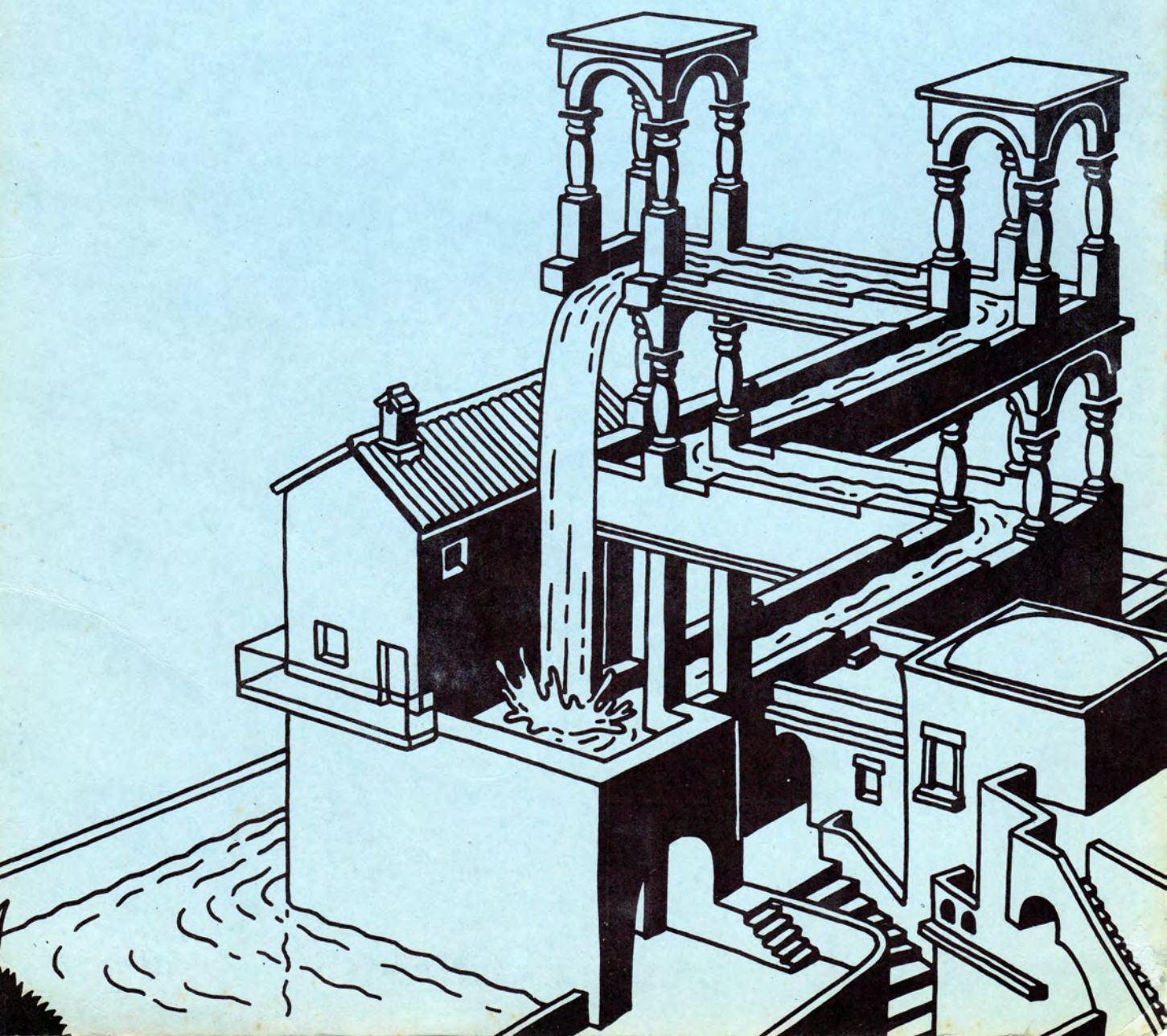


JORNADES
TÈCNIQUES
SOBRE

REUTILITZACIÓ AIGÜES URBANES

25, 26 i 27 de Setembre de 1985

Castell·Platja d'Aro·COSTA BRAVA



JORNADES TECNQUES SOBRE REUTILITZACIO
AIGÜES URBANES

25, 26, 27 de setembre de 1985

CASTELL-PLATJA D'ARO -- COSTA BRAVA

COMITE TECNIC:

JOAN GAYA I FUERTES

Enginyer Industrial

JOSEP MANEL GONZALEZ I CABRE

Biòleg

RAFAEL MUJERIEGO I SAHUQUILLO

Dtor. Enginyer de Camins

JULIO SANZ I JULVE

Enginyer Tècnic Industrial

INDEX

	<u>Pàg.</u>
0.- Comitè tècnic	1
1.- Presentació	3
2.- "Recàrrega, utilització i gestió d'aqüífers" E. CUSTODIO	7
3.- "Les aigües residuals, els seus usos i potencial de reutilització en la zona litoral de Girona" F. SANMIGUEL	34
4.- "Planing for municipal wastewater reclamation and reuse" T. ASANO	45
5.- "Possibilitats de reutilització agrícola. Els casos de Reus i de la Costa Brava" M. SALGOT, C. VIDAL I J. CARDUS	63
6.- "Influència de les aigües depurades en el riu Ridaura (Girona)" J. ARNAU	80
7.- "Recàrrega artificial d'aqüífers en els deltes dels rius Llobregat i Besos (Barcelona)" J. M. MIRALLES I J. CANTO	92
8.- "Reutilización de las aguas residuales depuradas en Israel" E. IDELOVITCH	106
9.- "La reutilización agrícola de las aguas residuales en la Comunidad Valenciana" J.M. BENET	109
10.- "Reutilización en el parque insular del Lasso" J.J. GUTIERREZ DE LA FE	125
11.- "Health and regulatory aspects of water reuse in California" J. CROOK	137
12.- "La reutilització d'aigües en el Pla de Sanejament de Catalunya" M. SUAREZ	172

PRESENTACIO

PRESENTACIÓ

Ara fa un any el Consorci de la Costa Brava va plantejar-se seriosament la conveniència de celebrar un debat sobre les possibilitats - tècniques i pràctiques - d'aprofitament i reutilització de les aigües residuals depurades.

Dos factors ens inel·lien inexorablement a celebrar-les.

D'una banda, teníem en funcionament tretze estacions depuradores d'aigües residuals, el correcte funcionament de les quals ens permetia plantejar-nos la conveniència de millorar els objectius inicials - depurar les aigües residuals per assegurar unes aigües costaneres netes que mantinguessin el prestigi i la bellesa de la Costa Brava-. D'altra banda, tots els pobles costaners tenien, i tenen, problemes de cabals d'aigua: la demanda d'aigua augmenta dia a dia en front d'uns recursos limitats. Cada estiu voleja el fantasma d'unes possibles restriccions per a determinats consums. Aquesta limitació de recursos comporta una vella i coneguda polèmica, sovint mal plantejada en forma de dilema entre usos agrícoles i usos urbans - turístics - de l'aigua.

Haviem sentit a parlar de la reutilització de les aigües com una possibilitat de millora de la gestió integral de l'aigua. Sempre, però, es citaven llocs geogràficament llunyans i enmarcats dins de contextos diferents.

Les experiències més a l'abast eren, en general, poc divulgades. El coneixement d'aquesta possible reutilització se'ns feia, en canvi, atractiu. Reutilitzar, en el nostre cas l'aigua, té unes connotacions ecològicament positives. Té a veure amb reciclar, recuperar, aprofitar recursos escassos. L'aspecte científic d'aquest plantejament lligava amb aquella clàssica i coneguda definició de l'economia, com a la ciència que s'ocupa de l'assignació òptima de recursos escassos susceptibles d'usos alternatius. Què més escàs i susceptible de diferents usos que l'aigua?

Sabiem, però, de l'existència d'opinions, sinó contraries, molt restrictives quant al potencial de reutilització d'aigües.

Per tot això ens va semblar que la millor manera d'informar-nos en era contrastant les diferents opinions, de les que probablement ens sorgiria una síntesi prou vàlida. I vàlida no només per a nosaltres sinó també per a d'altres llocs i d'altres persones a on i per als qui es reproduïa el mateix procés de maduració.

Hem tingut especial interès en disposar en el mateix moment de la celebració de les sessions de les ponències i comunicacions del programa, a fi que fos possible un desenvolupament seriós, documentat, de les Jornades. Hem d'agrair, doncs, als seus autors l'esforç que aquesta anticipació els ha exigít. També hem d'agrair la participació dels qui ens han tramés comunicacions -distribuïdes a part d'aquest volum - que ampliém i, sens dubte, milloren el programa inicial. Hem respectat l'idioma original dels textos, excepte pel que fa als escrits en anglès, els quals hem traduït pensant que facilitaria la seva divulgació.

Expressem l'agraïment a les Institucions i Organismes que amb el seu suport han fet possible la celebració d'aquestes Jornades. Als Ajuntaments consorciats que des del primer moment recolzaren aquesta iniciativa. A l'Ajuntament de Castell-Platja d'Aro l'especial esforç material i organitzatiu que suposa ser la seu de les Jornades. A l'Ajuntament de Palafrugell que amb la seva actitud exemplifica l'esperit de solidaritat existent entre els municipis de la Costa Brava. A la Diputació de Girona i en especial a la Comisió d'Agricultura per l'important suport humà i material donat. A la Generalitat de Catalunya - Departament d'Ensenyament, Junta de Sanejament i Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca -que ha comprès l'abast del tema plantejat. Finalment hem d'agrair al Sr. Rafael Mujeriego, Dr. Enginyer de Camins, professor de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins de Barcelona, la seva inestimable ajuda en la coordinació i materialització d'aquests documents de treball, i a l'Escola Universitària de Girona la col.laboració en l'edició de les ponències.

Naturalment agraïm a tots els participants la seva assistència en aquestes Jornades. Ara, pocs dies abans de la seva celebració i coneixent la valua de tots els participants, pensem que, sens dubte, es milloraran els objectius inicials.

Manuel Serra i Pardás
Gerent del Consorci
de la Costa Brava.

RECARREGA, UTILITZACIO I
GESTIO D'AQÜIFERS

E. Custodio

RECARREGA, UTILITZACIO I
GESTIO D'AQUÍFERS

E. Custodio

Dr. Ingeniero Industrial

Curso Internacional de Hidrología Subterránea

Universidad Politécnica de Cataluña y

Comisaría de Aguas del Pirineo Oriental

RESUM

Les aigües subterrànies són un recurs d'aigua amb característiques pròpies en quant al funcionament i la foma d'explotació, molt distintes de les aigües superficials, tot i éssent una part d'un únic cicle hidrològic i mantenint estretes relacions amb elles. Es comenten aquests aspectes i les conseqüències de l'explotació. Es fa un comentari especial de la sobreexplotació i de la intrusió marina als aquífers costaners. En quant als aspectes de gestió, és consideren possibles mètodes, amb especial èmfasi a la recàrrega artificial sota un punt de vista general, doncs els detalls de realització seran l'objecte d'altres comunicacions. La reutilització de les aigües residuals és considera en cert detall i s'esmenten algunes experiències existents a Espanya en relació amb la recàrrega d'aquífers. Hom reforça els diferents aspectes tractats amb unes referències bibliogràfiques, introduïdes amb un número entre parèntesis que fa referència a la relació bibliogràfica, ordenada alfabeticament. Es una relació solament indicativa i molt lluny d'ésser exhaustora del tema. Bona part de les referències donades són del propi

autor, encara que existeixen molts altres treballs de superior categoria i més profund contingut.

INTRODUCCIÓ

Les aigües de la Terra hi són en una quantitat pràcticament constant, fluïnt d'uns llocs a d'altre dins un conjunt de processos que formen el cicle hidrològic. El cicle hidrològic presenta diferents aspectes segons a on i com es presentin les aigües. Dins el grup de les aigües continentals, les que ocupen els pors, fissures i cavitats sota la superfície del terreny són les aigües subterrànies, mentre que el nom d'aigües superficials es reserva per designar les que s'hi troben a la vista sobre la superfície del sòl, als rius, llacs, estanys, embassaments i aiguamolls.

Els terrenys que contenen aigües subterrànies en moviment o susceptibles d'ésser mobilitzades s'els anomena aqüífers. Aquesta designació és utilitzada actualment com a un substantiu, i no cal acompanyar-la d'un altre com si fora un adjectiu. Així, la denominació "aquífer subterrani" proposada per l'equip de preparació dels projecte de nova llei d'aigües no hi concorda amb la pràctica habitual a gairebé totes les llengües occidentals (44).

Els aqüífers reben aigua mitjançant el procés dit de recàrrega, que inclou diferents tipus d'infiltració al terreny, la magatzemen i al mateix temps la transporten, i finalment la descarregen naturalment als manantials o fonts -concentrades o difuses al llarg dels rius i barrancs-, al mar en el cas d'aqüífers costaners, o directament a l'atmosfera als aiguamolls, àrees humides i zones de vegetació freatofítica.

L'home pot interferir en el procés natural en qualsevol de les etapes, des de la recàrrega fins a l'eixida, i dins un certs límits pot modificar a la seva voluntat el volúm d'aigua magatzemat i la velocitat de flux.

Tot i éssent les aigües subterrànies una part del cicle de l'aigua i mantenint íntimes relacions amb les altres parts (aigües superficials, aigües atmosfèriques, aigües marines), presenten característiques pròpies que fan que el seu comportament sigui molt diferent

(9) (44). No es pot assimilar un aqüífer a un gran riu subterrani ni a corrents d'aigua localitzades. Tot intent d'establir semblances amb l'aigua superficial condueix a concepcions errades i crasses equivocacions, encara freqüents fins i tot entre els tècnics i gestors dels recursos d'aigua (16). Això explica cert menyspreu per les aigües subterrànies a molts estaments oficials, que es tradueix en un aprofitament insuficient o inadequat (42) (43) i en una manca de prou dades i de control.

Malgrat tot, la ciència de l'aigua subterrània, la geohidrologia -també anomenada hidrogeologia, encara que aquesta designació és més restrictiva- està ben establerta, els seus principis ben assentats i la seva tècnica prou assolida. Ja no s'està en front a uns coneixements primitius envers l'hidrologia de superfícies, sino al mateix nivell i en cert aspectes per sobre.

Nombrosos textos presenten la seva ciència i tecnologia (22).

CARACTERISTIQUES, RECARREGA I FUNCIONAMENT DELS AqüÍFERS

Les característiques diferencials més importants dels aqüífers són:

1. L'aqüífer és extensiu i l'aigua es mou massivament. Les accions sobre uns punts són fàcilment transmesses a punts llunyans.
2. La velocitat de moviment de l'aigua és molt petita respecte a la que s'observa als rius. Mentre a aquests l'aigua assolix velocitats normalment entre 0,5 i 2 m/s, als aqüífers dits de flux ràpid els valors són de l'ordre del m/dia (100 000 vegades més petits), i valors de l'ordre del cm/dia i fins i tot del mm/dia són prou freqüents (9) (44).
3. El volúm d'aigua magatzemat és al menys d'un ordre de magnitud semblant al del volúm d'aigua que hi entra o surt anualment, i normalment molt superior. Això significa que el temps mig de residència o trànsit de l'aigua és des de pocs anys fins a milers d'anys.
4. Un aqüífer pot conservar durant un llarg temps efectes hi-

dràulics residuals d'accions naturals o artificials imposades, de vegades molts anys. Com a situació extrema, encara s'hi troben extensos aquífers que conserven efectes residuals dels canvis climàtics succeïts els darrers 20 000 anys. Els efectes de canvis de composició química i de qualitat de l'aigua -transferència de massa- es produïxen encara més lentament doncs suposant el moviment físic de l'aigua i no la transmissió d'un fenomen elàstic i d'ompleniment i buïdat de poros i fissures.

El moviment de l'aigua i els soluts als aquífers respon a lleis físiques ben conegudes (22) i es determinat per:

1. Accions sobre el sistema. Entrades i extraccions d'aigua i de soluts. Son variables imposades.
2. Paràmetres que defineixen el sistema. En quant el moviment de l'aigua i permeabilitat (en el seu cas, transmissibilitat) i coeficients d'emmagatzematge. En quant al moviment de soluts conservatius (no canvien de forma ni estan sotmessos a reaccions químiques): porositat cinemàtica, dispersivitat i difusivitat, i coeficients de repartició entre sòlid i líquid. Pels no conservatius cal conèixer endemés les reaccions químiques i/o biològiques involucrades i llurs constants d'equilibri i cinètiques, sobre el qual la informació disponible és actualment molt minsa.
3. Condicions als límits o de contorn. Defineixen la geometria del sistema i les condicions de potencial hidràulic i de concentracions existents a aquells límits. En realitat les accions sobre el sistema són també condicions als límits.

El règim de recàrrega d'un aquífer és diferent del de descàrrega o sortida, especialment quan hi ha notable influència humana. L'acoplament entre ambdues és fa mitjançant variacions en la quantitat d'aigua emmagatzemada, el que es tradueix en modificacions dels nivells piezomètrics o de la superfície freàtica.

Aquesta capacitat reguladora, associada al elevat temps de trànsit de l'aigua pel sistema, és la que permet que els rius i manantials puguin mantenir els seus cabals de base o que els pous puguin conti-

nuar a produir aigua durant les èpoques seques o fins i tot en una successió d'anys de caràcter sec.

Per l'estudi globalitzat d'un aqüífer s'ha de conèixer la recàrrega, que és un dels termes de balanç hídric. La realització de balanços hídrics correctes és una de les tasques més àrdues de l'hidrologia i especialment de l'hidrologia subterrània (18).

