantir la qualitat sanitària. A continuació es descriu l'eficàcia respecte a l'eliminació de microorganismes que es pot aconseguir mitjançant els diferents processos unitaris que poden constituir un tractament complet de l'aigua residual amb regeneració, incloent-hi el tractament primari, el tractament secundari i el tractament terciari —regeneració— (Mujeriego, 1990).

El tractament primari convencional consisteix en l'eliminació de la matèria en suspensió (MES) mitjançant sedimentació. Té un efecte molt limitat sobre l'eliminació dels microorganismes. Només els microorganismes de mida i pes més gran com és el cas dels ous d'helmints i cists de paràsits, seran eliminats en part. Normalment s'assoleixen rendiments d'eliminació dels helmints que oscil·len entre el 50 % i el 90 %, i menors per als paràsits.

El tractament secundari convencional consisteix en l'eliminació de la matèria orgànica dissolta mitjançant un cultiu de bacteris heterotròfics que utilitzen com a font de carboni i d'energia la mateixa matèria orgànica. Aquest tractament permet reduir les concentracions de microorganismes però sense arribar a un nivell generalment suficient. Els fangs activats disminueixen el 90 % els bacteris indicadors de la contaminació fecal i el 80-90 % els virus bacteriòfags que s'utilitzen com a indicadors. Els filtres percoladors redueixen del 50 % al 90 % les concentracions de bacteris i de virus.

Els tractaments terciaris poden arribar a assolir una eliminació completa de tots els microorganismes. A la figura 5 es mostra l'evolució de la concentració de coliformes



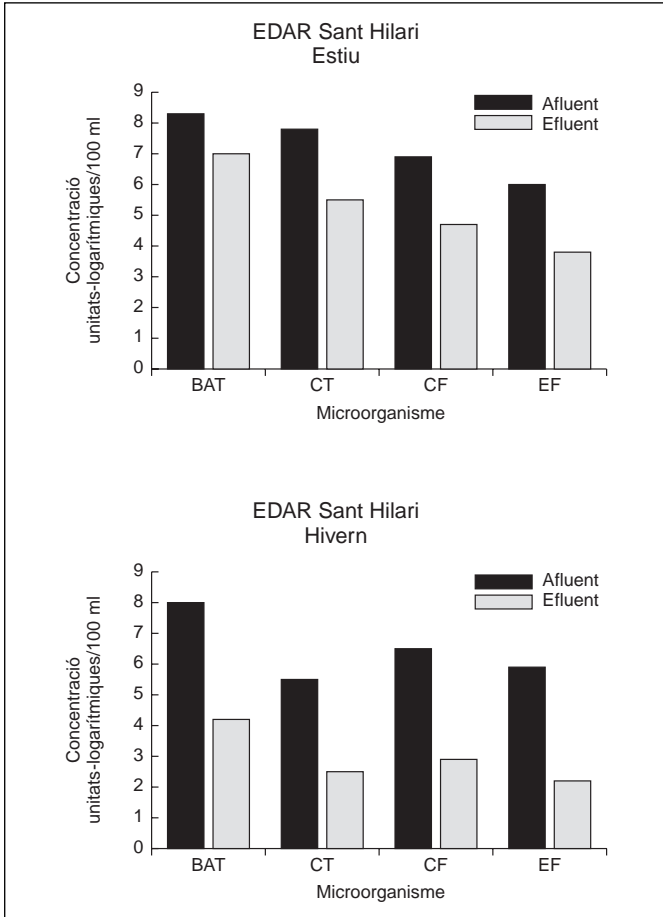


FIGURA 4. Eliminació de microorganismes indicadors de la contaminació fecal a l'EDAR de Sant Hilari (el llacunatge airejat és un sistema de fangs activats de baixa càrrega orgànica). BAT: bacteris aeròbics totals (no són microorganismes indicadors de la contaminació fecal); CT: coliformes totals; CF: coliformes fecals; EF: estreptococs fecals (EF). Valors corresponents a mitjanes de mostres puntuals de tres dies seguits. Font: Mujeriego et al. (1998).

fecals en els diferents processos unitaris d'un sistema de depuració d'aigües dotat amb sistema de regeneració. Com es pot observar, el punt on hi ha més eliminació de microorganismes és als processos de desinfecció.

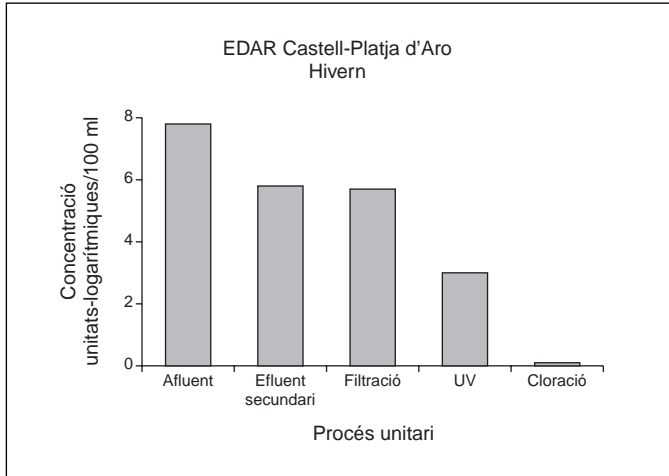


FIGURA 5. Evolució de la concentració de coliformes fecals en els diferents processos unitaris de l'EDAR de Castell-Platja d'Aro (tractament secundari i terciari). Els valors són les mitjanes de tres mostres puntuals obtingudes en tres dies seguits.