La font fonamental d'aigua subterrània és la pluja, però a efectes de recàrrega cal considerar la pluja útil, que és el resultat de restar a la precipitació la part que s'evapotranspira (evaporació al sol i transpiració de les plantes), part que pot arribar a ésser la major part de l'aigua caiguda. Aquesta pluja útil pot ser del 20 al 40 % de la pluviometria a climes temperats i reduir-se a uns pocs percents als semiàrids i a gairebé zero als àrids. En aquests darrers casos l'avaluació es una tasca sumament difícil, però que no és evitable si hom vol conèixer els recursos disponibles. Una segona dificultat apareix quan s'ha de separar la pluja útil en els seus dos components, l'escorrentiu superficial directe i la recàrrega profunda als aqüífers.

En àrees agrícoles de regadiu cal considerar que un sumand important de la recàrrega pot ésser els retorns o excedents de rec, així com a àrees urbanes les fuites de la xarxa de distribució o del sistema de clavegueram.

Les aigües subterrànies tenen una composició química i isotòpica que reflecteix les condicions climàtiques, edàfiques, litològiques i de temps de permanència en el terreny (9) (22, sec 10), i que es conserva gairebé constant. En molts casos la seva qualitat és bona i acceptable pels diferents usos possibles. Però aigua subterrània i bona qualitat no són necessàriament sinònims, encara que gairebé ho són sota el punt de vista bacteriològic.

No és gens estrany trobar-ne aigües subterrànies naturals d'elevada salinitat, tant més freqüents quan més gran és la fondària a la que s'hi troben. Es el resultat d'influències climàtiques, litològiques i especialment de condicions de flux.

Normalment les aigües subterrànies són menys vulnerables a la contaminació accidental que les aigües superficials, el que és una aven-

tatge clara quan es tracta d'abastir poblacions. Però aquesta menor vulnerabilitat no vol dir que no sigui possible la seva contaminació. N'hi han molts exemples a Catalunya (7), a l'Estat Espanyol (4) i arreu del món. Son nombrosos els mecanismes de defensa i depuració (9) (22, sec 18), però molts processos poden arribar a la saturació de la seva capacitat o perdre la seva efectivitat quan es produïxen canvis de PH i de potencial redox. El procés de contaminació és molt lent, i pot no ésser sensible fins passats anys o dècades, però una vegada establert, la descontaminació és també molt lenta o pràcticament impossible.

Les pròpies activitats agrícoles poden ser un focus distribuït (no puntual) de contaminació, principalment de nitrats, que de vegades assoleix valors enormes a punts del litoral català, llevantí, balear i canari (14) (30), i preocupa enormement a Europa (33).

UTILITZACIO DELS AQÜIFERS

Les aigües subterrànies contingudes als aqüífers són un recurs caracteritzat per la feble variabilitat dels cabals i de la qualitat de l'aigua, la qual és normalment utilitzable directament o quan més amb un senzill tractament, més per mantenir l'absència de germens nocius durant la distribució que per a corretgir-la. Els aqüífers permeten obtenir l'aigua desitjada en el moment que hom la necessita (41), si s'en disposa de sistemes aritificials d'extracció amb maquinària d'elevació.

De fet a molt països desenvolupats bona part de l'abastament urbà es fa amb aigües extretes dels aqüífers, i és el procediment preferit per a nuclis urbans petits i rurals. En aquest cas es té gran cura per a protegir i conservar els aqüífers. Els plans d'ordenació del territori en tenen preferent consideració. Diverses circumstàncies han fet que a Espanya el desenvolupament de les aigües subterrànies hagi estat desequilibrat i amb entrebancs (5) (8) (42) (43), i amb dades de escasa fiabilitat (39), encara que a Catalunya, Llevant, Balears i Canaries l'utilització és molt avançada i ben establerta.

La captació de les aigües subterrànies es fa normalment mitjançant

pous, o sigui, perforacions verticals que permeten arribar als nivells permeables saturats infrajacentes. Altres formes de captació, menys freqüents actualment, encara que no menys útils, són els drenos, galeries o mines d'aigua, pous de drenos radials, pous-galeria, etc.

La tècnica de perforació moderna permet assolir qualsevol profunditat desitjada al diàmetre més convenient, equipant l'obra amb els filtres, macissos d'arena i grava, i tubs requerits, i efectuar tractaments per a reduir les pèrdues hidràuliques de captació. Pous de més de 100 m de fondària, fins a 500 m o més, són freqüents, amb diàmetres a la càmera de bomba entre 0,3 i 0,6 m, de vegades fins a 1 m. Aquests diàmetres són prou per a allotjar maquinaria d'extracció, accionada per motor elèctric incorporat, fins a varis cents de l/s, amb elevacions totals fins a més de 500 m.

Els cabals punta obtenibles depenen de les característiques hidràuliques del medi, variables dins d'un amplíssim marge, encara que es poden predir amb certs límits de confiança si l'aqüífer és conegut. També depenen de la forma de construcció i acabament dels pous, així com de llur estat de conservació.

El pou és normalment una obra cara, a la que cal sotmetre a un adequat projecte, bon control de construcció i proves de determinació del rendiment, així com a un acabament que garantitzi l'absència de contaminació, la durabilitat i la possibilitat de controls periòdics (22, sec 17).

CONSEQUENCIES DE L'UTILITZACIO, INTERFERENCIES, SOBREEXPLOTACIO I INTRUSSIO MARINA

No es pot associar el cabal d'aigua obtenible d'un pou als recursos útils d'un aquífer, de la mateixa manera que no es pot associar el cabal instantani de sortida d'un dipòsit al volum d'aigua emmagatzemat ni a una possible aportació exterior.

L'efecte de les extraccions d'aigua és un descens del nivell piezomètric de l'aqüífer. Es crea així un con invertit de depressió que creix i s'exten fins que l'aigua recollida dins el con iguali a la extreta. Durant el període transitori part de l'aigua extreta

prevé de la disminució de magatzemament degut a la formació de la depressió piezomètrica.

L'assoliment d'una estabilització suposa que dins el con de depressió hi entra una quantitat d'aigua de recàrrega (de pluja o d'infiltració d'aigües superficials o transferida des d'altres aqüífers per sobre o per sota) igual a l'extreta, o que el con s'exten finalment fins a les sortides naturals (rius, manantials, zones humides) de l'aqüífer minvant-les en la quantitat que cal per tancar el balanç, o be afectant-ne a d'altres àrees en explotació on s'hi produeix una disminució del gruix saturat tal que els pous d'aquells indrets no poden assolir els cabals normals, o també induïnt l'infiltració d'aigües superficials que previament no ho podien fer.

Totes aquestes interferències formen part del funcionament d'un aqüífer influenciat per l'home i són inevitables, encara que una bona planificació pot esmoreir-les.

Així resulta que no es pot donar una única xifra dels recursos d'aigua explotables d'un cert aqüífer, doncs és una funció de la forma d'explotació i de les reaccions de la resta d'elements que afecten al sistema, de possibles accions de modificació artificial del balanç (de les que es parlarà més endavant), i també de quin grau d'afectació i d'interferència sigui desitjable, en quant a nivells piezomètrics, reducció de cabals de rius i manantials i canvis de qualitat de l'aigua (22, sec 24).

Cal considerar que a la realitat moltes de les possibles afeccions poden manifestar-se molt endarrerides en el temps i evolucionar prou lentament perquè els efectes passin inobservats molts anys. Tal és la reducció de cabals de rius, l'intrussió marina o la progressiva dessecació d'aiguamolls.

Hom diu que un aqüífer està sobreexplotat quan permanentment el cabal d'extracció supera al de recàrrega i en conseqüència es produeix una progressiva disminució del volum d'aigua emmagatzemat, al sistema, manifest a través d'una continuada devallada dels nivells piezomètrics.

Situacions de sobreexplotació es produeixen actualment a varies àrees arreu el món. Les més conegudes hi són al NW de Mèxic i SW

de Nordamèrica, i corresponen a territoris àrids. Aquesta sobreexplo-
tació, quan es coneix la seva existència i es pot integrar dins
un plan hidrològic coherent, no és necessariamente un fet negatiu
doncs permet crear riquesa inicial (18). Donat que l'exhauriment
de reserves  s lent a aqu ifers de gran extensió, és possible poc
a poc anar assolint demandes menor, aptes per pagar un cost de
l'aigua creixent, tot i mantenint l'activitat econ mica. California
n'es un bon exemple.

A l'Estat Espanyol s'hi troben situacions de sobreexplotació a diver-
sos indrets de Llevant i el Camp de Tarragona (2) (15) (38).

Però no tots els casos de sobreexplotació ho son realment, doncs,
es tracta de transitoris de llarga durada, en els que encara no
s'ha assolit una prou reducció de la descàrrega natural com per
a compensar l'extracció. Són especialment espectaculars, els casos
de les illes de Tenerife i Gran Canaria (15) on malgrat un descens
de nivells que pot assolir 300 m, les fuites d'aigua al mar continuen
a ésser molt importants després de gairebé 50 anys d'explotació
intensa, i encara ho ser n moltes més dècades en cas de mantenir-
ne el present nivell de captació d'aigües subterrànies, si el cre-
ixent cost ho permet.

Els aqu ifers costaners presenten característiques especials doncs
el mar és una massa d'aigua que pot estar en contacte directe amb
els aqu ifers continentals. La més gran densitat de l'aigua marina
crea una tendència a que s'estratifiqui sota l'aigua dolça, donant
aix  un cuny d'aigua salada que penetra tersa en dins per la base
de l'aqu ifer. Entre l'aigua dolça i l'aigua salada existeix una
franja de mescla, unes vegades molt min a i que es pot considerar
una interfaç i d'altres d'un gruix considerable en comparació amb
la potència de l'aqu ifer (82, xec 13) (32).

La penetració de l'aigua del mar al continent depend del gruix del
aqu ifer i de la permeabilitat i  s controlat per flux d'aigua dolça
al mar, el qual també controla el gruix de la zona de mescla. En
estat natural s'assoleix un estat d'equilibri dinàmic, amb lentes
fluctuacions d'acord amb les variacions en la recàrrega i l'estat
del mar que necessariamente comporta la fuga al mar d'aigua dolça.

Qualsevol extracció d'aigua a l'aqüífer, encara que és faci lluny de la costa, o qualsevol disminució de la recàrrega, comporten una acció de penetració del cuny d'aigua salada cap l'interior i una expansió de la zona de mescla, cercant un nou estat d'equilibri amb la nova disponibilitat d'aigua dolça a la costa. Poden passar anys o dècades abans que el nou estat d'equilibri s'assoleixi. Els canvis de nivell piezomètric són petits. Aixó dona una falsa sensació de seguretat enfront de la possible contaminació marina. Cal recordar que un 5 % d'aigua marina barrejada a un aigua dolça la inutilitza gairebé per qualsevol utilització, i que un 3% ja comunica gust salat.

Els recursos d'aigua permanentment aprofitables a un aquífer costaner són sols una fracció de la recàrrega i depenen de la distància dels pous a la costa i de la penetració del cuny d'aigua marina que es pugui tolerar (22) (31) (32).

En molts casos al construir els pous, aquests ja se situen a sobre del cuny d'aigua salada o són aviat atenyts pel any. L'explotació és difícil i els cabals extraïbles petits i sempre amb cert grau de contaminació marina. A les illes petites i molt permeables l'aigua dolça és una lent flotant per tot arreu sobre aigua salada.

Difícilment els usuaris dels aquífers, i fins i tot les autoritats amb competència sobre l'aigua, comprenen els delicats mecanismes d'un aquífer costaner. És realment difícil assumir que mentre l'aigua dolça manca, s'ha de permetre que es mantinguin unes sortides al mar per mantenir un equilibri, que si es trenca, a més a més no produïra efectes greus fins passat un temps llarg, a la fi del qual el responsable serà un altre mentre el que pateix la red és aquell que ha de decidir la conservació.

L'intrusió marina es un dels temes més vius a Catalunya (1) (10) (26), al litoral Mediterrani i a Canaries (11).

GESTIO D'AQUÍFERS

La gestió dels aquífers consisteix en tractar d'acoblar els recursos disponibles a les demandes existents i permissibles, tenint compte de la qualitat, i de la distribució espacial per a assolir la capta-

ció, transport i distribució de l'aigua més econòmiques. Aquest acoplament suposa fer-ne ús de la capacitat reguladora de l'aqüífer, tant a nivell anual com multianual.

La correcta gestió d'un aqüífer no es pot fer aïlladament, donat que l'explotació comporta alteració d'entrades i sortides, i de la profunditat del nivell de l'aigua a les captacions. Es part de la gestió més regionalitzada dels recursos d'aigua, tenint en compte les relacions amb les aigües superficials, altres aqüífers, existència d'àrees humides, possible existència d'aigües salines susceptibles de desplaçament, i directrius d'ordenació del territori, tot en considerant les restriccions legals, administratives i socials, i cercant una maximització del benefici econòmic net.

A la gestió d'un aqüífer no sols s'ha tenir compte dels aspectes tècnic-econòmics, sino socials i polítics. L'aplicació de tècniques d'integració de l'opinió del públic poden ésser necessàries per assolir correctament els objectius.

A regions amb escassos recursos d'aigua és possible millorar-ne l'aprofitament mitjançant tècniques d'utilització conjunta d'aigües superficials i aigües subterrànies i d'integració dels diferents recursos possibles (47) (48).

Es tracta d'avaluar cada recurs en la seva quantitat i qualitat, definint, quan i on és disponible, conjuntament amb la demanda, instal·lacions de captacions, transport i tractament, i llocs més adients per a realitzar els magatzemaments temporals necessaris.

Els mètodes tècnics de gestió, apart de les eines d'estudi i avaluació (models de simulació), comporten accions especials tals com:

1. Establir regles d'explotació de les diferents unitats, amb consignes variables d'acord amb les circumstàncies.
2. Transferir aigües subterrànies als rius mitjançant bombades
3. Magatzemar aigües superficials als aqüífers mitjançant tècniques de recàrrega artificial.
4. Conservar aqüífers costaners o rehabilitar-los restituint el flux al mar.
5. Tractar aigües superficials per infiltració al terreny.

6. Reutilitzar aigües residuals amb un apropiat grau de tractament.
7. Introduir, en situacions extremes, mètodes per a crear nous recursos, tals com la desalinització i marginalment la modificació del clima.

Les accions de gestió, integrades en un conjunt més ampli, formen un plan hídric, que pot comprendre desde directius flexibles a grans trets, com el Marc per un Plà d'Aigües de Catalunya (37), fins a una proposta de reglamentació recolçada en estudis de detall, com es va fer l'Estudi dels Recursos Hídrics totals del Pirineu Oriental (45) (51), i s'està fent de nou actualment, per a actualitzar dades.

La complexitat de la gestió, l'haver de disposar de dades reals continuades i la necessitat de considerar els usuaris propicia cada vegada més la creació d'associacions d'usuaris d'aqüífers, de les quals la del Baix Llobregat, Sector Oriental n'és un bon exemple (36) havent-ne d'altres en formació.

RECARREGA ARTIFICIAL

Hom denomina recàrrega induïda a l'infiltració intencionada d'aigües superficials quan és crea un gradient hidràulic favorable mitjançant bombeigs propers. S'utilitza molt comunment per a mantenir els cabals d'abastaments mitjans i petits, quan la situació és favorable. Encara que s'acostuma a assolir una aigua de qualitat organolèptica, química i bacteriològica acceptable, en cas de contaminació accidental de la font d'aigua superficial no és possible evitar la seva penetració, doncs encara que hom aturi els dispositius de captació, els gradients favorables a l'infiltració poden romandre dies o setmanes.

La recàrrega artificial es diferencia en que l'aigua s'introdueix a l'aqüífer mitjançant obres hidràuliques especialment concebudes (20) (22, sec 19) (34) tals com:

1. Obres de superfície:

- a) àrees d'inundació, a llocs poc habitats. Normalment es tracta de recuperar els ràpids escorrentius de tempestes que es produeixen al peu de zones muntanyenques en llocs

de clima àrid o semiàrid. La gran extensió de terreny pot rebre l'aigua i minimitza els problemes de entarquinament pels llots, els quals, passat el període d'inundació, es sequen i clivellen, recuperant-se així de nou la capacitat d'infiltració, quand no son eliminats per deflació eólica.

- b) estanys i canals d'inundació, quand el terreny no és tan abundant. Les instal·lacions han de mantenir-se, eliminant-ne els fons dipositats, i normalment cal algú tipus de clarificació previa de l'aigua.
- c) fosses, quand la superfície disponible és ja escasa. Gran part de la recàrrega es produeix per les parets. Convé utilitzar aigua més o menys clara i s'ha de preveure un manteniment periòdic.
- d) acondicionament de la llera del riu per a augmentar l'infiltració allà on hidraulicament és possible (natural o artificialment). Hom pot utilitzar-ne meandres artificials, escarificat amb grans precaucions i sense produir un entarquinament en profunditat, o be creació de rescloses temporals o permanents buidables.

2. Obres en profunditat:

- a) pous, quan l'àrea disponible és molt escasa, o hom està a àrees urbanes, o entre la superfície del terreny i l'aquífer existeix un notable gruix de materials poc permeables que no permeten mètodes de superfície. Sempre cal utilitzar un aigua molt neta. Aigües lleugerament brutes poden aruïnar molt ràpidament i permanentment el pou. Cal preveure un manteniment periòdic del pou, que pot variar entre un bombeig diari de corta durada fins a una neteja profunda amb mètodes especials cada un o dos anys que l'aigua d'injecció és molt neta i es pot aplicar pressió (20).