Els tractaments terciaris convencionals i complets constituïts per processos unitaris de coagulació, floculació, sedimentació, filtració en medi granular i desinfecció, poden arribar a assolir una eliminació completa de tots els microorganismes. La desinfecció és el procés unitari destinat específicament a eliminar microorganismes. Es pot considerar que tots els processos unitaris previs a la desinfecció es fan per a preparar l'aigua per a desinfectar-la, de manera que aquest procés sigui com més efectiu millor.

La desinfecció s'ha fet tradicionalment mitjançant cloració, és a dir, amb l'aplicació de clor o els seus derivats. L'eliminació de virus mitjançant cloració és molt variable, i diversos estudis han donat lloc a diferents resultats (Lucena i Jofre, 1996). El que sí que es coneix bé és que els virus són més resistents als efectes del clor que els bacteris. Per exemple, al treball de Bourrouet *et al.* (2000) la taxa d'eliminació de CF va ser de 5,5 unitats-logarítmiques/100 ml, mentre que la de bacteriòfags colifags somàtics va ser de 3,3 unitats-logarítmiques/100 ml. Amb aquestes dades queda clar que l'anàlisi de bacteris indicadors de la contaminació fecal no aporta una indicació fiable de la destrucció dels virus durant la desinfecció.

La desinfecció amb ozó no s'acostuma a utilitzar en els programes de reutilització d'aigües, ja que s'ha de produir *in situ* i resulta econòmicament inviable. A més, és difícil desinfectar amb ozó i mantenir les normes de qualitat microbiològiques, ja que reacciona amb la matèria orgànica, disminueix la concentració disponible per a fer la desinfecció i produeix un augment de la matèria orgànica.

La desinfecció amb radiació UV és un procés d'una gran actualitat i molt utilitzat últimament. Això és degut al fet que la desinfecció amb clor de les aigües residuals tractades presenta el problema dels productes derivats de la desinfecció, com els trihalometans, que es formen de la reacció entre el clor lliure i la matèria orgànica. Nombrosos estudis han posat en evidència la perillositat per a la salut pública d'aquests compostos, que, d'altra banda, no es formen amb la desinfecció amb radiació UV. Tanmateix, l'efectivitat de la desinfecció amb radiació UV depèn molt de la qualitat de l'aigua regenerada en termes de transmittància (facilitat amb què l'aigua transmet llum a 254 nm de longitud d'ona). A la figura 6 es mostra comparativament la concentració de coliformes fecals en diferents sistemes de desinfecció amb radia-

ció UV. Com es pot observar, el nivell de desinfecció es relaciona positivament amb la transmitància de l'aigua, que en definitiva determina les dosis de radiació UV. Quan la transmitància és baixa, els rendiments d'eliminació de microorganismes disminueixen molt, fins al punt que en molts casos no es poden complir els requisits d'algunes de les principals normes de reutilització de les aigües. En conseqüència, l'aplicació de la radiació UV no s'ha de considerar una solució universal al problema de la desinfecció, tal com s'està plantejant en molts projectes de reutilització. Quan l'aigua residual presenta un gran component industrial, els tractaments terciaris convencionals no són capaços d'augmentar la transmitància fins a un punt que la desinfecció amb radiació UV permeti aconseguir efluentes amb valors nuls de microorganismes.

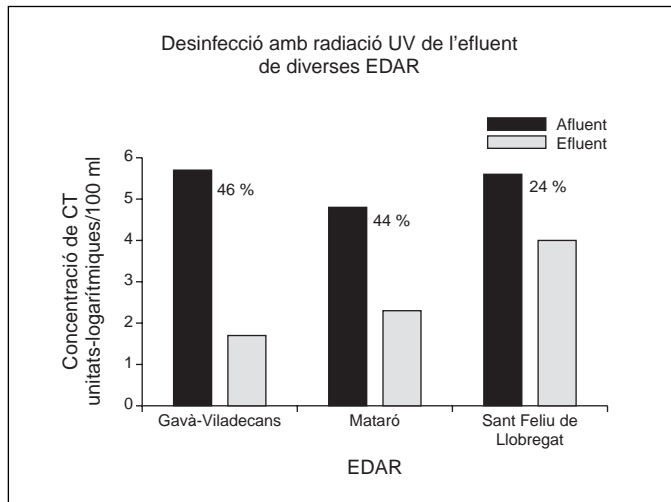


FIGURA 6. Eficàcia de la desinfecció en diferents sistemes de desinfecció amb radiació UV. L'afluent i l'efluent corresponen al del sistema de desinfecció. S'indica el percentatge de transmitància de l'aigua. Les dades són mitjanes de 4-8 mostres puntuals.