Els objectius de la recàrrega artificial poden ésser molt diversos:

1. Recuperació d'aigües d'escorrentiu de tempestes, magatzemant-

les temporalment al subsòl.

2. Emmagatzematge de sobrants d'aigua natural o tractada.
3. Depuració adicional de l'aigua al interaccionar amb el terreny.
4. Utilització de la capacitat transmissiva de l'aqüífer per a distribuir l'aigua des d'on existeixen recursos i és possible fer la recàrrega, fins els punts de demanda.
5. Mantenir gradients hidràulics per a contrarrestar o impedir el desplaçament d'aigües marines, salines naturals o contaminades. En el cas d'aqüífers costaners, per a complementar el flux d'aigua dolça al mar.
6. En certs casos, per a paliar els efectes de subsidència del terreny per devallada dels nivells piezomètrics.

Tota acció de recàrrega artificial requereix disposar d'aigua. Els possibles orígens són:

1. Aigües de tempestes i avingudes a torrents, quan poden ésser retingudes temporalment a rescloses. Es requereix poder-les recàrregar ràpidament.
2. Aigües captades a rius o a d'altres aquífers i que en un moment donat no són demandades.
3. Aigües residuals tractades, quan la seva qualitat és acceptable.

La recàrrega artificial és una pràctica que requereix un projecte específic per cada situació particular, i normalment ha d'ésser precedida d'una etapa previa d'experimentació a una instal·lació pilot. La construcció i manteniment de les obres i l'adquisició i tractament de l'aigua, suposa un cost i per tant la percepció d'unes taxes que legal i administrativament han de poder ésser aplicades sobre els beneficiaris.

Encara que hi ha molta literatura amb èxits en recàrrega artificial, són nombrosos els fracassos, dels quals gairebé mai no s'en fa referència, però dels quals és possible aprendre molt. Són possibles moltes situacions imprevisibles al projecte i que sols apareixen

amb un estudi detallat de la casuística existent i amb l'operació d'instal·lacions pilot.

L'aparició no sospitada de problemes tals com la generació d'onades o de proliferació d'algues als estanys, de no filtrabilitat de la turbidesa de l'aigua, de defloculació d'argiles per canvis de salinitat i de composició catiónica, d'arrossegament d'aire o d'altres gasos, d'entasquinament ràpid, etc, por fer fracasar totalment un projecte.

Cal considerar que la recàrrega artificial no és un fi en sí, sino sòls un mitjà de gestió, a analitzar dins un conjunt de diferents alternatives.

Als voltants de Barcelona hi ha ja una bona experiència de recàrrega artificial, amb èxits i fracassos (6) (27) (28). Són especialment interessants les realitzacions de la Societat General d'Aigües de Barcelona, en especial en quan a adaptació a les circumstàncies específiques a les que s'han d'aplicar. No són necessàriament extrapolables a d'altres àrees de l'Estat Espanyol ni tan sòls de Catalunya. Actualment estan en marxa experiències en àrees aprop de Granada i aprop de Valladolid, però encara és aviat per treure'n conclusions. Altres experiències positives es coneixen a Gran Canaria i a Mallorca. Uns assaigs a Granada fa uns 20 anys foren un rotund fracàs.

REUTILITZACIO D'AIGÜES

La reciclació i la reutilització d'aigües usades és una font potencial i real de nous recursos d'aigües, però no hi és tan a l'abast com certes informacions pretenen. Existeixen problemes tècnics, però especialment són problemes de salinitat i de cost.

Hom entén per reciclació a l'utilització successiva de l'aigua dins una mateixa unitat de producció. Pot conduir a notables estalvis d'aigua si es planteja bé, especialment durant el diseny de les instal·lacions. En instal·lacions ja construïdes el potencial es de vegades petit, degut als grans costos que suposen les remodelacions i obres complementàries.

La reciclació, des d'el punt de vista dels recursos d'aigua, és

d'especial interès a indústries del ram de l'aigua, en especial enfront del encariment de l'aigua a àrees d'escassetat, de l'amenaça de intrusió marina o del elevat cost de tractar grans volums d'aigua residual. De vegades són possibles reduccions de la demanda en un factor 2 ó 3, i en situacions extremes fins a 10.

La reciclació realment no crea nous recursos d'aigua, però n'allibera part dels utilitzats per a poder-los aplicar a d'altres demandes o per a tractar de reequilibrar els balanços als aqüífers sobreexploats, en especial als costaners.

El concepte de reutilització és diferent, doncs suposa tornar a usar aigües que ja havien estat vessades i rebutjades. El destí més comú i acceptat és l'agricultura, encara que no és l'única possibilitat. A Gran Canaria, Tenerife, Plà de Plama, i diversos indrets del Mediterràni hi ha bons exemples, i s'hi troben projectes a molts d'altres, éssent ben avançats els fets a Hawai (35) (40), a Israel i d'altres indrets (49).

La reutilització d'aigües residuals depen en gran manera del seu contingut en matèries tòxiques o nocives. En general les que provenen d'àrees industrials són les menys aptes doncs hi poden contenir regularment o intermitentment substàncies tòxiques, algunes de les quals poden no ésser prou eliminades al procés de tractament. A moltes àrees de Catalunya, Balears, Llevant i Canaries, les aigües domèstiques, normalment les més aptes per a la reutilització, són també inaprofitables degut a la elevada salinitat original, i en realitat quan va ésser distribuïdes estrictament ja no eren mineralment potables ni aptes pel rec. En aquests casos no es pot pensar en la reutilització mentre l'aigua originària no assoleixi un mínim de salinitat (2).

Amb un tractament suficient les aigües residuals poden quedar gairebé en condicions semblants a les potables, però és una situació molt extrema que sols es presenta a molts pocs indrets arreu el món, i sols a Windhoek (Namíbia) es practica en gran escala (22, sec 23). La reutilització indirecta, després l'infiltració del terreny és més freqüent, però en general es tracta de fets no controlats ni preparats específicament, i les dades disponibles són poques.

Normalment es produïeix una llarga retenció del terreny i una mescla amb altres aigües. A Sitges- Sant Pere de Ribes n' existeix una experiència amb certa informació (24) (25).

Es possible trobar-ne aplicacions industrials, principalment per refrigeració, rentats, manteniment de zones que s'han de conservar humides o rec d'àrees verdes, però el cost de tractament és elevat per a evitar problemes de creixement de masses orgàniques, pudors, coloracions i d'altres, i no hi ha prou incentiu per adoptar-les. Les enquestes fetes a Barcelona han estat normalment poc encoratjadores (3) (50).

Es pot pensar en finalitats ecològiques de les aigües residuals tractades, com ara mantenir aiguamolls o diluïr rius molt contaminats però el transport de l'aigua és car. A Barcelona s'ha estudiat la possibilitat d'utilitzar les aigües depurades a la costa del Besòs per a diluïr el riu Besòs aigües amunt, però el cost de transport i bombeig fa que les solucions de depuració dels vessats sigui econòmicament més atractiva (3) (50).

L'ús agrícola és el que requereix un menor i més senzill grau de tractament, en funció del tipus de cultiu, de la proximitat de la part comestible al terreny i a l'aigua, del temps passat entre l'últim rec i el consum, i de la forma de consum del producte. Endemés dels possibles problemes sanitaris pels ciutadans i per propi agricultor, cal tenir presents diversos problemes associats:

1. L'increment de salinitat sofert per l'aigua residual (0,2 a 0,4 g/l) i el canvi de composició iònica (possibles efectes sobre el sòl, la seva drenabilitat, la planta i la productivitat), encara que la presència de materia orgànica i nutrients poden ésser favorables en certs moments.
2. La possible presència de tòxics per a la planta (compostos borats i certs metalls pesants) o pels consumidors de productes que els acumulen i fins i tot els poden concentrar.
3. La tendència a obstruir-ne, deixar sediments i creixements orgànics a les xarxes de distribució agrícoles, aspensors i goters utilitzats en sistemes de rec mecanitzat i concen-

trat. El tractament complementari de l'aigua incrementa el cost i la fa poc atractiva. Aquest augment de cost no es pot normalment imputar al productor de l'aigua residual.

4. La temporalitat de la demanda d'aigua per l'agricultura, mentre l'aigua residual té un caràcter més regular. Aixó obliga a sobredimensionar les instal·lacions de tractament per assolir un grau de depuració i les canonades -les quals són molt cares- o a disposar d'elements de regulació de caràcter anual. Aquests així mateix són molt costosos en àrees ocupades per conreus, o poblacions -molt consumidors d'energia si es fan fora del centre de destí- a més a més d'ésser difícil de conservar en condicions un embassament d'aigües amb nutrients i matèria orgànica. Caldria un nou tractament al desembassar.

La recàrrega artificial de les aigües residuals tractades pot ajudar a solucionar els dos problemes esmentats:

1. Acoblament de la demanda i la producció utilitzant la capacitat reguladora de l'aqüífer.
2. Tractament complementari de l'aigua, amb eliminació de moltes substàncies, assoliment d'un aigua neta i regularització de la qualitat, esmorteint notablement les variacions i la presència esporàdica de tòxics.
3. Desinfecció, dins de certs límits, en relació amb la supervivència de germens patògens i virus a l'aigua (46) (52).

La realitat és difícil, doncs als problemes ja esmentats de la recàrrega artificial cal sumar-hi els derivats de la pobre qualitat de l'aigua a recàrrega. Els resultats depenen molt de la forma de recàrrega i dels terrenys locals.

Alguns dels problemes que s'hi poden trobar són:

1. Recàrrega en superfície, amb aigua poc tractada perquè sigui barata:
 - a) ràpid estarquinament degut a l'acumulació de matèria orgànica -en bona part generada al mateix estany- ràpida reducció de la capacitat d'infiltració i difícil procés

- de neteja.
- b) possibilitat de generació de pudors, plagues d'insectes i fins i tot de rosegadors.
 - c) problemes sanitaris als voltants, en especial si el vent és intens.
2. Recàrrega en profunditat, amb aigua molt tractada i cara:
- a) ràpida pèrdua de capacitat d'absorció dels pous per creixements orgànics -fins i tot mantenint un nivell de cloració intens- si el aigua no és molt neta i químicament molt curada.
 - b) necessitat de netejes molt freqüents i poc experimentades.
 - c) possibles canvis de permeabilitat a l'aqüífer per dipòsits al voltant del pou o al seu filtre, o per alteració de l'estat de les argiles.
3. Al propi aquífer i a l'aigua:
- a) possible creació d'un medi anaerobi que farà que l'aigua recuperada pugui tenir concentracions elevades en ferro i de vegades també en manganés.
 - b) acumulació d'amoni al medi sòlid per canvis iònics, fins a la saturació. Després l'amoni romandria a l'aigua. El pas a condicions oxidants d'una part de l'aqüífer o del medi no saturat que previament s'hagi carregat d'amoni, pot produir-ne elevades concentracions temporals de nitrats a l'aigua.
 - c) notables alteracions químiques. Un bon exemple indirecte són les observacions al Garraf com a conseqüència del abocador d'escombreries de Barcelona (21).

Les experiències fetes al Pla de Sant Jordi, aprop de Ciutat de Mallorca, han estat positives, encara que les dades són escases. En aquest cas es tracta de pous injectant dins un aquífer calcarenític molt permeable (karstificat i fissurat). Sembla haver-se produït una disminució del grau de contaminació marina, però no és clara

la capacitat de servir de dipòsit regulador.

Les experiències fetes a Barcelona, a l'aqüífer cautiú salinitzat del Besós, aprop de l'antiga gola de la Riera d'Horta, ha suposat l'injecció de 25 l/s d'aigua residual tractada secundàriament, durant 3 mesos, utilitzant un pou profund amb observacions a diversos sondeigs. Els resultats mostren la gran influència de les condicions de l'aigua i de canvis a l'aqüífer malgrat estar format de materials de granulometria grollera. L'eliminació final de amoni és pobre, però d'altres components assoleixen una bona reducció. Es mostra que el grau de tractament assolit no fou suficient i que els filtres de sorra previs fallaren totalment (12) (13) (23) (28) (29).

Altres experiències d'infiltració a la llera de la riera de Vilafranca, entre Sant Pere de Ribes i Sitges, mostraren la possibilitat d'infiltrar 25 l/s durant uns dos anys amb un cost molt reduït. L'existència de 20 m de medi no saturat granulat és mostra molt efectiu en la reducció del grau de contaminació de l'aigua semiresidual disponible (24) (25) (29).

REFERENCIES BIBLIOGRAFQUES

- (1) BATISTA, E., BAYO, A., CUSTODIO, E., DOMENECH, J., (1981): Some aspects of sea water intrusion in Catalonia (Spain). Salt Water Intrusion Meeting, Bari. Geologia Applicata e idrogeologia. Vol XVIII-Part II. 1983. Bari, pp. 299-323.
- (2) CAPO (1980): Estudio de los recursos hídricos del Bajo Francolí. Comisaría de Aguas del Pirineo Oriental. Barcelona, 400 págs.
- (3) CAPO-AB, (1976): Plan de saneamiento y reutilización de los vertidos de agua de Barcelona. Comisaría de Aguas del Pirineo Oriental y Ayuntamiento de Barcelona (Interno).
- (4) CIHS (1982): Jornadas sobre análisis y evolución de la contaminación de las aguas subterráneas en España. Curso Internacional de Hidrología Subterránea. Barcelona. 2 vols 1100 pp.

- (5) CUSTODIO, E. (1977): Las aguas subterráneas en España. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Agua, Mar del Plata, Argentina. Revista de Obras Públicas, abril 1977, págs. 321-334. Madrid. También en la Aportación Española a la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Agua, Comité Español, págs 37-60. También en el documento E/CONF.70/TP 199-76-20333. 21 págs. También en hidrología, 26/27, octubre-enero 1976-77. Instituto de Hidrología. Madrid. págs. 57-61.
- (6) CUSTODIO, E. (1978): Recarga, control y protección de los acuíferos. 3ª Conferencia Nacional sobre Hidrología General y Aplicada. SMAGUA-78. Zaragoza. Ponencia 1, pp. 7-66.
- (7) CUSTODIO, E. (1979): Perspectivas de las aguas subterráneas en el Pirineo Oriental (Cataluña, España) de cara al Siglo XXI: urgencia en la actuación o degradación irreversible. Simposio Agua Siglo XXI. UNESCO. Comité Español para el PHI. Madrid, Sep 1980. 24 págs. Reproducido en Quaderns d'Enginyeria, Vol 3 nº 1 (1981) págs. 93-113. ETSIIB-Barcelona. Reproducido en CIHS (1982) pp. 1031-1062.
- (8) CUSTODIO, E. (1980) : Utilización del agua subterránea en España: reconocimiento y aprovechamiento. Quaderns d'Enginyeria. ETSII Barcelona nº 31 (1981) pp. 349-370; nº 5 (1984) pp. 143-173.
- (9) CUSTODIO, E. (1981): Aguas subterráneas y contaminación de acuíferos: diagnósticos de vulnerabilidad de las aguas subterráneas por vertidos controlados. Curs sobre Ordenació del Territori. Escola Superior d'Arquitectura i Escola d'Enginyers Agrònoms. Lleida. Reproducido en Jornadas sobre Análisis y Evolución de la Contaminación de las Aguas Subterráneas en España. Curso Internacional de Hidrología Subterránea. Barcelona. 1982. Vol II pp. 949-976.
- (10) CUSTODIO, E. (1981): Sea water encroachment in the Llobregat and Besós areas, near Barcelona (Catalonia, Spain). Intruded and Relict Ground-water of Marine Origin. Proc. 7th Salt Water Intrusion Meeting SWIM-81. Uppsala. Sveriges Geologiska

Undersökning, sep. 27. Págs, 120-152.

- (11) CUSTODIO, E. (1981): Evaluación y causas de la contaminación de agua marina en los acuíferos de la costa peninsular y en las áreas insulares. Actas de las Jornadas sobre Análisis y Evolución de la Contaminación de las Aguas subterráneas en España. Curso Internacional de Hidrología Subterránea. Barcelona. pp. 447-503.
- (12) CUSTODIO, E. (1981): Estudio de la recarga artificial con aguas residuales tratadas en el acuífero cautivo del delta del Besós, mediante las curvas características del pozo. IV Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica. Zaragoza. Instituto Geográfico Nacional, Madrid. Vol III, pp. 1625-1642.
- (13) CUSTODIO, E. (1981): Método de cálculo de las mezclas de agua resultantes de la recarga artificial con aguas residuales tratadas en el acuífero cautivo del delta del Besós. IV Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica. Zaragoza. Instituto Geográfico Nacional. Vol III pp. 625-642.
- (14) CUSTODIO, E. (1982): Nitrate buildup en Catalonia coastal aquifers. Int Symp. Impact of Agricultural Activities on Groundwater. Praga. Int. Assoc. Hydrogeologists, Mémoires, Vol XVII part 1. pp. 171-181.
- (15) CUSTODIO, E. (1982): Utilisation des reserves d'eau souterraine en Catalogne et aux iles Canaries. 4ème Conférence Internationale sur la Planification et la Gestion des Eaux, Marseille. CEMPE. Vol. 1 pp. 693-700.
- (16) CUSTODIO, E. (1982): Quelques malentendus qu'on peut eviter par milieu de l'instruction. IV Conf. Internationale sur la Planification et la Gestion des Eaux. Marseille, 1982. Com. Européenne Méditerranéenne de Planification des Eaux. CEMPE.
- (17) CUSTODIO, E. (1983): El uso conjunto en el Pirineo Oriental: problemas de calidad. Curso sobre Utilización Conjunta de Aguas superficiales y Subterráneas. DGOM-SGOP/ETSICCP-UP Valencia-Castellón de la Plana. E-8, pp. 1-21.

- (18) CUSTODIO, E. (1983): Balance de recursos hídricos disponibles para abastecimiento y su incremento. Seminario sobre Abastecimiento de Agua Potable. Universidad Internacional Menéndez y Pelayo. Sitges. pp. 390-438.
- (19) CUSTODIO, E. (1984): Los estudios hidrológicos del Pirineo Oriental. Seminario del Agua en Aragón. Universidad de Zaragoza. Zaragoza. Vol. 8. pp. 828-851.
- (20) CUSTODIO, E. (1984): Recarga artificial: situación y realizaciones. Boletín del Servicio Geológico de Obras Públicas. Servicio de Publicaciones del MOPU (en prensa). 300 pp.
- (21) CUSTODIO, E. GALOFRE, A. (1976): Evolución de la calidad del agua en la surgencia litoral de la Falconera en relación con un gran vertedero de basuras en el macizo de Garraf (Barcelona). II Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica, Barcelona. Inst. Geográfico y Catastral, págs. 2131-2173.
- (22) CUSTODIO, E., LLAMAS, M.R. (1976-1983): Hidrología Subterránea. 2 tomos, 2359 pág. Ed. Omega S.A. Barcelona.
- (23) CUSTODIO, E., SUAREZ, M., GALOFRE, A. (1976): Ensayos para el análisis de la recarga de aguas residuales tratadas en el delta del Besós. II Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica. Sección de Ciencias Hidrológicas. Barcelona. Instituto Geográfico y Catastral - Presidencia de Gobierno. Madrid. Págs. 1893-1936.
- (24) CUSTODIO, E., GALOFRE, A., GENE, J. (1976): Recarga de aguas residuales municipales en el Llano de Sitges. II Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica, Barcelona. Inst. Geográfico y Catastral, págs. 1859-1892. Madrid.
- (25) CUSTODIO, E., GALOFRE, A. (1977): Bassin recharge in the Sitges plain Barcelona, Spain, to eliminate temporarily municipal waste water. Mem. Inst. Assoc. Hydrogeologists. Birmingham Assembly. Vol. XIII 1. págs. F. 41-57.
- (26) CUSTODIO, E., BAYO, A., BATISTA, E. (1977): Sea water encroachment in Catalonia coastal aquifers. Mem. Int. Assoc. Hydrogeologists, Birmingham Assembly, Vol. XIII. págs. F. 1-14.

- (27) CUSTODIO, E., CACHO, F., SUAREZ, M. ISAMAT, F.J. MIRALLES, J.M.: Combined use of surface and groundwater in Barcelona Metropolitan Area (Spain). Inter. Assoc. Hydrogeologists. Birmingham, 1977. Vol. XIII. 1. págs C1427.
- (28) CUSTODIO, E., ISAMAT, F.J., MIRALLES, J.M. (1979): Twenty five years of groundwater recharge in Barcelona (Spain). International Symposium on Groundwater Recharge, Dortmund. Deutscher Verband fuer Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. DVWK-UNESCO DVWK Bulletin 11. Artificial Groundwater Recharge Vol. 1 pp. 171-192.
- (29) CUSTODIO, E., TOURIS, R., BALAGUE, S. (1981): Behaviour of contaminants after injection of treated urban waste water in a well. Int. symp. Quality of Groundwater ISQG'81. Noordwijkerhout. (Amsterdam). Studies in Environmental Sciences, Vol. 17., Elsevier. pp. 395-401.
- (30) CUSTODIO, E., GUERRA, J.L., JIMENEZ, J., MEDINA, J.A., SOLER, C. (1982): The effects of agriculture in the volcanic aquifers in the Canary Islands (Spain). Int. Symp. Impact of Agricultural Activities on Groundwater. Praga. Int. Assoc. Hydrogeologists. Mémoires. Vol. XVI. part. 3, pp. 225-236.
- (31) CUSTODIO, E., GANOULINS, J., POTIE, L. (1982): Utilisation rationnelle des ressources en eau dans les zones cotières. 4^{ème} Conférence Internationale sur la Planification et la Gestion des Eaux. Marseille. CEMPE. Rapport General Thème 7. Pub. Bull. BRGM (2). III n^o 3/4. Orléans, pp. 230-242.
- (32) CUSTODIO, E., BRUGGEMAN, D., et al (1984): Salt water problems: groundwater. UNESCO. Studies and Reports in Hidrology Series. París (en prensa). 400 pp. aprox.
- (33) CWPU (1977): Nitrate and water resources with particular reference to groundwater. Central Water Planning Unit, Reading, U.K. 64 págs.
- (34) DVWK (1982): Artificial groundwater recharge. Bull. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau, Vols II (308 pp.), 12 (225 pp.), 13 (359 pp.) y 14 (360 pp.). Verlag

Paul Parey, Hamburg/Berlín.

- (35) DUGAN, G.L., LAU, L.S. (1981): Sewage irrigation and recharge consequences, Ohau. Am. Soc. Civil Eng., Environmental Eng. Div. EE4. Vol. 107. pp. 699-711.
- (36) FERRET, J. (1981): Actuación del Ayuntamiento del Prat de Llobregat en la protección de los acuíferos del delta del Llobregat. Jornadas sobre Análisis y Evolución de Contaminación de Aguas Subterráneas en España. Curso Internacional de Hidrología Subterránea. Barcelona Vol II, pp. 863-868.
- (37) GC (1981): Marc per al plà d'aigües de Catalunya. Generalitat de Catalunya. 2 Vols. 866 págs.
- (38) GUTIERREZ ESCUDERO, D. (1985): Sobreexplotación de acuíferos: Cuenca del Segura. Conferencia inaugural del Curso Internacional de Hidrología Subterránea, Barcelona, 27 pp.
- (39) IGLESIAS, A. (1984): Usos del agua en España. Colección Informe Instituto Geológico y Minero de España, 87 p.
- (40) LAU, L.S. (1979): Water reuse from sewage effluent by irrigation: a perspective for Hawaii. Water Resources. Bull. AWRA. Vol 15, nº 3. pp. 739-752.
- (41) LLAMAS M.R. (1983): The role of ground-water in Spain's water policy. California Water Resources Research Center, University of California, Report nº 56, p. 18-36. Versión castellana en Tecnología del Agua, mayo-junio, 1984.
- (42) LLAMAS, M.R. (1984): Las aguas subterráneas en la política hidráulica española. Tecnología del Agua, 15, Barcelona pp. 71-82.
- (43) LLAMAS, M.R. (1984): Consideraciones sobre la "nueva-vieja" política hidráulica del Ministerio de Obras Públicas. I Congreso Español de Geología, tomo IV, p. 203-213.
- (44) LLAMAS, M.R., CUSTODIO, E., ARIÑO, G. (1985): El proyecto de Ley de Aguas. Informe. Instituto de Estudios Económicos. Madrid, 166 págs.
- (45) REPO (1969-1972): Estudio de los recursos hidráulicos totales

del Pirineo Oriental. Comisaría de Aguas del Pirineo Oriental y Servicio Geológico de Obras Públicas. DGOH-MOP. Conjunto de 28 volúmenes.

- (46) ROMERO, J.C. (1970): The movement of bacteria and viruses through porous media. Ground Water, Vol. 8 nº 2 pág. 37-48.
- (47) SAHUQUILLO, A. (1983): La utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas como paliativo de la sequía. Actas del III Simposio Nacional de Hidrogeología. Asociación de Geólogos españoles, Madrid, vol. VII, p. 235-280.
- (48) SAHUQUILLO, A. et al. (1983): Utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas. Servicio Geológico de Obras Públicas y Universidad Politécnica de Valencia, 250 pp. aprox.
- (49) SHUVAL, H. I. (1977): Water renovation and reuse. Academic Press. 463 pp.
- (50) TRILLO, J. D., SUAREZ, M. (1978): Plan de sanamiento y reutilización de los vertidos de aguas de Barcelona. II Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica. Barcelona 1976. Instituto Geográfico y Catastral. Presidencia de Gobierno. Madrid.
- (51) VILARO, F., LLANSO, J.M., MARTIN RETORTILLO, S., NIETO, A. (1972): Plan hidrológico del Pirineo Oriental. Comisaría de Aguas del Pirineo Oriental y Servicio Geológico de Obras Públicas. Barcelona (interno). 140 págs.
- (52) YARUZ CARAPCIOGLU, M., HARIDES, A. (1984): Transport and fate of microorganisms in porous media: a theoretical investigation. Journal of Hydrology. 72. pp. 149-169.

LES AIGÜES RESIDUALS, ELS SEUS USOS I
POTENCIAL DE REUTILITZACIO
EN LA ZONA LITORAL DE GIRONA

F. Sanmiguel

LES AIGÜES RESIDUALS, ELS SEUS USOS I
 POTENCIAL DE REUTILITZACIO
 D'AIGÜES RESIDUALS DEPURADES EN
 LA ZONA LITORAL DE LA PROVINCIA DE GIRONA

F. Sanmiguel
 Serveis Territorials de Girona
 Departament d'Agricultura Ramaderia i Pesca
 Generalitat de Catalunya

UTILITZACIO AGRICOLA

La utilització d'aigües residuals per al regatge agrícola ha estat una pràctica que des de l'antiguitat s'ha vingut realitzant essencialment pel valor fertilitzant dels excrements (com a Xina) o bé com a mètode d'evitar contaminació ambiental de rius (a Anglaterra a finals del segle XIX i principis del XX).

El risc inclòs en la utilització d'aquestes aigües ha de ser avaluat. Evidentment l'esmentat risc no és igual per al cas de l regatge de plantes destinades a usos industrials o plantes de consum humà amb o sense cocció. Per altra banda, el risc als treballadors agrícoles ocupats en aquest tipus de regatges, també cal sigui avaluat.

Dels estudis realitzats per la O.M.S. i els realitzats a Israel s'ha arribat a les següents conclusions:

1. No s'haurà de regar amb aigües residuals brutes per por a la contaminació dels obrers regants.
2. Generalment és acceptable l'ús d'aigües residuals depurades no desinfectades, per al regatge de cultius industrials, llavors i altres cultius no destinats al consum humà.
3. Els cultius destinats a l'alimentació humana, àdhuc aquells

que exigeixen cocció podran ser regats amb aigües residuals depurades i desinfectades.

4. Es possible arribar a una qualitat de l'efluent tal que permeti l'ús de les aigües residuals depurades en la irrigació. L'esmentada qualitat pot obtenir-se a base de les plantes depuradores complexes i de cost elevat.

Els risc als treballadors agrícoles que s'ocupin del regatge amb aigües residuals sembla ser bastant evident. Aquest problema pot evitar-se amb la pràctica de costums sanitàries concretes: neteja freqüent de les mans, no treballar sense roba, desinfecció abans de menjar, etc. Amb les aigües residuals depurades és possible el regatge de pastures i la cria de peixos en piscifactories.

En ambdós casos, existeixen problemes sanitaris, a més del problema psicològic del públic que no vol menjar carn o peix que ha estat en contacte amb aigües residuals.

UTILITZACIO INDUSTRIAL

El problema més greu en aquest cas és el d'evitar les connexions estranyes o equivocades que poguéssin produir-se entre circuits d'aigua potable i aigua residual depurada. En el cas de l'ús de les aigües residuals depurades per a processos de refredament, no es veuen problemes sanitaris, sinó de tractament terciari per preveure el creixement d'algues i decantacions en les conduccions. Per a poder utilitzar l'aigua residual en els processos industrials s'hauria de dissenyar la planta de depuració de forma tal que produís un efluent d'acord a la qualitat de l'aigua requerida per el procés.

UTILITZACIO MUNICIPAL

Els usos municipals que poden considerar-se en el cas d'aigües residuals depurades són: contra incendis, irrigació de parc, camps de golf, etc, i neteja de carrers. En tots els casos les aigües residuals hauran de ser desinfectades a efectes d'evitar possibilitats de contaminació bacteriològica.

RECARREG D'AQUÍFERS

Aquest tipus d'ús és practicat amb vàries finalitats:

1. Crear una barrera contra la intrusió marina. En aquest cas poc o gens influeixen els problemes sanitaris, ja que si hi ha càrrega en excés aquesta sortirà al mar sense causar majors problemes.
2. Per reforçar aquífers. En aquest cas s'haurà de considerar la dimensió de l'aquífer, extensió de l'aigua en el mateix, tipus d'aquífer, etc. Totes aquestes dades afectaran la qualitat biològica, química i física de les aigües residuals depurades. (Disminució de bacteries en aquífers sorrencs, canvi d'ions, absorció de matèria orgànica, etc.)

Es importantíssim considerar l'ús últim de l'aigua de l'aquífer, ja que aquest ús determinarà la qualitat de l'aigua a recarregar. Aquest recàrreg pot fer-se servir com un factor de seguretat per les llargues estades de l'aigua en l'aquífer i la possibilitat de treure mostres amb bastant anticipació al seu ús.

POTENCIAL DE REUTILITZACIO DE LES PRINCIPALS ESTACIONS DEPURADORES DE LA COSTA BRAVA

Dintre del Pla de Sanejament de la Costa Brava, s'han construït una serie d'Estacions Depuradores d'aigües residuals, unes ja a ple funcionament, altres que encara no l'han aconseguit degut fonamentalment a que falta connectar xarxes de sanejament de part de les seves zones d'influència i alguna ja a punt d'entrar en funcionament per trobar-se en l'últim període de construcció.

De totes elles les més importants i amb una potencial zona agrícola interessant a regar serien les de Roses, Palamós, Blanes i Platja D'Aro.

- E. Depuradora de Roses: Amb capacitat de depuració de fins 18 000 m³/dia. La seva possible reutilització per a regatge podria cobrir 600 ha.

E. Depuradora de Palamós: Amb capacitat de depuració fins a 33 000 m³/dia. La seva possible reutilització per a regatge podria cobrir 1 100 ha.

E. Depuradora de Blanes: Amb capacitat de depuració fins a 10 000 m³/dia. La seva possible reutilització per a regatge podria cobrir 330 ha.

E. Depuradora de Platja

d'Aro: Amb capacitat de depuració de fins a 30 000 m³/dia. La seva possible reutilització per a regatge podria cobrir 1 000 ha.

Conseqüentment el càlcul teòric, jornades de regatge de 14 ha diàries i cabal continu de 0,5 l/s ha ens portaria amb les últimes depuradores a cobrir una superfície d'aproximadament 3 000 ha.

CARACTERISTIQUES DE LES POSSIBLES ZONES D'INFLUENCIA DE CADA DEPURADORA. ASPÈCTES CONCRETES

Però necessàriament hem de considerar les característiques específiques de les zones d'influència, en quant a cultius i altres acondicionaments, que incideixen en cadascuna d'elles.

La zona de Blanes de sempre s'ha caracteritzat pels seus cultius d'hortalissa a consumir en fresc (enciam, escarola, tomàquet, meduixa etc.) i per disposar de suficient quantitat d'aigua per a regatge estreta mitjançant pous d'embasament subterrani del Tordera.

La zona de Roses actualment es troba amb manca d'aigua potable per al consum humà i necessitats de subministrament que podria realitzar-se, o bé aprofitant aigües dels regadius del Muga (pantà de Boadella) o mitjançant captacions en el vall del riu Fluvià (entre Sant Pere Pescador i Torroella de Fluvià). Actualment existeixen contactes entre els Ajuntaments de Roses i Castelló d'Empúries amb la finalitat de que el primer rebés aigües del Rec del Molí, que es fan servir

per regar terrenys agrícoles del terme municipal de Castelló d'Empúries i aquest a la vegada es veïés compensat per aquest fins amb aigües procedents de l'Estació Depuradora de Roses.

La zona de Palamós-Palafrugell té també uns sectors tradicionals hortícoles Sant Joan de Palamós, Vall.llobrega, i Sant Antoni de Calonge i altres eminentment cerealistes i farratgers.

La zona de Platja d'Aro i Sant Feliu de Guixols per les especials circumstàncies que en ella concorren mereix una detallada informació que a continuació oferim.

Situació

A la conca del Riu Riudaura, de 74 km² de superfície, s'exten, en el seu curs baix, una vall repleta d'al.luvions quaternaris que amb una superfície de 9 km² d'embassament subterrani del Riudaura.

L'esmentat embassament, està compost per dues unitats aquífères interconnectades: L'aqüífer o embassament de Santa Cristina d'Aro (des de la capsalera de la vall, fins a l'esmentada població) i l'aqüífer o embassament de Castell d'Aro (des de Santa Cristina fins al mar). Ambdós aquífers amb una capacitat útil total de 5 hm³ constitueixen l'única font d'abastiment d'aigües potables de les poblacions de Santa Cristina, Castell d'Aro i S. Feliu de Guixols

L'explotació dels aquífers, es realitza a través de més de quaranta pous situats a la llargada del riu de s de les proximitats del pont de Solius fins a la carretera de Sant Feliu de Guixols-Palamós.

L'embassament de Santa Cristina abasteix principalment aquesta població, a Romanyà i el Club de Golf. De l'embassament de Castell d'Aro a través de les centrals elevadores de Sant Feliu i Platja d'Aro, s'abasteixen aquestes dos poblacions i Castell d'Aro. Existeixen a més a més captacions per serveis particulars (agrícoles i càmping) distribuïdes en els dos embassaments.

La planta depuradora de les aigües residuals Sant Feliu de Guixols-Platja d'Aro i Santa Cristina d'Aro, està situada al terme municipal de Platja d'Aro, prop a la població de Castell d'Aro i en el marge esquerra del riu.