Font: elaborat a partir de Fernández (2000) i Aguirre.

Els tractaments terciaris avançats que inclouen la utilització de processos unitaris amb membranes ofereixen molts bons rendiments d'eliminació dels microorganismes. Les membranes de microfiltració permeten eliminar completament tots els indicadors bacterians (MOPTMA, 1995). Les membranes d'òsmosi inversa i d'electrodiàlisi eliminen completament tots els microorganismes. No obstant això, la utilització d'aquests processos de membrana només es justifica quan és necessari eliminar salinitat i no només com a processos destinats a la desinfecció. Tot i així, es preveu una aplicació gradual dels sistemes amb membranes, atès el gran dinamisme del sector, que de ben segur farà baixar els costos de les membranes.

*Mecanismes de transmissió de malalties associades a la reutilització.* Els mecanismes poden ser directes per contacte, ingestió o inhalació de les aigües que es van a reutilitzar, o bé poden ser indirectes per contacte amb objectes que hagin entrat en contacte amb les aigües (Mujeriego, 1990).

Per a desenvolupar la malaltia s'han de donar les circumstàncies següents:

- 1) Els agents infecciosos han de ser presents a la població que desenvolupa la malaltia.
- 2) Les persones han d'haver entrat en contacte directe o indirecte amb els agents infecciosos.
- 3) Hi ha d'haver un nombre suficient d'agents infecciosos en el moment del contacte. El contacte amb els agents infecciosos no sempre dona lloc a la malaltia. Pel que fa a les dosis d'infecció, els microorganismes que més preocupen són els virus, perquè requereixen una dosis baixa per a infectar.

En la reutilització per a reg agrícola i de jardineria el problema principal és la transmissió a través dels aerosols que es generen quan es rega per aspersió. Un aerosol és una partícula suspesa a l'aire que té una mida que oscil·la entre 0,01 i 50  $\mu\text{m}$ . La inhalació d'aerosols és una possible via d'infecció directa. La infecció també pot tenir lloc indirectament a través dels aerosols dipositats a sobre dels vegetals. La concentració de microorganismes patògens als aerosols és una funció que depèn de la seva concentració en l'aigua regenerada, de manera que malgrat que es formin aerosols, si la desinfecció és prou bona, els riscos sanitaris són mínims. Els microorganismes presents als aerosols solen ser viables i poden desplaçar-se fins a llargues distàncies segons la intensitat dels vents.

Hi ha evidència que la reutilització, especialment en el reg de cultius comestibles, ha donat lloc a transmissió de malalties (Mujerigo, 1990; Yates i Gerba, 1998). No obstant això, gairebé tots els brots documentats han estat provocats per contaminació bacteriana o parasítica d'aigües residuals crues o d'efluents secundaris que no estaven desinfectats. L'aigua residual crua o tractada però sense haver estat regenerada és un material molt perillós, atès el risc sanitari que comporta la manipulació o l'ús d'aquesta aigua. L'aigua regenerada es produeix per a disminuir o fins i tot extingir els riscos sanitaris, i no es coneixen brots o epidèmies provocades per l'ús d'aigua regenerada.

Per a la reutilització d'aigües regenerades s'han d'aplicar les mesures de seguretat adequades per a la protecció dels usuaris; per aquesta raó és important conèixer les mesures de seguretat i els perills sanitaris que té associats la reutilització. Pot ser necessari un curs de formació per als treballadors i usuaris. Els controls han de ser molt estrictes.

Les mesures que s'han de seguir per a evitar riscos són les següents:

- Els treballadors han de tenir formació en primers auxilis, especialment per a evitar infeccions de ferides.
- Els treballadors que entrin en contacte amb l'aigua regenerada s'han de rentar bé la roba i se l'han de canviar.
- No es pot menjar a les zones d'ús.
- S'ha de senyalitzar la zona indicant que l'aigua no és potable i que no es pot beure.
- Les vàlvules, els aspersors i les conduccions han d'estar convenientment assenyalats per a distingir-los dels de l'aigua d'abastament; normalment s'utilitza el color morat.
- Els elements de la xarxa d'aigua regenerada només poden ser utilitzats pel personal autoritzat.
- S'ha d'evitar l'entollament i l'escorriment superficial de les aigües regenerades.
- Les conduccions d'aigua potable i regenerada han d'estar ben separades per a evitar que una fuita fortuïta de l'aigua regenerada pugui contaminar les aigües potables.
- S'ha de disposar de plànols de les zones d'utilització.
- Si es rega per aspersió es recomana utilitzar aspersors emergents sobre l'efecte de la pressió, de manera que quedin tapats al nivell del sòl quan no hi ha pressió.
- Si es rega per aspersió s'ha de tenir una precaució especial amb els aerosols, i pot ser necessari col·locar barreres de protecció del vent o fins i tot regar quan hi ha poc vent i no hi ha públic.