Característiques

Les característiques principals dels aquífers es resumeixen en:

	Embassament Santa Cristina	Embassament Castell d'Aro
Superfície km ²	3	6
Gruixària mitja saturada, m	8/10	15/20
Gruixària màxima saturada, m	18	35
Transmissibilitat, m ² /día	100/500	100/1000
Porositat eficaç, %	8/10	8/10
Permeabilitat vertical llims, m/día --		10 ³
Capacitat total, hm ³	1,8/2,5	8,5/10

Capacitat útil conjunta = 5 hm³

En conjunt, l'embassament del Riudaura està constituït per sorres de gra mitg i gros i alguna grava alternant amb llim parcialment orgànic i descansant tots ells damunt d'un sòcol granític.

En el embassament de Santa Cristina, predominen les alternances de sorra i llim sorrenc i orgànic amb uns valors de permeabilitat relativament baixos.

En l'embassament de Castell d'Aro es troben els materials de major granulometria però també els extractes llimosos de major gruixària.

Funcionament hidràulic de l'embassament subterrani

L'alimentació de l'embassament es realitza mitjançant l'infiltració directa de les precipitacions a la superfície de la vall i la infiltració per la llera del Riudaura. També encara que amb escassa importància quantitativa, mereix esmentar la recarga amb els excedents de regatge.

Les sortides del sistema estan constituïdes per:

1. Les extraccions en les captacions distribuïdes per l'embassament que constitueixen el seu component més important.
2. El flux subterrani al mar que amb un valor de 300 000 m³/any per la situació de màxim embassament, és funció del gradient subterrani, podent arribar a anular-se i inclús invertir-

se produïen-se en aquest cas un avançament de la intrusió marina.

3. Les aportacions subterrànies al riu quan l'embassament està ple i el Riudaura actua com afluent.

El règim de funcionament presenta variacions degudes tan a les característiques de la demanda d'aigua com a la distribució temporal de les precipitacions, la recarga natural es funció del règim pluviomètric amb màxims a la primavera i tardor i mínima a l'estiu i hivern. Les extraccions amb mínims a l'hivern i màxims a l'estiu. Poden senyalar-se dues fases en el funcionament de l'embassament: la temporada baixa (octubre-maig) i la temporada alta (juny-setembre).

Durant la temporada baixa, les aportacions del riu presenten els seus valor màxims i les extraccions els seus valors mínims.

Des de l'octubre de 1981 a maig de 1982, les aportacions del riu van ésser $4,02 \text{ hm}^3$. Malgrat això s'ha de ressaltar el caràcter irregular de les aportacions. Solament després de fortes precipitacions, circula l'aigua pel llit arribant al mar.

En l'aqüífer de Santa Cristina, les aportacions superficials superen a les extraccions pel que l'embassament una vegada recuperat de la forta extracció del darrer any, resta ple i pot circular aigua pel riu.

En el de Castell d'Aro, l'aigua superficial, s'infiltra arribant a assecar-se el llit a la zona propera a la central elevadora de Sant Feliu produint-se per tant la recarga del aquífer. Quan l'escorrentia es elevada la zona d'infiltració s'extén fins arribar al mar.

Durant l'estiu les aportacions del riu són mínimes o nul·les i les extraccions màximes. Al 1982 entre juny i setembre les extraccions van ésser de 2 hm^3 i les aportacions del riu practicament nul·les: $30\,000 \text{ m}^3$.

Es en el període estiuenc, quan ambdós aquífers es buïden per satisfer la demanda i no es produeix recarga pel llit del riu.

Extraccions per l'abastament urbà

Les dades sobre el volúmens d'aigua elevada han estat proporcionades per les empreses que gestionen els abastaments urbans a la zona: Aigües potables de Sant Feliu, S.A. i "Gerundense de Servicios S.A."

L'embassament de Castell d'Aro disposa de 2 nuclis de bombeig: les centrals elevadores de Platja d'Aro i la de Sant Feliu. L'embassament de Santa Cristina disposa de 4 nuclis de bombeig: regatge del Golf, Xalets Urbanització "El Golf", Santa Cristina d'Aro i Bell-Llloch.

Els volúmens d'aigua elevada han estat els següents:

Any	Embassament	Embassament	Total
	Castell d'Aro	Santa Cristina	
	hm ³ /any	hm ³ /any	hm ³ /any
1981	3 315 589	634 656	4 005 312
1982	3 297 024	634 656	3 931 679
1983	3 379 038	713 486	4 092 524

Aportacions pluviomètriques

El caudal superficial del riu Riudaura es medeix a l'estació d'aforament del Pirineu Oriental situada en l'esmentat Riu a la altura de Santa Cristina d'Aro controlant 55 km² dels 74 km² de la conca.

Aportació anual periode	1980-81	1,97 hm ³
" " "	1981-82	4,05 hm ³
" " "	1982-83	1,28 hm ³

El conjunt d'aquests tres anys pot considerar-se com sec a efectes precipitacions.

Aportacions de la Depuradora

Des del juliol a desembre de 1983 ha aportat el seu volum d'aigua que se situa als voltants de 1,6 hm³, la qual en la seva totalitat s'ha infiltrat abans d'arribar al litoral.

L'aportació de la depuradora durant l'any 1984 ha estat de 3,5 hm³.

Resum i consideracions finals

Considerant els anys 81, 82 i 83, que són els últims dels que disposem de dades, i fent resum de les extraccions pluviomètriques i les de la depuradora, tindrem els resultats següents:

Aportacions pluviomètriques	2,76 hm ³	
Aportacions depuradora	3,50 "	6,26 hm ³
Extraccions pel consum		4,09 "
Volum no utilitzat		<u>2,17 hm³</u>

Aquestes dades mostren amb claretat que si no hi hagués aportacions de la depuradora, el sistema resultaria deficitari per cubrir el consum humà a la temporada alta; amb el perill adicional d'introducció d'aigües marines en el aqüífer estant aquest parcialment en carga.

Consegüentment davant d'un possible futur aprofitament de reutilització d'aigües residuals per a regatge a la vall del Riudaura serà absolutament necessari tenir en compta les consideracions apuntades.

LES AIGÜES RESIDUALS DINS DEL PLA DE REGATGES DE CATALUNYA

Pel Decret 252/1982 de la Generalitat de Catalunya i vista l'escassetat d'aigua per a regatge, s'estableix que la Direcció General de Millora Rural del Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca, facilitarà ajudes tècniques i econòmiques a Comunitats de Regants, Cooperatives, Societats Agràries de Transformació i d'altres associacions d'agricultors, legalment constituïdes que proposin l'execució d'obres necessàries pel regatge amb aigües residuals depurades. Les ajudes tècniques consistiran en la redacció dels projectes d'obres, éssent executades pel Departament d'Agricultura amb càrrec als seus pressupostos, de manera que el 60 % de la inversió serà reintegrable pels beneficiaris a un termini màxim de 20 anys i amb un interès anual del 4 %.

Considerant a nivell general de Catalunya, les estacions ha constituïdes i aquelles que entraran en servei a un plaç curt el nombre d'hectàrees que podrien transformar-se en regadiu es de 9 100 ha.

Les inversions a realitzar per posar en marxa el regatge són molt variables depenent de la zona futura dins de cada depuradora, orientativament dins de la nostra costa podrien estar entre les 500 000 i 600 000 ptes/ha.

PLANING FOR MUNICIPAL WASTEWATER
RECLAMATION AND REUSE

T. Asano

LA PLANIFICACION DE LA
REGENERACION Y REUTILIZACION DE
AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES

Takashi Asano, Ph.D.

Water Reclamation Specialist

California State Water Resources Control Board

P.O. Box 100, Sacramento, California 95801

and

Adjunct Professor

Department of Civil Engineering

University of California at Davis

Davis, California 95616

La reutilización planificada de aguas residuales se ha venido realizando en numerosas partes del mundo durante muchos años. En países altamente industrializados, son cada vez más frecuentes los problemas que se presentan para conseguir un abastecimiento de agua adecuado así como el vertido de las aguas residuales municipales e industriales. En países en vías de desarrollo, especialmente en los situados en zonas áridas del mundo, hay una necesidad de desarrollar métodos económicos y sencillos tanto para conseguir nuevas fuentes de abastecimiento como para proteger las fuentes disponibles frente a la contaminación. A pesar de que las fuentes de abastecimiento en los Estados Unidos de América son suficientes, en término medio, para satisfacer las exigencias de todos los usos posibles, ciertas áreas o regiones tienen problemas importantes de abastecimiento de agua



Figura 1. Areas de los Estados Unidos de América con escasez de agua en el año 2000. Los problemas de abastecimiento de agua comprenden la escasez de agua debida a sistemas de distribución inadecuados, las extracciones excesivas de aguas subterráneas y la degradación de la calidad del agua tanto de fuentes de abastecimiento superficiales como subterráneas.

como indica la figura 1. Entre estos problemas cabe señalar la escasez de agua debido a sistemas de distribución inadecuados, las extracciones excesivas de aguas subterráneas, y la degradación de la calidad del agua tanto en fuentes de abastecimiento superficiales como subterráneas (1, 2, 3). A medida que la demanda de agua crece, la regeneración y reutilización de aguas residuales se convierte en una fuente cada vez más importante para satisfacer una parte de esa demanda. Si se tiene en cuenta que la regeneración de aguas residuales y el uso planificado del agua regenerada están estrechamente relacionados con las fuentes naturales de abastecimiento de una región, los proyectos más significativos de reutilización de aguas residuales se llevan a cabo normalmente en las zonas del país o del mundo con escasez de agua.

"Regeneración de aguas residuales" es el proceso de tratamiento de las aguas residuales que las convierte en reutilizables, y "reutilización de aguas" consiste en emplear dichas aguas para una variedad de aplicaciones. Además, la reutilización de una agua implica la existencia de una tubería, o de otro medio de conducción, que permita el suministro del agua regenerada. La reutilización indirecta, a través del vertido de un efluente a una masa de agua receptora para su asimilación y posterior extracción, tiene una importancia incontestable, pero no constituye reutilización planificada. En contraposición a la reutilización directa, el reciclado de aguas residuales implica únicamente un uso o usuario y el efluente del usuario es recogido e incorporado de nuevo al proceso de utilización. En este contexto, la recirculación de aguas residuales se aplica predominantemente en industrias tales como la de generación de electricidad, la manufacturera y la minera.

EVALUACION DE LOS RECURSOS DE AGUA Y REUTILIZACION DE AGUAS RESIDUALES

El consumo de agua ha aumentado rápida y significativamente a lo largo de las últimas décadas. Durante el periodo de 25 años anterior al 1980, el consumo de aguas naturales en los Estados Unidos se incrementó en un 175 % aproximadamente. Las previsiones establecidas

para el periodo de 1975 a 2000 oscilan entre un valor máximo de un incremento de cuatro veces los caudales extraídos y un valor mínimo de un ligero descenso de los caudales correspondientes a 1975 (1). Los aumentos del coste de las exploraciones hidráulicas, las preocupaciones ambientales, y la creciente filosofía conservacionista son los factores esenciales responsables de la tendencia más moderada de algunas previsiones sobre el consumo de agua. La base de datos más recientes sobre la demanda y el consumo de agua ha sido elaborada por el Consejo de Recursos Hidráulicos de los Estados Unidos y fué publicada en 1978 (2). Las cantidades de agua natural necesarias y de vertidos de aguas residuales que aparecen en este informe están resumidas en la Tabla 1. Por otra parte, la Tabla 2 presenta un resumen de los niveles actuales y futuros de reutilización de aguas residuales y de reciclado de aguas industriales en los Estados Unidos de América.

De los resultados contenidos en las Tablas 1 y 2 es posible deducir las siguientes conclusiones:

1. Los datos indican que las necesidades de agua (representado por extracciones) para la agricultura, la generación de energía eléctrica, y los productos manufacturados disminuirán muy probablemente para el año 2000 en un 2, 10 y 62%, respectivamente.
2. Las necesidades de agua para usos municipales y los vertidos de aguas residuales municipales aumentarán en el futuro en un 40 y 29 %, respectivamente.
3. De entre las extracciones de agua presentes y futuras, la agricultura y las plantas de generación eléctrica continuarán consumiendo más del 75 % de toda el agua extraída en los Estados Unidos. El consumo de agua en la industria tiene tres utilidades principales: 1) refrigeración, 2) suministros a calderas de vapor, 3) proceso.
4. Un 70 % aproximadamente de toda el agua consumida por la industria se utiliza para refrigeración. El reciclado del agua en la industria está previsto que aumente sustancialmente para el año 2000. Existen también posibilidades para la

utilización de agua residual municipal regenerada como fuente de abastecimiento de una parte de los caudales necesarios para refrigeración en la industria.

5. El riego agrícola representa el consumo actual y futuro más importante: un 50,9 y 54,5 %, respectivamente, en los Estados Unidos, y aproximadamente $112 \text{ hm}^3/\text{año}$ o, lo que es equivalente, un 85 % del consumo total de agua de California. Existen por tanto numerosas oportunidades para conservar agua y reutilizar aguas residuales. La utilización de aguas regeneradas para riegos de jardinería se está haciendo cada vez más popular en zonas urbanas, y las aguas regeneradas pueden satisfacer una gran parte de esta demanda (4, 5).
6. Los futuros abastecimientos de agua serán muy probablemente más caros que los actuales debido a la situación tan alejada de las nuevas fuentes, de los notables aumentos del coste de la energía y de suministro, de las consideraciones ambientales, y de la competencia creciente sobre las fuentes disponibles.
7. Los datos contenidos en la Tabla 2 permiten situar la reutilización de aguas residuales municipales en una perspectiva a escala nacional. La fracción relativamente pequeña que la reutilización de aguas residuales municipales representó en 1975 permanecerá posiblemente estable en el futuro, a pesar de que está previsto que los caudales reutilizados se multipliquen por siete: de $2,6 \text{ hm}^3/\text{día}$ hasta $18,2 \text{ hm}^3/\text{día}$.
8. Las aguas residuales municipales constituyen una fuente de agua reutilizable, ampliamente distribuida y generalmente disponible. Por consiguiente, en muchas zonas con escasez de agua, la reutilización de aguas residuales y la industria pueden proporcionar excelentes alternativas a la reutilización municipal de agua potable y no potable, que podrían tener un impacto todavía más considerable como suplemento de las fuentes de abastecimiento actuales y futuras. Dos leyes federales de los Estados Unidos de América tienen un impacto significativo tanto en la cantidad y calidad de los vertidos

TABLA 1. Resumen de extracciones de agua y vertidos de aguas residuales en los Estados Unidos de América (2, 3).

Tipo de utilización	Extracciones de agua		Vertidos de aguas residuales	
	1975	2000	1975	2000
	hm ³ /día (%)	hm ³ /día (%)	hm ³ /día (%)	hm ³ /día (%)
Agricultura	699,2 (50,9)	682,5 (54,5)	320,6 (34,6)	272,5 (39,5)
Generación Eléc.	337,3 (24,6)	303,2 (24,2)	332,0 (35,9)	263,1 (38,1)
Manufactura	193,8 (14,1)	74,6 (6,0)	171,1 (18,5)	18,9 (2,7)
Municipal	100,0 (8,0)	140,4 (11,2)	81,0 (8,8)	104,5 (15,1)
Minerales	26,9 (1,9)	42,8 (3,4)	18,5 (2,0)	29,1 (4,2)
Terrenos Públicos	4,5 (0,3)	6,4 (0,5)	0 (0)	0 (0)
Piscifactorías	2,3 (0,2)	2,6 (0,2)	2,3 (0,2)	2,6 (0,4)
Total	1 373,0 (100)	1 252,6 (100)	925,5 (100)	690,7 (100)

TABLA 2. Resumen de la reutilización de aguas residuales y de reciclado de aguas industriales en los Estados Unidos de América (2, 3).

Tipo	Caudales, hm ³ /día		
	1975	1985	2000
Extracción de agua	1 373,0	1 348,7	1 252,6
Recirculación de aguas industriales	526,5	1 463,8	3 276,3
Reutilización de aguas residuales municipales	2,6	7,9	18,2

TABLA 3. Clasificación de los tipos de reutilización de aguas residuales municipales.

1. Riego agrícola y de jardinería.
2. Agua de proceso industrial y de refrigeración.
3. Embalses en instalaciones recreativas.
4. Aumento de caudales circulantes.
5. Recarga de acuíferos.
6. Consumo directo.

de aguas residuales como en las posibilidades de reutilización de aguas: la Ley del Agua Potable de 1974 (PL 93-523) y la Ley del Agua Limpia de 1972 (PL 92-500).

9. La Ley del Agua Potable afecta indirectamente la calidad de las aguas residuales en cuanto que muchos efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales se vierten en cursos de agua que se utilizan a su vez como fuente de agua de abastecimiento.
10. Uno de los objetivos de la Ley del Agua Limpia es promover una mayor utilización de aquellos sistemas que regeneran y reutilizan agua, a través de una reutilización activa de aguas residuales.
11. Además, la Ley del Agua Limpia trata de mejorar la calidad general de las aguas residuales municipales a través de un control más estricto de los vertidos de aguas residuales industriales a las redes de alcantarillado municipales.

Entre las aguas residuales potencialmente disponibles para ser reutilizadas se encuentran los vertidos de municipios, industrias y las aguas de drenaje agrícola. De ellas, las aguas de drenaje agrícola se recogen y reutilizan normalmente sin ningún tratamiento adicional. Las exigencias sobre el grado de tratamiento de las aguas residuales municipales y la fiabilidad del proceso de tratamiento dependen de los tipos de reutilización provistos, como se indica en la Tabla 3. Estos tipos de reutilización de aguas residuales municipales se han clasificado siguiendo un orden decreciente del consumo previsto en el futuro.