*Aspectes normatius.* El marc sanitari de la reutilització és un dels aspectes més controvertits. S'han de distingir dues

grans tendències mundials quant als aspectes sanitaris de la reutilització:

- 1) Els països del nord amb un nivell econòmic alt i que disposen de tecnologia analítica que permet fer seguiments exhaustius de la qualitat de les aigües. La seva preocupació actual se centra sobre virus i protozous paràsits. La tecnologia analítica els ha permès comprovar que la manca de micro-organismes indicadors de la contaminació fecal no garanteix completament la qualitat sanitària.
- 2) Els països del sud que no disposen de mitjans tècnics per a fer un bon seguiment sobre el control de la qualitat sanitària de les aigües. La seva preocupació actual se centra fonamentalment sobre el control de bacteris i helmints paràsits.

120

Entre aquestes dues grans tendències hi ha zones, com Catalunya, que són tecnològicament avançades però que no disposen de gaire experiència en projectes de reutilització.

El problema de la posada en marxa de normes de reutilització d'àmbit internacional és molt important dins d'un context mundial de globalització econòmica. Tanmateix, les dificultats per a aconseguir-ho són enormes: es tracta de definir normes aplicables a la vegada als països del nord i del sud. El 1973 l'OMS va emetre les primeres recomanacions. Tot i així, avui no hi ha normes internacionals veritables que estableixin la qualitat de les aigües regenerades en funció del seu ús. Alguns països han decidit posar en marxa reglamentacions pròpies, com és el cas d'Austràlia o de Sud-àfrica. No es disposa de cap norma europea sobre aquesta matèria. Els paràmetres sobre els quals fan referència habitualment les normes són de tipus microbiològic (bacteris i helmints) i físics i químics (terbolesa i MES). Altres



microorganismes, com els virus i els protozous paràsits, no apareixen a les normes. Tanmateix, tenint en compte la importància dels riscos de la reutilització de les aigües, és previsible que amb la millora analítica puguin ser finalment presents a les normes.

Els dos textos de referència generalment utilitzats pels països que es plantegen la reutilització de l'aigua residual són els següents:

- Les directrius de qualitat proposades per l'OMS el 1989 per a reg agrícola (se n'està fent una nova revisió).
- Les normes de qualitat de Califòrnia recollides en un document anomenat *Títol 22* de 1977 (Mujeriego, 1999).

Actualment, a l'Estat espanyol i a Catalunya no hi ha una normativa aplicable sobre reutilització. La Llei d'aigües de 1985 fa una referència general on s'indica que el Govern espanyol té la facultat d'emetre un reglament que permeti establir les condicions bàsiques de la reutilització planificada. A Catalunya es disposa de les recomanacions de la Direcció General de Salut Pública. A continuació es descriuen aquestes normatives o recomanacions:

*El Títol 22 de Califòrnia.* A Califòrnia tenen una gran experiència en regeneració i reutilització d'aigües. La primera normativa va ser promulgada l'any 1918, i des de llavors s'ha anat millorant i ampliant. La normativa actual és de 1978 i actualment està en procés de revisió. L'objectiu bàsic d'aquesta normativa és assegurar la salut pública sense impedir ni descoratjar la regeneració d'aigües. El Títol 22 fa referència a normes de qualitat de l'aigua, programes de presa de mostres, analítiques, normes d'explotació i manteni-

ment dels sistemes de regeneració i aspectes específics sobre la fiabilitat de les instal·lacions.

Els criteris de tractament i els nivells de qualitat exigits per la normativa es mostren a la figura 4. Normalment no s'exigeix un programa de vigilància i control gaire ampli, perquè en cas contrari les petites instal·lacions no ho podrien assolir. Per aquesta raó s'utilitzen expressions com «aigua oxidada» alternativament als límits de qualitat. Les concentracions es refereixen a coliformes totals, que inclouen coliformes fecals i altres coliformes de vida lliure. Les concentracions, a més, es refereixen al mètode d'anàlisi dels tubs múltiples i la quantificació mitjançant el nombre més probable. Els valors límit es refereixen a les medianes de les set últimes anàlisis. A continuació es descriu el Títol 22 segons el tipus de cultiu que s'ha de regar:

TAULA 4. *Nivells de tractament de l'aigua i criteris de qualitat. Aplicables a la regeneració per a reg segons el Títol 22 de la normativa de Califòrnia*

<i>Nivell de tractament</i>	<i>Concentració de CT/100 ml</i>	<i>Ús</i>
Primari	—	Reg superficial de fruiters i vinya, farratges.
Oxidació i desinfecció	$\leq 23$	Pastures de bestiar productor de llet, camps de golf i cementiris fora de nuclis urbans.
Oxidació i desinfecció	$\leq 2,2$	Reg superficial de cultius comestibles on l'aigua no contacta amb la part comestible.
Oxidació i terciari complet*	$\leq 2,2$ màxim 23	Reg per aspersió de cultius comestibles. Reg de jardineria a zones urbanes.

\* La terbolesa de l'efluent del filtre no pot sobrepassar una mitjana de 2 UNT.