Entre los factores que afectan la calidad de los efluentes de aguas residuales municipales pueden citarse:

1. La calidad del agua de abastecimiento (especialmente la materia disuelta total).
2. El consumo medio de agua, l/hab.día.
3. La cantidad y calidad de los vertidos de aguas residuales industriales.

4. La infiltración y descargas de agua en la red de alcantarillado.

5. El tipo de sistema de tratamiento de aguas residuales.

Las concentraciones típicas de un efluente secundario municipal son generalmente inferiores a los niveles máximos de contaminante (NMC) establecidos por las normas de calidad de compuestos químicos orgánicos e inorgánicos contenidos en la Reglamentación del Agua Potable. No obstante, las sustancias orgánicas presentes en un agua residual, medidas en términos de color, espuma, y olor, exceden las normas de calidad. A pesar de que los NMC orgánicos no especifican límites concretos para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO), o el carbono orgánico total (COT), las concentraciones de estos parámetros orgánicos son mucho más elevadas en las aguas residuales municipales que en las aguas naturales.

METODOLOGIA PARA PLANIFICAR LA REUTILIZACION DE AGUA

Hay diversos factores que afectan la puesta en práctica de los proyectos de regeneración y reutilización de aguas residuales municipales; en general, el ímpetu para la reutilización de aguas proviene de cuatro motivaciones:

1. La disponibilidad de efluentes de buena calidad.
2. El coste creciente de los aprovechamientos de aguas naturales.
3. El deseo de establecer una planificación global de los recursos hidráulicos, en la que se incluyan la conservación del agua y la reutilización de aguas residuales.
4. El deseo de evitar normas más restrictivas de lucha contra la contaminación de las aguas, tales como la necesidad de construir plantas de tratamiento avanzado de aguas residuales.

Entre los factores generales que afectan la decisión de reutilizar las aguas residuales hay que señalar: 1) las condiciones locales y regionales del abastecimiento de agua, 2) las exigencias de calidad del agua correspondientes al tipo de reutilización que se pretende,

3) las instalaciones de tratamiento de aguas residuales existentes o previstas, así como las exigencias relativas al nivel de fiabilidad del proceso de tratamiento, 4) la reducción de posibles riesgos sanitarios y la aceptación pública del proyecto, y 5) la financiación de las instalaciones de reutilización del agua, incluyendo la venta del agua regenerada.

Además de la planificación de las instalaciones exigida para el proyecto de lucha contra la contaminación del agua, los proyectos de regeneración y reutilización de aguas residuales requieren tramitaciones adicionales en cuanto que implican beneficios primarios en el campo del abastecimiento de aguas. A pesar de que un proyecto de regeneración y reutilización de aguas residuales puede justificarse en base a que sea la alternativa más económica de una serie de proyectos de lucha contra la contaminación del agua, la mayor parte del esfuerzo que comporta un proyecto de regeneración y reutilización de aguas residuales consiste en la evaluación comercial o en la propia comercialización del agua residual regenerada. Por consiguiente, la planificación de las instalaciones para la regeneración y reutilización de aguas residuales deberá consistir en lo siguiente:

1. Evaluación comercial preliminar.
2. Análisis técnico y económico.
3. Análisis comercial detallado.
4. Plan de ejecución.

Estas fases de la planificación deberán dar lugar al desarrollo del plan de instalaciones recomendado para cada proyecto concreto de regeneración y reutilización de aguas residuales. Durante la consecución de estas fases, las siguientes cuestiones han de plantearse en un sentido amplio (4, 6).

1. ¿Cuáles son los efluentes locales adecuados para reutilización?
2. ¿Cuáles son los mercados locales potenciales para el agua regenerada?
3. ¿Cuáles son los riesgos sanitarios asociados con la reutiliza

ción del agua, y como pueden atenuarse?

4. ¿Cómo puede "encajarse" la reutilización de aguas residuales dentro de la utilización presente y futura de los recursos hidráulicos de la región?
5. ¿Cuáles son los costes actuales y previstos del agua para el usuario de la región?
6. ¿Qué leyes o normativas actuales o propuestas afectan las posibilidades de reutilización de aguas residuales en la región?
7. ¿Qué organismos locales, estatales o federales han de examinar y aprobar la puesta en marcha del proyecto de regeneración y reutilización de aguas residuales?
8. ¿Cuáles son las responsabilidades legales de un abastecedor de agua regenerada?
9. ¿Cuáles son las fuentes de financiación disponibles para llevar a cabo el proyecto de reutilización de aguas residuales en la región?
10. ¿Qué tipo de proyecto de regeneración y reutilización de aguas residuales despertará el interés y el apoyo del público en la región?

La Tabla 4 resume los aspectos más importantes a tener en cuenta respecto a los elementos esenciales considerados previamente de la planificación de la regeneración y reutilización de aguas residuales.

ANALISIS ECONOMICO Y FINANCIERO

Una equivocación que se comete con frecuencia cuando se planifica la reutilización de aguas residuales es suponer que el agua regenerada constituye una nueva fuente de agua de bajo costo. En general, esta hipótesis sólo se confirma cuando las instalaciones de regeneración de aguas residuales están convenientemente ubicadas en las proximidades de grandes usuarios industriales o agrícolas, y cuando no es

TABLA 4. Aspectos a tener en cuenta en la planificación de la regeneración y reutilización de aguas residuales.

I. Evaluación Comercial/Informe de Viabilidad.

1. Encuesta de posibles usuarios.
2. Exigencias de la calidad del agua y de la reutilización.
3. Estimación de los costes futuros del agua natural: (Base de datos: posibles usos concretos, cantidad, duración de las necesidades, calidad necesaria del agua, exigencias de fiabilidad, inversiones necesarias para aceptar el agua regenerada, período de amortización deseado y tasa de financiación, economía que se pretende conseguir a través de la utilización de agua regenerada, y planes para el desarrollo de las tierras o el abandono de las actividades agrícolas.
4. Informe de Viabilidad
(Base de datos: límites de la zona de estudio y mapas topográficos, zonas de influencia de los organismos competentes en materia de aguas y aguas residuales, zonas de precios del agua en alta y en baja, límites físicos de los acuíferos subterráneos, principales cursos del agua, aguas receptoras y tablas resumen de datos y posibles usuarios del agua regenerada).

II. Análisis Técnico y Económico.

1. Características de la zona de estudio.
2. Instalaciones y características del abastecimiento de agua.
3. Instalaciones y características del tratamiento de aguas residuales.
4. Exigencias de tratamiento para el vertido y la reutilización.
5. Posibilidades de reutilización de las aguas.
6. Viabilidad de la regeneración de las aguas residuales.
7. Viabilidad de la regeneración y reutilización de las aguas residuales.
(Base de datos: fuentes y disponibilidad de aguas naturales, estructura de precios y comparación con el del agua regenerada, exigencias normativas, futuros cambios en el mercado, y evaluación institucional y de los derechos de agua).

III. Análisis de Mercado Detallado/Informe del Proyecto.

1. Descripción de la metodología de evaluación del mercado.
2. Descripción de todos los usuarios o tipos de usuarios potenciales.
3. Definición de zonas de influencia lógicas del servicio.
4. Hipótesis de planificación y proyecto.
5. Tratamiento de aguas residuales y alternativa.
6. Calidad del agua exigida por los posibles usuarios.
7. Emplazamiento de conducciones y alternativas.
8. Mercados alternativos de reutilización de aguas.
9. Emplazamiento de depósitos reguladores y capacidad.
10. Plan recomendado.
11. Plan financiero y programa de ingresos.

necesario un tratamiento adicional de las aguas residuales. El sistema de distribución del agua regenerada constituye el coste principal de la mayoría de los proyectos de reutilización propuestos. Los costes directos correspondientes a la distribución y utilización del agua regenerada son con frecuencia superiores a los ingresos generados por su venta.

Datos recientes de California (8) indican que es necesario realizar una inversión media aproximada de 3 millones de dólares para obtener un caudal de 1,23 hm³/año de agua regenerada disponible para su reutilización. Suponiendo un período de amortización de 20 años y una tasa de interés del 9 %, el coste de amortización del agua regenerada se aproxima a 0,25 dólares el metro cúbico, sin incluir los costes de explotación y mantenimiento.

Cuando se trata de cuantificar los costes y los valores a tener en cuenta para la evaluación de los proyectos de regeneración y reutilización de aguas residuales, hay que hacer una distinción muy clara entre el análisis económico y el análisis financiero. El análisis económico se centra en determinar el máximo valor que podría obtenerse del recurso en un uso alternativo, calculado en su valor actual. Por otra parte, el análisis financiero se basa en establecer el valor comercial de los bienes y servicios en el momento de la venta, incluyendo cualquier subsidio o transferencia monetaria que pueda existir. Mientras que el análisis económico evalúa los proyectos de regeneración y reutilización de aguas residuales en el contexto de los impactos sobre la sociedad, los análisis financieros se centran por el contrario en las posibilidades locales de obtener dinero para pagar el proyecto, a partir de las ganancias del propio proyecto, de las ayudas gubernativas, de los préstamos y de las emisiones de bonos. Ambos enfoques son por tanto necesarios. Sin embargo, solamente aquellos proyectos de regeneración y reutilización de aguas residuales que sean viables desde el punto de vista económico deberán tenerse en cuenta para un análisis financiero.

Uno de los aspectos críticos que se presentan durante la evaluación de los proyectos de regeneración y reutilización de aguas residuales es valorar comparativamente los beneficios sociales derivados de

realización de tales proyectos respecto a los que se obtendrían con otros proyectos de aducción de aguas naturales. Además, es necesario realizar un examen de las fuentes y usos de los recursos económicos en cada momento, para determinar si los proyectos de regeneración y reutilización de aguas residuales son factibles financieramente. Existe solvencia financiera cuando se dispone de fondos suficientes para hacerse cargo de los costes de construcción, explotación, mantenimiento y de servicios financieros. Por consiguiente, un análisis de viabilidad financiera consiste en comparar el coste monetario de construir y explotar el proyecto con los fondos generados a través de las contribuciones de los usuarios y con los gastos correspondientes de préstamos, bonos y organismos de la administración.

La cantidad total de ingresos proporcionados por los usuarios del agua residual regenerada depende del nivel real y de la estructura de los gastos asociados a las medidas de lucha contra la contaminación y al agua residual regenerada, así como de la demanda total de cada uno de estos servicios. La evaluación monetaria sigue los tres pasos consecutivos siguientes a fin de facilitar la selección de la alternativa óptima del proyecto de gestión y reutilización de aguas residuales:

1. Se determinan los costes de construcción y explotación de cada alternativa.
2. Se comparan los costos y beneficios netos de todas las alternativas del proyecto por medio de un análisis económico destinado a establecer el beneficio monetario total para la sociedad de cada alternativa.
3. Se comparan los costes monetarios de construir y explotar el proyecto con las fuentes potenciales de dinero, a fin de determinar si el proyecto de regeneración y reutilización es solvente financieramente.

Además, los precios del agua residual regenerada han de establecerse de modo que proporcionen unas ganancias iguales, al menos, a los costes marginales de suministrar el agua residual regenerada a cada usuario, con objeto de asegurar un uso eficaz de la misma y evitar su despilfarro. A fin de proporcionar unos incentivos máximos al

usuario de agua residual regenerada, aún manteniendo la rentabilidad económica, la política de precios ideal ha de situarse entre el precio del agua potable y el precio necesario para asegurar la recuperación del coste (7, 9).

A pesar de que los proyectos de regeneración y reutilización de agua residual pueden ser económicamente justificables, los costes locales de suministrar agua residual regenerada pueden llegar a ser superiores a los del agua natural. Si a los usuarios del agua residual regenerada se les exige que proporcionen todos los ingresos necesarios para el proyecto, éste puede resultar inviable financieramente.

RESUMEN Y CONCLUSION

Este trabajo ha presentado una visión de conjunto de los aspectos de planificación y desarrollo de los proyectos de regeneración y reutilización de aguas residuales. Se ha hecho una distinción entre la reutilización directa y planificada de agua residual regenerada y la reutilización indirecta y accidental de la misma. La planificación de las instalaciones que conllevan unos beneficios primarios en el campo del abastecimiento de aguas requiere además todo un proceso de planificación de las medidas de lucha contra la contaminación del agua. La mayor parte del esfuerzo necesario para la elaboración de los proyectos de regeneración y reutilización de aguas residuales se centra en la evaluación comercial del agua residual regenerada, como punto de partida del desarrollo de las instalaciones.

Cuando se evalúan los proyectos de regeneración y reutilización de aguas residuales, debe hacerse una distinción clara entre el análisis económico y el análisis financiero. Por otra parte, la discusión realizada sobre las políticas de precios del agua residual regenerada ha permitido concluir que el precio del agua residual regenerada ha de situarse entre el precio del agua potable y el coste necesario para asegurar una recuperación de los costes del proyecto de regeneración y reutilización del agua residual.

REFERENCIAS

1. Viessman, W., Jr., and C. Welty, Water Management, Technology and Institutions, p.4, Harper and Row, Publishers, New York, 1985.
2. "The Nation's Water Resources, The Second National Water Assessment", U.S. Water Resources Council, Washington, D.C. (December 1978).
3. Culp/Wesner/Culp, "Water Reuse and Recycling", Vol. 1, Office of Water Research and Technology, U.S. Department of the Interior, Washington, D.C. (July 1979).
4. Asano, T. and R.S. Madancy, "Water Reclamation Efforts in the United States," in Middlebrooks, E.J., ed., Water Reuse, (Chapter 12, pp. 277-291), Ann Arbor Science Publishers Inc. (1982).
5. Pettygrove, G.S. and T. Asano (ed.), Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater - A Guidance Manual. Report No. 84-1 wr, California State Water Resources Control Board, Sacramento (July 1984).
6. Water Reuse, Manual of Practice SM-3, Water Pollution Control Federation, Washington, D.C. (1983).
7. Asano, T., ed., Artificial Recharge of Groundwater, Butterworth Publishers, Stoneham, Massachusetts (1985).
8. Johnson, L., Personal communication, Office of Water Recycling, California State Water Resources Control Board, Sacramento (June, 1985).
9. State of California, Interim Guidelines for Economic and Financial Analyses on Water Reclamation Projects, Prepared by Ernst and Ernst, California State Water Resources Control Board, Sacramento (February, 1979).

POSSIBILITATS DE LA REUTILITZACIO AGRICOLA
ELS CASOS DE REUS I DE LA COSTA BRAVA

M. Salgot, C. Vidal i J. Cardus

POSSIBILITATS DE REUTILITZACIO AGRICOLA
ELS CASOS DE REUS I DE LA COSTA BRAVA

M. Salgot, C. Vidal i J. Cardús
Departament d'Edafologia i Sanitat Ambiental
Facultat de Farmàcia
Universitat de Barcelona

INTRODUCCIO

Els projectes de l'estudi de la reutilització d'aigües residuals depurades en el Departament d'Edafologia i Sanitat Ambiental de la Facultat de Farmàcia es plantejaren inicialment en tres fases:

La primera fou de coneixemen del marc físic en que calia desenvolupar els futurs treballs, i també d'establiment de metodologies.

La segona, en la que es treballa actualment, consisteix en els estudis d'aplicació a escala de laboratori de les aigües al sistema sòl/planta.

La tercera part, actualment en fase de planificació, consistirà en l'estudi de les aplicacions a escala i temps reals.

Tot seguit, detallarem aquestes fases.

ESTUDI DE LES AIGÜES RESIDUALS

La construcció de les plantes de tractament d'aigües residuals començà amb força a Catalunya durant el decenni de 1970 a 1980. Un cop les plantes iniciaren un funcionament continu es plantejà la possibilitat d'aprofitar-ne els subproductes, les aigües i els llots, en

en comptes de llençar-los al mar o als abocadors, desaprofitant-ne el valor tan econòmic com ecològic.

L'estudi de les aigües començà per les possibilitats de reutilització que es presenten per a aquest recurs, que com se sap són principalment la reutilització per a usos agrícoles, industrials o municipals; la recàrrega d'aqüífers i els usos en la creació de zones de lleure.

El fet que aquesta recerca es desenvolupés en un Departament d'Edafo-
logia feia pensar, com així fou, que se centraria en la reutilització per a l'ús en sòls (agrari, forestal, etc.).

Els primers passos, malgrat això, foren necessàriament d'estudi global de les aigües depurades, per tal de considerar, en general, l'impacte que aquestes aigües podrien generar en el medi natural. Per altra part, l'anàlisi detallada dels afluents de les depuradores en ús l'any 1979 a la Costa Brava, ens permeté un coneixement més profundit de les possibles variacions estacionals dels paràmetres de control, lògiques en una zona amb un canvi tan accentuat de població al llarg de l'any, i també la reducció del nombre d'anàlisis necessàries per a un control adient.

L'examen dels nivells mitjans dels paràmetres controlats (vegeu quadre 1) ens condueix a les següents consideracions:

1. Els nivells de nutrients que encara conserven aquestes aigües després de la depuració, les fa aprofitables per a l'ús com a aigües de rec, amb les precaucions sanitàries adients.
2. Els nivells de contaminants que encara conserven, fa que calgui considerar amb precaució la possibilitat de reutilitzar-les per la recàrrega d'aqüífers.