Font: modificat a partir de Mujeriego (1990).

1) *Reg agrícola*. L'ús d'efluents primaris queda restringit a cultius en què el risc sanitari és mínim perquè no s'aprofita la part vegetal que entra en contacte amb l'aigua o bé perquè el vegetal rep un tractament i és processat abans de ser

consumit pels humans. En termes generals es poden utilitzar per a regar farratges i arbres fruiters. En el cas dels farratges, s'ha de permetre un període de temps suficient perquè els camps s'assequin abans de la collita o abans que el bestiar pasturi. Pel que fa a la fruita, no es permet la recollida de la que hagi estat en contacte amb l'aigua o amb el sòl.

La utilització d'efluents secundaris no és lliure d'un cert risc sanitari per esquitxades i aerosols. Per aquesta raó sempre es requereix un cert grau de desinfecció. Quan els efluents secundaris s'utilitzen per al reg de pastures per al bestiar productor de llet, no s'estableixen gaires restriccions. No se'n permet l'ús per a regar cultius de consum cru.

Els efluents terciaris s'utilitzen sempre que hi hagi contacte entre l'aigua i la part comestible. Quan s'efectua reg per aspersió és molt convenient utilitzar efluents terciaris. Diferents estudis han demostrat que amb els tractaments terciaris es pot assolir un nivell de qualitat de l'aigua que impliqui riscos sanitaris molt escassos o gairebé inexistent. Es pot arribar a exigir que alguns cultius comestibles regats amb aigua regenerada siguin tractats abans de ser posats a la venda.

2) *Reg de jardineria*. Els efluents secundaris es poden utilitzar, però amb un grau de desinfecció que no ha de ser necessàriament estricte. Es poden aplicar per a regar camps de golf allunyats de zones urbanes i cementiris. Se suposa que es rega en absència de públic i es deixa que la superfície regada s'assequi. Es tracta que el risc directe sigui baix i que només hi hagi risc indirecte per contacte amb els objectes que han estat mullats amb l'aigua.

Els efluents terciaris s'han d'utilitzar en zones on pot haver-hi contacte directe, i a més on es poden generar fàcilment aerosols. En aquest cas es tracta del reg de camps de golf, jardins i parcs de zones urbanes. Es permet reg per aspersió en zones amb públic.

2) *Directrius de l'OMS*. El 1989, l'OMS va emetre una sèrie de recomanacions destinades a aportar criteris pràctics i de fàcil compliment en relació amb la reutilització d'aigües residuals en països del sud (taula 5). Molts d'aquests països es troben en zones àrides o semiàrides i per tant no disposen ni de suficients recursos hídrics ni econòmics per a les instal·lacions de regeneració. Les directrius es basen en el fet que els principals riscos sanitaris provenen de les malalties transmeses per bacteris i helmints.

TAULA 5. *Directrius de l'OMS. Nivells de tractament de l'aigua i criteris de qualitat d'aigua per a reg*

<i>Categoria</i>	<i>Usos de l'aigua</i>	<i>Nematodes intestinals, ous/L</i>	<i>CF/100 mL</i>	<i>Tractament necessari</i>
A	Reg de cultius de consum cru, camps d'esport i parcs públics*	$\leq 1$	$\leq 100$	Llacunatge dissenyat per a eliminar microorganismes
B	Reg de cereals, farratges i fruiters	$\leq 1$	No hi ha recomanació	Llacunatge amb temps de permanència hidràulica de 8-10 dies.
C	Reg localitzat en els cultius de la categoria B	No hi ha recomanació	No hi ha recomanació	Com a mínim, un tractament primari

\* Un límit més restrictiu de  $\leq 200$  CT/100 mL s'ha d'aplicar per a jardins on pot haver contacte directe amb el públic.  
Font: modificat a partir de Mujeriego (199?)

En el marc de la regeneració hi ha desacord entre els països partidaris de normes estrictes com el Títol 22 i normes més suaus, com les de l'OMS. Els països amb dificultats econòmiques argumenten que requereixen reutilitzar l'aigua: tanmateix, no poden finançar instal·lacions de regeneració complexes per a obtenir una aigua que compleixi normatives severes. És el cas de Tunísia, on actualment es reguen

7.000 ha amb aigua reutilitzada, i on ha estat financerament impossible tirar endavant projectes de tractaments terciaris. En aquestes condicions, l'Estat ha preferit limitar els usos (prohibició de regar llegums destinades al consum cru, per exemple) i reglamentar les pràctiques agrícoles (prohibició de regar durant els deu dies anteriors a la collita) com a alternativa a posar en marxa normes molt estrictes que podrien limitar el desenvolupament de la reutilització. Malgrat aquests esforços, molts científics, tècnics i legisladors segueixen pensant que pràctiques com aquestes presenten riscos per a la salut pública (Courbet i Verant, 2001). Els qui defensen normes estrictes com les del Títol 22, creuen que no és seriós voler rebaixar els valors paramètrics perquè la reutilització sigui rendible. Els defensors del Títol 22 diuen que està basat en més de cinquanta anys d'experiència i que els legisladors estan segurs que amb el Títol 22 els riscos sanitaris són mínims i assumibles. A més, actualment no es disposa de cap estudi epidemiològic seriós que permeti argumentar una disminució de les exigències de la norma de Califòrnia (Courbet i Verant, 2001).