El que és força clar és que en un país amb escassetat crònica d'aigua, no té cap mena de sentit vessar al mar o a qualsevol altre punt unes aigües que ha costat força diners posar a l'abast del consumidor. La posició més lògica és tornar-les a fer servir, si més no en altres usos també necessaris, de forma que s'alliberin cabdals que poden ser utilitzats per al consum com a aigua potable.

Un cop fet l'estudi inicial, es pogué veure que calia una recerca posterior en aspectes concrets, per tal d'assolir un coneixement

més aprofundit sobre el tema; aquest fou el cas de les recerques posteriors que es desenvoluparen sobre salinitat i metalls pesants, les quals encara continuen i de les que donarem algunes dades més endavant.

La dispersió geogràfica de les plantes de la Costa Brava -des de Blanes fins a Port Bou- i per tant la font diferent de les aigües d'abastament, fa que determinades característiques no depenents dels processos de depuració canviïn bastant entre plantes. Un dels altres factors que cal considerar és la relació entre la capacitat teòrica de depuració de la planta i el nombre de persones que realment la fan servir. L'estacionalitat de la població servida ha obligat a fer dissenys de planta amb capacitat diferenciada de funcionament entre les èpoques de cabdal màxim d'aigües residuals i les de mínim. De fet, les plantes treballen amb dos cicles diferents, el d'estiu i el d'hivern.

Un dels treballs acabats darrerament i que fa referència a la salinitat, ens ha permès de demostrar la presència d'aigua de mar en l'efluent que arriba a determinades plantes depuradores. El fet que les antigues xarxes de clavegueres anessin a parar a mar, que s'hagin aprofitat, i que durant l'hivern vagin relativament buides, permet quan hi ha determinades condicions meteorològiques que les aigües de mar entrin dins la xarxa. Les plantes depuradores pràcticament no actuen en la salinitat de les aigües residuals, per la qual cosa l'efluent té un grau de salinitat que fa pràcticament impossible la seva reutilització.

Els metalls pesants presenten una problemàtica particularment diferent. El risc teòric d'aquests elements es presenta en la relació amb la possible acumulació a la cadena tròfica. Cal considerar la seva gran afinitat per la matèria orgànica i per determinats productes complexants, tots ells de descomposició lenta en els sòls. Per això la problemàtica que poden presentar és sempre, o gairebé sempre, a llarg termini.

Creiem també que cal fer esment de les característiques microbiològiques de les aigües residuals depurades, si més no, des del punt de vista sanitari. Malgrat la depuració, hi resta encara un gran

nombre de microorganismes de tot tipus, la qual cosa fa imprescindible la cloració dels afluents per a la major part d'usos posteriors que es vulguin donar a les aigües. Els nostres estudis en les plantes de la Costa Brava i en la de Castelldefels confirmaren aquest fet. De tota manera, i encara que es practiqui la cloració, hi ha certs usos que resten limitats i determinades mesures que cal prendre per tal d'evitar la contaminació dels vegetals regats amb aquestes aigües i la possible formació d'aerosols.

En els quadres 2, 3 i 4 es detallen alguns dels resultats obtinguts pel que fa a conductivitat, metalls pesants i microbiologia de les aigües residuals depurades, i en el cas de la conductivitat també de les aigües d'abastament.

RELACIO AIGÜES DEPURADES -SOL -PLANTA

La presència en les aigües residuals depurades de certs elements o compostos que podrien afectar negativament l'ambient, ens va fer pensar en la possibilitat de fer estudis de laboratori abans de passar a les experiències de camp, ja que l'impacte d'aquestes aigües emprades pel rec podia ser negatiu i afectar la credibilitat de reutilitzacions posteriors.

En la literatura especialitzada es descriu l'ús de lisímetres per als estudis previs de factibilitat d'aplicació d'aigües residuals en els sòls.

Tal com és sabut, hi ha força tipus de lisímetres, l'ús d'algun dels quals demana grans superfícies i una abundor de medis materials que resta fora de l'abast de la major part d'experimentadors. La nostra idea fou posar a punt un mètode que amb una despesa relativament reduïda permetés de fer experiències amb un nombre suficient de repeticions per que fossin estadísticament vàlides. Una de les altres condicions necessàries era que l'experiència pogués ser extrapolable a altres circumstàncies en temps i espai reals.

Tot això ens feu decidir l'ús de les denominades columnes lisimètriques. Una columna lisimètrica no és altra cosa que un cilindre de diàmetre i longitud determinats fet d'un material adient i on s'in-

corpora un cert volum de sòl. El material que ferem servir fou "plexiglàs" transparent, ja que ens permetia veure si hi havia camins preferencials en la percolació de les aigües i al mateix temps comprovar el desenvolupament de les arrels de la vegetació que es decidí plantar en els lisímetres. Es va fer servir "rye-grass". L'avantatge d'aquest tipus de vegetació és que es pot tallar tot sovint i això permet tenir material vegetal per a fer estudis de bioacumulació de metalls o d'altres compostos.

Pel que fa a les dimensions i estructura dels lisímetres o columnes lisimètriques emprades podeu veure l'esquema 1. Cal esmentar que per tal de que no creïessin les algues en l'interior de les columnes, aquestes foren recobertes de làmines de material aïllant, el qual, al mateix temps protegia de la calor.

La incorporació de vegetació a les columnes lisimètriques afavoreix una similitut màxima amb les condicions reals de l'aplicació, en fer els fenòmens d'evapotranspiració i d'assimilació de nutrients més ajustats a la realitat.

L'experiència es desenvolupà amb sòls, prèviament estudiats i classificats, de la zona de Reus i amb aigües d'abastament i residuals depurades de la mateixa ciutat. Les proves en blanc es feren, òbviament, amb lisímetres idèntics amb el mateix sòl, regats amb les aigües d'abastament en comptes de les aigües residuals depurades. En l'esquema 2 podeu veure el plantejament de l'experiència i en el quadre 5 un avanç dels resultats obtinguts al cap d'un any d'experimentació. A . . . hores d'ara l'experiment continua, i la nostra intenció és extreure els sòls de l'interior de les columnes al cap de dos anys i mig d'experimentació i estudiar-los en relació amb les seves característiques inicials. Durant aquest període s'hauran controlat les aigües de rec, els percolats i l'herba tallada quan assoleix una certa alçada.

La dificultat més gran que es va presentar fou la introducció de sòl en les columnes sense alterar-ne l'estructura; el problema se solucionà com podeu veure en l'esquema 3.

El creixement de la vegetació fou molt més considerable en les columnes regades amb aigua residual depurada que en les regades amb aigua

d'abastament. Per altra part s'observà una influència clara de la vegetació i el sòl en els constinguts de diferents elements i en la salinitat de les aigües que percolen dels lisímetres.

ESTUDIS DE CAMP

Freveiem, un cop obtinguts els resultats de les proves esmentades, fer un tercer cicle d'experiències. Aquestes consistirien en construir uns nous lisímetres, fer-los servir tot un any i, en aquest moment, començar experiències de camp amb els matixos sòls. D'aquesta forma s'aconseguiria poder preveure amb un any de temps els possibles problemes de les proves de camp.

CONCLUSIONS

Hem deduit dels nostres treballs que:

1. L'aplicació de les aigües residuals depurades de la Costa Brava i de Reus als sòls com a aigües de rec, pot ésser positiva, sempre que es realitzi amb els controls adients.
2. Fóra convenient solucionar els problemes de salinitat de certs afluents abans de pensar en una reutilització d'aquestes aigües.
3. L'ús de lisímetres permet fer prediccions dels problemes que poden presentar-se en la reutilització real de les aigües residuals depurades per rec..

AGRAÏMENTS

Els autors desitjen fer constar les facilitats que els han estat concedides pel Consorci de la Costa Brava, els ajuntaments de Reus i Castelldefels i SEARSA per a l'obtenció de mostres.

REFERENCIES

Les dades que apareixen en aquest treball formen part de treballs ja acabats o que s'estan fent en el Departament d'Edafologia i Sanitat Ambiental. En alguns casos les dades encara no han estat publicades. Tot seguit els esmentem:

- "Control sanitario de aguas. Estudio comparativo de métodos analíticos". Tesina de Llicenciatura. M. Abella. Octubre 1980. Publicat a "Circular Farmacéutica". Ayn XL, nº 274, 1982, p. 35.
- "El suelo en la reutilización de aguas residuales. Modelo lisimétrico de estudio". Tesina de Llicenciatura. C. Vidal. 1981.
- "Contribución al estudio de la reutilización de las aguas residuales depuradas". Tesi Doctoral. M. Salgot. 1981.
- "Estudi de la reutilització en els sòls d'aigües residuals depurades". Tesina de Llicenciatura. A. Pascual. 1983. Publicat a "Circular Farmacéutica". 283. 67:100. 1984.
- "Contribución al estudio de la reutilización de las aguas residuales depuradas: Influència en la salinidad". Tesina de Llicenciatura. S. Noguera. 1984. En premsa.
- "El suelo como medio de reutilización de aguas residuales depuradas". M. Salgot, C. Vidal. El Campo nº 95. Julio-Septiembre 1984. p. 208-211.

Quadre nº 1. Valors mitjans. Any 1979 \bar{x} = Valor mitjà
 Aigües residuals depurades de la Costa Brava Màx. = Valor màxim Min. = Valor mínim

	pH unitats de pH			Conductivitat mS/cm			DQO mg/l			DBO mg/l		
	\bar{x}	Màx.	Mín.	\bar{x}	Màx.	Mín.	\bar{x}	Màx.	Mín.	\bar{x}	Màx.	Mín.
BEGUR	7,28	7,50	7,05	1,469	1,815	1,160	324,4	788,2	163,1	31,1	50,0	20,0
BLANES	7,08	7,25	6,85	1,169	1,420	0,950	356,6	658,5	128,3	22,1	36,0	13,0
CADAQUES	7,27	7,40	7,10	2,901	4,300	1,795	299,3	684,1	57,8	43,7	74,0	13,6
COLERA	6,83	7,00	6,60	0,442	0,850	0,280	409,1	769,7	93,6	35,0	79,6	8,0
L'ESTARTIT	7,37	7,80	7,05	5,998	9,500	4,050	608,2	1496,7	49,2	39,8	54,2	21,0
LLANÇA	7,08	7,35	6,80	1,047	1,345	0,700	499,6	1050,5	120,0	36,5	77,0	4,0
PORTBOU	7,00	7,20	6,80	0,742	1,100	0,555	454,3	903,5	158,5	52,2	121,5	20,8
PORT DE LA S.	6,96	7,30	6,70	0,899	1,440	0,650	357,6	823,6	114,9	35,6	56,0	18,0
ROSES	7,15	7,40	7,00	9,368	17,750	5,200	339,4	810,6	161,7	26,8	50,0	14,0

	Clorurs mg/l			Nitrats mg/l			Ortofosfat mg/l			Sodio mg/l		
	\bar{x}	Màx.	Mín.	\bar{x}	Màx.	Mín.	\bar{x}	Màx.	Mín.	\bar{x}	Màx.	Mín.
BEGUR	343,9	397,1	304,5	56,0	98,2	30,6	40,8	52,8	31,0	601,8	737,5	405,0
BLANES	146,7	221,9	116,2	50,6	63,5	39,4	25,4	34,7	18,6	235,4	382,1	194,5
CADAQUES	687,1	1075,8	526,9	44,1	90,0	29,9	29,9	43,5	16,3	820,9	1350,0	642,5
COLERA	55,1	76,3	41,6	34,5	52,5	16,8	10,9	29,5	2,1	70,2	97,0	53,5
L'ESTARTIT	1486,1	2602,4	1081,6	48,4	62,1	33,8	13,8	32,0	4,1	2157,5	5400,0	1225,0
LLANÇA	138,0	318,1	69,1	68,1	91,1	40,0	27,5	41,8	12,2	276,2	687,0	83,0
PORTBOU	72,6	110,9	54,2	58,4	80,3	33,5	23,2	54,0	13,3	120,6	375,0	65,0
PORT DE LA S.	110,0	225,9	86,5	56,9	78,0	43,9	21,9	41,7	11,1	175,8	517,5	77,5
ROSES	1960,3	3612,4	1181,1	91,5	115,4	56,6	14,1	45,0	1,4	2849,7	7200,0	1500,0

QUADRE nº 4. Qualitat microbiològica de les aigües residuals depurades de Castelldefels (Barcelona). Any 1980.

Data	CT	CF
05/5	11,2	4,8
14/5	91,6	18,3
21/5	47,6	5,4
28/5	75,6	8,1
02/6	69,5	27,6
04/6	40,3	31,0
11/6	43,3	35,3
16/6	54,6	31,5
18/6	31,0	24,3
25/6	25,0	7,3
07/7	28,3	21,0
09/7	15,5	--
14/7	32,0	19,3
16/7	37,5	22,0
22/7	63,3	33,0
30/7	50,0	31,6
\bar{x}	44,76	21,37
s	22,07	-10,67

Mostres no clorades. Dades en nº de microorganismes $\times 10^6$. Mitjanes de tres determinacions.

CT = coliformes totals. CF = coliformes fecals.

ESQUEMA 2. PLANTEJAMENT DE L'EXPERIENCIA D'APLICACIO D'AIGÜES
RESIDUALS DEPURADES ALS LISIMETRES

Tipus de sòls	SOL 1	SOL 2
Tractaments		
Aigua d'abastament.	I_i	III_i
Aigua residual depurada	II_i	IV_i

I = Sòl 1 regat amb aigua d'abastament.

II = Sòl 2 regat amb aigua d'abastament.

III = Sòl 1 regat amb aigua residual depurada.

IV = Sòl 2 regat amb aigua residual depurada.

i = 1, 2, 3, 4 (quatre repeticions).

Total = 16 columnes lisimètriques.

2 tractaments : aigua d'abastament, i
aigua residual depurada.

QUADRE nº 3. CONCENTRACIONS DE Fe, Mn I Zn. ANY 1979

(1) Mostra tractada amb 5 al HNO₃ conc/20 ml mostra amb conservador.

(2) Mostra sense tractament (excepte conservador).

- = Nivells per sota del límit de detecció de l'aparell.

ND = No determinat.

BEGUR	BLANES				CADAQUES				COLERA							
	Data	Fe(1)	Mn(1)	Zn(2)	Data	Fe(1)	Mn(1)	Zn(2)	Data	Fe(1)	Mn(1)	Zn(2)				
21/2	0,31	-	-	0,02	12/3	-	0,15	-	28/2	0,75	-	0,02	19/2	ND	ND	0,03
28/2	0,31	-	-	-	19/3	0,31	0,20	0,01	07/3	0,56	0,10	0,03	26/2	ND	ND	-
07/3	0,31	-	-	-	26/3	0,31	-	0,02	14/3	0,50	-	0,01	05/3	0,38	-	0,03
14/3	0,31	-	-	0,03	02/4	0,38	-	0,01	21/3	0,44	0,10	-	26/3	0,44	0,10	0,01
21/3	0,56	0,15	0,02	0,02	09/4	0,50	-	-	28/3	0,50	-	-	07/5	0,38	-	0,02
28/3	0,44	0,15	-	-	23/4	0,38	-	0,02	25/4	-	0,10	-	14/5	0,44	-	0,03
25/4	0,31	-	-	-	30/4	0,43	0,15	0,01	02/5	0,38	-	-	21/5	0,38	0,10	ND
02/5	0,38	-	-	-	07/5	0,37	-	-	09/5	0,31	-	-	28/5	0,50	0,10	0,02
09/5	0,38	0,15	-	-	14/5	0,38	-	-	30/5	0,44	-	0,02	18/6	0,31	-	0,04
23/5	0,50	-	-	-	18/5	0,38	-	-	06/6	0,38	0,10	-	25/6	0,38	0,10	0,02
30/5	0,38	-	-	0,02	21/5	0,38	0,10	0,02	27/6	0,44	0,10	0,02	09/7	ND	ND	-
06/6	0,56	-	-	-	28/5	0,38	0,20	-	04/7	0,44	0,10	-	18/7	0,38	0,10	0,10
13/6	0,38	-	-	0,01	18/6	0,63	1,45	0,02								
27/6	0,31	-	-	-	25/6	0,31	0,50	-								
04/7	0,38	-	-	-	02/7	0,44	0,15	0,05								
11/7	0,31	-	-	-	16/7	0,38	0,60	0,09								
18/7	0,38	-	-	0,02	30/7	0,44	-	0,02								
					07/8	-	0,10	0,02								
\bar{x}	0,38					0,35	0,20	0,02		0,43				0,40		0,03
S	0,08					0,15	0,36	0,02		0,17				0,05		0,03

L'ESTARTIT				LLANÇA				PORTBOU				PORT DE LA SELVA				ROSES			
Data	Fe(1)	Mn(1)	Zn(2)	Data	Fe(1)	Mn(1)	Zn(2)	Data	Fe(1)	Mn(1)	Zn(2)	Data	Fe(1)	Mn(1)	Zn(2)	Data	Fe(1)	Mn(1)	Zn(2)
21/2	0,94	0,95	-	19/2	0,50	-	ND	05/3	0,56	-	0,01	19/2	0,38	-	-	03/2	0,69	0,15	0,02
28/2	0,38	0,10	0,01	26/2	1,56	-	0,02	12/3	0,56	-	0,03	05/3	0,56	-	0,04	21/2	1,12	0,15	0,01
07/3	0,31	0,80	0,02	12/3	0,38	-	-	26/3	0,75	0,10	0,01	12/3	0,31	-	0,01	28/2	0,63	0,15	-
14/3	0,50	-	0,02	26/3	0,38	-	-	07/5	0,31	-	0,02	26/3	0,31	-	0,01	07/3	0,31	0,10	-
21/3	0,38	0,10	-	07/5	0,44	-	0,03	14/5	0,31	0,40	-	09/4	0,44	0,15	ND	14/3	0,69	0,20	0,03
25/4	1,00	-	-	14/5	0,38	-	-	28/5	0,56	0,15	-	07/5	0,44	-	0,03	21/3	0,75	0,20	-
02/5	0,38	0,15	-	28/5	0,63	0,20	0,42	18/6	0,56	0,10	-	14/5	0,31	-	-	28/3	0,31	0,75	0,01
09/5	0,44	-	0,01	18/6	0,63	-	-	25/6	0,38	-	0,03	28/5	0,44	-	0,03	25/4	1,56	1,15	-
16/5	0,25	-	0,01	25/6	0,44	0,10	0,04	09/7	0,38	0,10	0,07	18/6	0,38	-	0,08	02/5	0,38	-	-
30/5	0,38	-	-	11/7	0,31	0,10	-	18/7	0,38	-	0,04	25/6	0,31	-	0,03	09/5	0,63	0,15	0,01
06/6	0,38	0,70	0,03	18/7	0,63	-	0,04					09/7	0,38	0,10	0,06	16/5	0,50	-	0,04
04/7	0,38	0,20	-									18/7	0,38	0,10	0,05	30/5	0,56	0,10	-
11/7	0,43	0,35	-													02/6	0,31	0,15	-
18/7	0,63															06/6	0,75	0,20	-
																20/6	0,56	-	0,03
																27/6	0,31	-	0,01
																04/7	0,63	-	-
																18/7	0,50	0,25	-

\bar{x} 0,48 0,27

S 0,22 0,33

0,57

0,35

0,47

0,15

0,38

0,07

0,62

0,20

0,31

0,29

QUADRE 2. CONDUCTIVITAT EN AIGÜES RESIDUALS DEPURADES
I AIGÜES D'ABASTAMENT. ANY 1983 Unitats mS/cm

Aab. = Aigües d'abastament.
Efl. = Efluent de depuradora d'aigües residuals.