*Esborrany de la Direcció General de la Qualitat de les Aigües.* Aquest esborrany va aparèixer el maig de 1993 i encara no es disposa d'una reglamentació definitiva. Els aspectes que cal destacar són els següents:

- Els peticionaris del cabal d'aigua han de justificar les característiques de qualitat de les aigües i el tractament projectat per a assolir-les (s'han de complir les condicions esmentades a la figura 6 per als usos que impliquen contacte directe).
- El cabal es determinarà segons la superfície que s'ha de regar, els tipus de conreus i el mètode de reg.

- És responsabilitat del titular de la concessió fer les analítiques i els controls i complir la qualitat exigida.
- Si s'observa un incompliment de les condicions, el titular haurà d'aturar la reutilització. Com a principal inconvenient d'aquesta reglamentació cal destacar l'aspecte anterior, ja que és difícil que el titular ho pugui complir.

*Recomanacions de la Direcció General de Salut Pública de la Generalitat de Catalunya.* Les aigües es classifiquen en quatre grups (C, B, A2, A1) de més a menys qualitat. En realitat es tracta d'una transposició de les directrius de l'OMS.

#### 4. TRACTAMENTS TERCIARIS PER A PRODUCCIÓ D'AIGUA PER A REG AGRÍCOLA

Les aigües residuals depurades de manera convencional (reducció de la matèria en suspensió i  $DBO_5$ ) presenten riscos sanitaris per a la salut pública i de contaminació del medi ambient. Per aquesta raó no poden ser reutilitzades directament i han de ser tractades amb més o menys intensitat segons l'ús. Hi ha nombrosos tipus de tractaments terciaris que permeten assolir els nivells de qualitat predeterminats de les aigües. Es poden diferenciar dos grans grups de tipologies de tractament:

- 1) Les tècniques extensives, com els sistemes de llacunaatge o els aiguamolls construïts.
- 2) Les tècniques intensives, com el processos convencionals, la filtració en carbó activat o en membranes, més costoses.

Pel que fa a la selecció del tipus de tècnica més apropiada, els països tenen diferents aproximacions segons el context econòmic i social, i segons la seva manera de definir i quantificar els riscos. Si els riscos han d'estar molt controlats implica seleccionar tecnologies intensives, i si els riscos han de ser simplement baixos es poden seleccionar tecnologies extensives. En aquest text es tracten les tecnologies intensives convencionals.

Totes aquestes tècniques no són específiques per a la reutilització de les aigües residuals. Els sistemes de depuració i regeneració es basen en el *principi de les barreres múltiples*. Després d'un tractament primari, les aigües se solen sotmetre a un tractament secundari biològic. Al tractament primari s'elimina fonamentalment matèria en suspensió, mentre que al tractament secundari s'elimina la matèria orgànica dissolta. Aquestes dues etapes són presents en moltes estacions depuradores d'aigües residuals. Per a reutilitzar l'aigua s'efectua un tractament terciari: coagulació, floculació, sedimentació, filtració en sorra, carbó activat o bé en membranes i desinfecció. L'aplicació del principi de les barreres múltiples permet augmentar la fiabilitat del tractament, de forma que cadascun dels processos unitaris contribueix a l'eliminació dels contaminants. A més, en cas que algun dels processos falli temporalment, les conseqüències sobre la qualitat de l'aigua efluent són limitades.

El sistema de tractament terciari convencional pot ser:

- complet
- de filtració per contacte
- de filtració directa (Asano *et al.*, 1992).

La figura 7 mostra un esquema d'aquests tractaments. Els processos unitaris que poden constituir aquests sistemes són: coagulació, floculació, sedimentació, filtració i desinfecció.

ció. Els quatre primers processos tenen com a objectiu fonamental eliminar la matèria en suspensió (MES), mentre que la desinfecció té com a objectiu principal eliminar microorganismes patògens. A continuació s'expliquen aquests processos unitaris.

La coagulació té com a objectiu desestabilitzar la càrrega superficial de la MES mitjançant l'addició d'un coagulant que sol ser un catió polivalent ( $\text{Al}^{+3}$ ,  $\text{Fe}^{+3}$ ). La coagu-

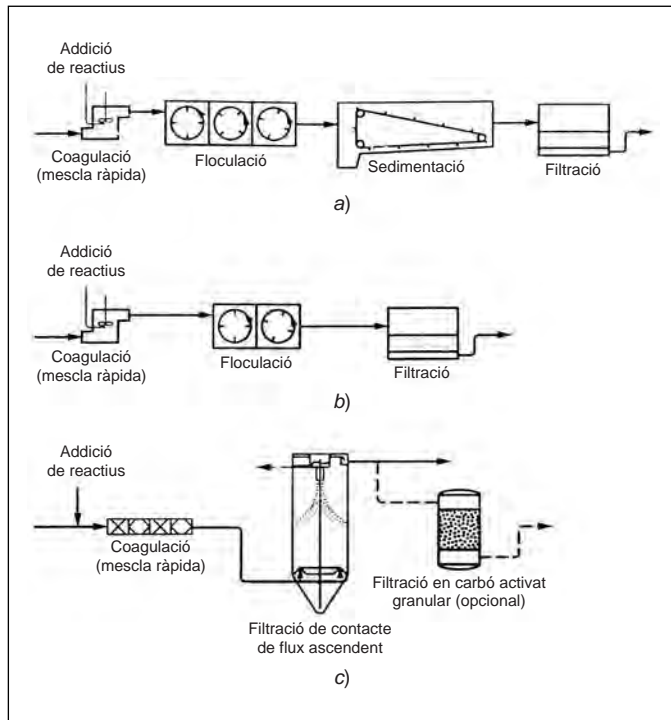


FIGURA 7. Esquema dels tractaments terciaris convencionals per a la producció d'aigua regenerada: a) complet, b) filtració per contacte i c) filtració directa.

Font: Asano *et al.* (1992).



lació s'efectua en línia en la mateixa canonada o bé en reactors de mescla completa. El temps necessari per a la coagulació oscil·la entre pocs segons i un minut. Es requereix una mescla molt intensa de l'aigua per a permetre que el coagulant interaccioni amb la MES.

La floculació consisteix en l'addició d'energia a l'aigua per a promoure el xoc entre la MES, de manera que es formin entitats de mida superior anomenades *flocs*. La floculació s'efectua en dos o més reactors de mescla completa (específicament anomenats *floculadors*) en sèrie amb un temps de permanència total de 15 a 20 minuts. L'agitació de l'aigua als floculadors és molt suau per a evitar que els flocs es trenquin.

La sedimentació consisteix a separar físicament els flocs de l'aigua mitjançant l'acció de la gravetat. L'aigua procedent dels floculadors es fa passar pels decantadors, la massa de flocs s'acumula al fons i es forma un residu anomenat *fang*. Els decantadors tenen rasquetes que permeten recollir els fangs acumulats.

L'aigua que surt dels decantadors pot tenir flocs que s'escapen, de manera que l'aigua encara pot tenir una mica de MES. Amb la filtració s'aconsegueix retenir la MES en una trama de partícules denominada *medi filtrant*. Normalment s'utilitzen filtres monocapa de sorra.

La desinfecció consisteix en l'eliminació dels microorganismes patògens. Anteriorment s'ha tractat de manera específica la desinfecció. A l'Estat espanyol la cloració encara és el mètode més utilitzat respecte a altres mètodes de desinfecció.

a) *Tractament terciari complet*. És el que s'aplica en la majoria dels casos i consta de tots els processos unitaris descrits anteriorment. És molt recomanable quan l'aigua regenerada no té restriccions d'ús (màxima qualitat, per

exemple reg de productes de consum cru o reg de jardineria). Es poden obtenir efluent lliures de microorganismes, com es mostra a la figura 8, les dades de la qual provenen d'una planta pilot.

b) *Filtració directa*. Consta dels processos unitaris següents: coagulació, floculació, filtració i desinfecció, de manera que és similar al tractament complet encara que se suprimeix la sedimentació.

c) *Filtració per contacte*. Consta dels processos unitaris següents: coagulació, floculació (en línia i, per tant, menys efectiva), filtració i desinfecció. És similar al tractament complet però no es disposa de floculadors ni de decantadors.

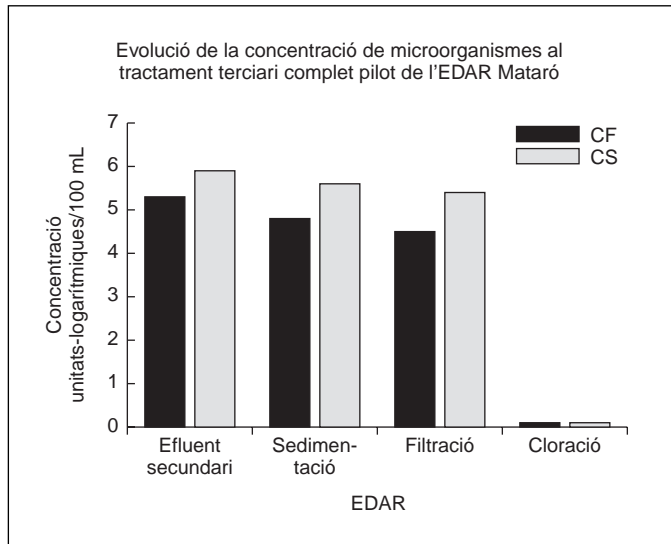


FIGURA 8. Evolució de la concentració de coliformes fecals (CF) i colifags somàtics (CS) en els diferents processos unitaris de la planta de tractament terciari pilot complet de l'EDAR de Mataró. Els valors corresponen a mitjanes de 4-8 mostres puntuals.

Font: dades pròpies.

Tant la filtració directa com la filtració per contacte són sistemes de tractament desenvolupats per reduir els costos dels sistemes complets.

## 5. DESENVOLUPAMENT DE LA REUTILITZACIÓ A CATALUNYA I A ESPANYA EN RELACIÓ AMB ELS ASPECTES SANITARIS

L'inici de la reutilització planificada a Catalunya es pot situar a l'any 1985. El Consorci de la Costa Brava va organitzar en aquella època un grup de treball constituït per diferents experts internacionals sobre reutilització d'aigües, amb l'objectiu d'adquirir els coneixements tècnics, econòmics i institucionals necessaris per a la posada en marxa de programes de reutilització d'aigües. El Consorci pretenia augmentar els recursos disponibles d'aigua i reduir els abocaments al medi ambient receptor, en especial a les platges, que són un dels principals atractius turístics de la Costa Brava (Mujeriego, 2000).

Després d'un període de sequera molt important durant els anys 1993 i 1994, l'interès per la reutilització es va generalitzar a tot l'Estat. A moltes zones es posen en marxa programes de reutilització, com al País Basc, a les Illes Canàries i Balears i en molts llocs de Catalunya. Davant l'absència d'un marc normatiu, en general s'adopta com a criteri general la seguretat; és a dir la utilització de criteris pròxims al del Títol 22 de Califòrnia.

## 6. CONCLUSIONS I RECOMANACIONS

1) La reutilització de l'aigua forma part del cicle integral de l'aigua i pot contribuir a una millor gestió dels recursos hídrics en zones com Catalunya.

2) Els criteris i les normes són variats. Tanmateix, a Catalunya es disposa de coneixements suficients per a ampliar les experiències sobre reutilització.

3) A l'espera d'una reglamentació definitiva, es recomana seguir directrius similars a la del Títol 22 per a garantir la seguretat i no desanimar la reutilització en el cas que hi hagués algun incident.

#### AGRAÏMENTS

Moltes de les dades i la informació ofertes en aquest treball han estat facilitats pels meus companys de Departament, Paula Aguirre i Rafael Mujeriego. Julián Garcia, estudiant d'enginyeria de camins, em va facilitar les dades d'eliminació de bacteriòfags. A tots ells, el meu agraïment sincer.

132

#### BIBLIOGRAFIA

- ASANO, T.; RICHARD, D.; CRITES, R.C.; TCHOBANOGLIOUS (1992). «Evolution of tertiary treatment requirements in California». *Water Environment and Technology*, 4 (2), p. 36-41.
- BOURROUET, A.; GARCIA, J.; MUJERIEGO, R.; PEÑUELAS, G. (2000). «Faecal bacteria and bacteriophage inactivation in a full-scale UV disinfection system used for wastewater reclamation». *1st World Water Congress of the International Water Association*. París 2000. Llibre 8, p. 118-125.
- COURBET, S.; VERANT, S. (2001). *La Réutilisation des eaux usées*. L'Engref 2001, p. 14-20.
- JEFFREY, P. (2001). «Potable and non-potable reuse: a question of perception. Letter». *Water*, 21 (febrer), p. 9.
- LUCENA, F.; JOFRE, J. (1996). «Los bacteriófagos como micro-

- organismos modelo en los procesos de tratamiento de aguas». Tom II: *Microbiología de las Aguas de Abastecimiento*. Madrid: Asociación Española de Abastecimiento de Agua y Saneamiento, p. 37-47.
- MOPTMA (1995). *Resultados de los Trabajos de Investigación y Desarrollo Realizados en el Año 1995*. Informe núm. 1. [Proyecto Derea]
- MUJERIEGO, R. (1990). *Manual Práctico de riego con agua Residual Municipal Regenerada*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- (1999). *La reutilización Planificada del Agua: Criterios Sanitarios, Económicos y de Gestión*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, p. 16.
- (2000). *La reutilización planificada del agua*. Comunicación presentada a la Mesa Española de Tratamiento del Agua 2000, Cadis, març 2000, p. 8.
- MUJERIEGO, R.; SALA, L.; GARCIA, J.; CARBÓ, M. (1994). *Gestió de l'Aigua Residual Regenerada Emprada pel Reg del Camp de Golf Mas Nou (IV)*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, p. 106.
- OKUM, D. A. (2001). «Potable and non-potable reuse: distinctive differences. Letter». *Water*, 21 (febrer), p. 9.
- SALA, L.; MILLET, X. (1997). *Aspectos Básicos de Reutilización de las Aguas Residuales Regeneradas para el Riego de Campos de Golf*. Girona: Consorci de la Costa Brava, p. 126.
- YATES, M. V.; GERBA, C. P. (1998). «Microbial considerations in wastewater reclamation and reuse». A: ASANO, T. [ed.]: *Wastewater Reclamation and Reuse*. Lancaster: Technomic Publishing. (Water Quality Management Library; 10).