BEGUR	BLANES			CADAQUES			COLERA			L'ESTARTIT			LLANÇA			PORTBOU		
	Data	Aab.	Efl.	Data	Aab.	Efl.	Data	Aab.	Efl.	Data	Aab.	Efl.	Data	Aab.	Efl.	Data	Aab.	Efl.
11/4	1,20	1,50	1,16	11/4	0,90	2,28	11/4	0,24	0,68	11/4	0,78	6,50	11/4	0,30	0,95	11/4	0,17	0,67
25/4	1,08	1,47	0,43	25/4	1,73	2,28	25/4	0,22	0,67	25/4	0,97	6,50	25/4	0,29	0,95	25/4	0,18	0,66
10/5	1,09	1,50	1,50	09/5	2,90	2,70	09/5	0,23	0,63	09/5	0,75	3,49	09/5	0,29	0,74	10/5	0,19	0,62
25/5	0,97	1,41	1,40	24/5	4,23	4,16	24/5	0,24	0,69	24/5	0,77	3,73	24/5	0,30	1,05	25/5	0,27	0,77
06/6	1,10	1,50	0,68	07/6	0,68	1,78	06/6	0,26	0,75	06/6	--	--	06/6	0,36	1,19	06/6	0,22	0,90
21/6	1,10	1,30	1,37	20/6	3,48	3,09	20/6	0,27	0,67	20/6	1,16	2,90	20/6	0,31	1,05	21/6	0,20	0,85
04/7	1,30	1,80	0,54	04/7	2,85	6,00	04/7	0,34	0,89	04/7	1,36	3,38	04/7	1,35	1,60	04/7	0,23	0,91
18/7	1,40	2,00	1,70	18/7	3,12	3,85	18/7	0,48	1,25	18/7	1,50	3,10	18/7	2,50	3,23	18/7	0,25	1,00
01/8	1,48	2,00	0,73	01/8	4,50	5,50	01/8	0,67	1,45	01/8	1,75	3,40	01/8	8,00	6,20	01/8	0,25	1,20
16/8	1,16	1,69	1,50	16/8	4,00	5,10	16/8	0,80	1,67	16/8	1,60	3,22	16/8	14,00	9,49	16/8	0,24	1,39
29/8	1,29	1,70	1,60	29/8	3,55	4,30	29/8	1,34	1,55	29/8	1,60	3,50	29/8	20,00	7,00	29/8	0,25	1,20
12/9	1,25	1,70	1,35	12/9	2,20	3,45	12/9	---	1,55	12/9	1,57	3,50	12/9	18,80	9,70	12/9	0,60	1,14
26/9	1,29	1,78	1,25	26/9	1,47	3,92	26/9	1,24	1,72	26/9	1,55	3,47	26/9	23,50	9,20	26/9	0,27	1,19
10/10	1,24	1,44	1,14	10/10	2,10	2,55	10/10	1,70	1,70	10/10	0,85	3,25	10/10	2,55	4,50	10/10	1,07	1,65
24/10	1,15	1,50	3,50	24/10	3,10	3,15	24/10	1,53	2,00	24/10	0,80	4,40	24/10	4,70	5,15	24/10	1,70	4,40
07/11	1,12	1,39	1,07	07/11	3,61	4,00	07/11	1,80	1,55	07/11	0,80	4,85	07/11	27,10	9,60	07/11	4,39	3,43
21/11	1,22	1,07	1,35	21/11	4,10	2,40	21/11	0,35	0,65	21/11	0,84	6,00	21/11	0,90	1,99	21/11	0,22	1,93
05/12	1,14	1,32	1,19	05/12	3,78	1,81	05/12	0,26	0,58	05/12	0,78	6,20	05/12	0,26	1,36	05/12	0,22	0,68
19/12	1,21	1,44	1,13	19/12	4,15	13,00	19/12	0,25	0,65	19/12	0,82	5,60	19/12	0,35	1,32	19/12	0,22	0,68
\bar{x}	1,195	1,553	0,647	3,104	4,098	0,679	1,121	1,125	4,277	6,630	4,014	0,586	1,330					
S	0,111	0,738	0,072	0,581	2,443	0,571	0,494	0,376	1,294	9,139	3,460	0,997	0,990					

PORT DE LA SELVA			ROSES			TOSSA			FIGUERES			CASTELLDEFELS			REUS		
Data	Aab.	Efl.	Data	Aab.	Efl.	Data	Aab.	Efl.	Data	Aab.	Efl.	Data	Aab.	Efl.	Data	Aab.	Efl.
11/4	0,32	0,92	11/4	3,75	6,00	12/4	0,43	0,89	11/4	0,30	0,75	11/4	---	---	11/4	0,66	1,52
25/4	0,34	0,90	25/4	2,80	8,40	25/4	0,43	0,80	25/4	0,30	0,83	28/4	6,00	---	25/4	0,53	1,15
09/5	0,33	0,73	09/5	3,18	6,60	09/5	---	0,74	10/5	0,29	0,87	10/5	6,20	---	10/5	1,06	1,20
24/5	0,33	1,03	24/5	3,80	7,00	24/5	0,46	1,17	25/5	0,30	0,75	25/5	5,90	---	25/5	0,87	1,38
06/6	0,38	1,15	06/6	0,23	8,00	07/6	0,48	1,11	06/6	0,32	0,86	07/6	6,50	7,00	06/6	0,94	1,53
20/6	0,34	0,97	20/6	1,63	5,70	20/6	0,47	1,10	21/6	0,31	0,77	22/6	6,30	6,40	21/6	1,14	1,50
04/7	0,38	1,27	04/7	0,67	5,20	04/7	0,72	1,40	04/7	0,35	1,00	06/7	6,50	6,00	04/7	1,25	1,59
18/7	0,42	1,18	18/7	4,24	6,70	18/7	0,57	1,47	18/7	0,36	1,00	19/7	7,50	6,80	18/7	1,45	1,60
01/8	0,45	1,13	01/8	3,42	6,80	01/8	0,60	1,50	01/8	0,38	0,90	02/8	7,50	6,60	02/8	1,10	1,70
16/8	0,44	1,20	16/8	3,80	6,30	16/8	0,55	1,37	16/8	0,34	0,86	16/8	7,00	6,50	16/8	1,30	1,34
29/8	0,52	1,00	29/8	3,30	6,00	29/8	0,60	1,15	23/8	0,35	0,85	29/8	7,50	6,00	29/8	1,30	1,34
12/9	0,49	1,04	12/9	2,65	7,30	12/9	0,73	1,28	12/9	0,34	1,00	13/9	7,70	6,90	12/9	1,25	1,48
26/9	0,49	1,10	26/9	2,19	6,60	26/9	0,61	1,27	26/9	0,32	0,93	27/9	7,50	6,80	26/9	1,06	1,43
10/10	0,50	0,90	10/10	0,64	5,05	10/10	0,60	1,12	10/10	0,34	0,80	11/10	6,80	5,50	10/10	1,12	1,29
24/10	0,47	1,00	24/10	0,56	8,40	24/10	0,58	1,00	24/10	0,32	0,77	25/10	6,80	6,00	24/10	1,20	1,54
07/11	0,52	0,96	07/11	0,57	13,50	07/11	0,60	0,69	07/11	0,32	0,50	08/11	7,30	4,21	15/11	1,25	1,70
21/11	0,53	1,03	21/11	0,60	9,90	21/11	0,63	0,92	21/11	0,35	0,65	22/11	6,00	5,55	21/11	1,29	---
5/12	0,37	0,72	5/12	0,56	9,70	5/12	0,57	0,89	5/12	0,30	0,61	6/12	4,75	4,42	5/12	1,23	---
19/12	0,38	1,18	19/12	0,59	17,80	19/12	0,63	0,95	19/12	0,31	0,79	20/12	5,75	5,10	19/12	1,15	1,60
\bar{x}	0,421	1,022		2,062	7,945		0,570	1,096		0,325	0,815		6,639	5,985		1,116	1,464
S	0,074	0,149		1,447	3,112		0,088	0,244		0,024	0,132		0,796	0,879		0,220	0,161

QUADRE nº 5. Avanç de resultats: anys 1984-85.

Efl. = Aigües residuals depurades.

P.S1 = Percolat dels lisímetres amb sòl 1.

Sòls, aigües d'abastament i aigües residuals depurades de Reus Aab. = Aigües d'abastament.

P.S2 = Percolat dels lisímetres amb sòl 2.

Data	NITRATS mg/l				DQO mg/l				CONDUCTIVITAT MS/cm									
	Efl.	P.S1	P.S2	Aab.	P.S1	P.S2	Aab.	P.S1	Efl.	P.S1	P.S2	Aab.	P.S1	P.S2				
21/3	0,15	0,09	0,10	1,75	2,77	1,57	186,5	44,6	37,4	8,9	16,5	9,5	1,904	0,699	0,784	1,311	0,830	0,611
03/4	0,08	1,26	1,12	0,95	1,42	0,74	149,5	43,7	44,5	3,7	13,2	15,5	1,392	0,964	1,006	0,737	0,923	0,864
17/4	0,14	1,41	1,55	0,70	1,35	0,70	146,1	66,6	37,4	7,7	13,6	19,7	1,855	1,304	0,979	0,710	0,840	0,719
02/5	0,07	1,30	1,15	0,09	0,34	0,19	104,6	39,2	34,9	7,4	7,4	14,2	1,611	1,293	1,176	0,555	0,823	0,724
15/5	0,17	0,25	0,58	1,40	0,84	1,09	72,0	57,2	53,3	14,4	17,8	21,4	1,666	1,450	1,312	1,016	0,945	0,947
29/5	0,05	0,05	0,10	0,32	0,16	0,18	57,1	38,3	35,9	0,0	1,7	11,5	1,500	1,645	1,734	0,588	0,887	0,884
12/6	0,14	0,13	0,13	0,28	0,17	0,20	71,3	86,2	20,1	7,5	22,4	16,8	1,637	2,038	2,482	0,683	0,937	0,904
26/6	0,07	0,08	0,09	0,23	0,11	0,13	51,3	51,0	54,7	0,0	12,7	9,1	1,690	1,875	2,250	0,691	0,886	0,890
10/7	0,07	0,41	1,31	0,15	0,06	0,10	62,0	74,2	46,7	0,0	23,5	14,7	1,608	2,062	2,165	0,672	0,916	0,864
24/7	0,08	1,50	3,77	0,09	0,04	0,11	66,6	57,3	49,9	0,0	16,6	27,7	1,407	2,196	2,193	0,665	0,873	0,802
07/8	0,06	1,54	3,52	0,06	0,03	0,09	58,3	50,6	25,2	7,3	7,2	50,6	1,254	2,498	1,870	0,615	0,931	0,780
21/8	0,07	1,49	2,47	0,06	0,04	0,07	41,7	52,1	33,0	0,0	12,1	10,3	1,400	2,737	1,742	0,650	0,998	0,829
04/9	0,06	1,48	2,32	0,06	0,05	0,05	44,8	52,6	45,0	7,4	13,0	22,5	1,380	2,447	1,712	0,629	0,988	0,827
19/9	0,06	2,13	2,35	0,17	0,18	0,09	51,3	40,1	49,2	0,0	16,5	23,7	1,380	2,182	1,632	0,655	0,931	0,805
02/10	0,04	1,51	1,63	0,02	0,07	0,02	57,1	38,9	38,9	7,1	14,1	19,4	1,330	1,792	1,527	0,598	0,818	0,755
17/10	0,08	1,11	1,54	0,16	0,12	0,07	124,1	58,6	65,4	6,9	15,5	25,9	1,510	1,697	1,640	0,593	0,776	0,765
31/10	0,12	0,26	0,51	1,00	0,37	0,45	153,3	51,3	64,6	6,6	13,2	13,2	1,848	1,764	1,856	1,012	0,955	1,054
13/11	0,08	0,38	0,24	1,10	0,42	0,44	60,4	44,8	49,2	0,0	19,5	16,7	1,554	1,668	1,939	1,012	0,969	1,031
27/11	0,09	0,48	0,38	1,05	0,50	0,47	88,0	47,6	53,1	0,0	18,3	14,6	1,766	1,594	1,799	1,001	0,935	1,013
11/12	0,09	0,14	0,26	1,30	0,65	0,61	77,8	47,5	56,3	0,0	10,5	8,7	1,780	1,583	1,828	1,058	0,974	1,064
28/12	0,08	0,06	0,15	1,60	0,61	0,62	194,9	73,9	75,6	6,7	18,4	16,7	1,756	1,512	1,826	1,033	0,943	1,033
08/1	0,07	0,06	0,09	1,90	0,65	0,69	159,2	79,6	72,0	0,0	11,3	16,0	1,581	1,688	1,902	1,128	1,081	1,165
22/1	0,13	0,09	0,15	1,20	0,72	0,84	149,5	63,0	57,5	7,3	8,3	12,9	1,813	1,848	1,980	1,140	1,085	1,149
06/2	0,15	0,14	0,27	1,15	0,60	0,83	147,7	66,9	66,8	10,9	12,6	12,7	1,973	1,882	1,981	1,120	1,082	1,131
19/2	0,24	0,18	0,21	1,10	0,59	0,74	89,2	61,7	63,4	0,0	10,2	14,5	1,841	1,725	1,809	1,178	1,007	1,054
05/3	0,23	0,27	0,27	1,10	0,59	0,72	140,5	81,8	89,3	0,0	13,8	17,4	1,676	1,951	1,884	0,985	1,087	1,094
26/3	0,23	0,23	0,24	1,40	0,55	0,84	128,4	98,3	96,8	0,0	21,4	16,5	1,762	2,173	2,293	1,188	1,178	1,191
\bar{x}	0,107	0,668	0,981	0,755	0,518	0,468	101,230	56,559	52,448	4,067	14,122	17,496	1,625	1,798	1,752	0,860	0,948	0,924
S	0,057	0,657	1,084	0,610	0,584	0,390	47,329	15,905	18,077	4,344	4,948	8,240	0,197	0,446	0,409	0,232	0,096	0,158

INFLUENCIA DE LES AIGÜES DEPURADES
EN EL RIU RIDAURA (GIRONA)

J. Arnau

INFLUENCIA DE LA PLANTA DEPURADORA DEL
CONSORCIO DE LA COSTA BRAVA EN
LA CONTAMINACION DEL RIO RIDAURA

Dr. J. Arnau, C. Hosta, J. Velayos y E. Serra
Escola Universitària Politècnica de Girona
Universitat Politècnica de Catalunya

INTRODUCCION

El presente estudio ha sido realizado en base al convenio marco firmado el 21 de junio de 1984 entre el Consorcio de la Costa Brava y la Escuela Universitaria Politècnica de Gerona.

OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO

El objetivo del presente estudio era realizar, durante un periodo de cinco meses, un análisis del estado actual y del comportamiento de la zona del río Ridaura, que abarca desde su desembocadura hasta la planta depuradora del Consorcio de la Costa Brava.

Así pues, un equipo técnico con los medios adecuados se han desplazado reiteradamente a la zona, realizando mediciones in situ y recogiendo muestras para su determinación analítica en el laboratorio. Los resultados obtenidos de los análisis han sido tratados informática y gráficamente, para poder redactar las conclusiones y recomendaciones precisas.

Las actuaciones se han concretado en:

1. Análisis físico, químico y microbiológico de las aguas superficiales del río Ridaura, así como medidas hidráulicas.
2. Estudio biológico y microbiológico del aspecto del río.
3. Control del subalveo del Ridaura, analizando diversos pozos de captación.
4. Medida del rendimiento de la planta depuradora en base a diversos parámetros estándar.
5. Análisis de las tierras de las margenes del río, pensando en la compatibilidad del regadio, previa clasificación de las aguas.

Todo esto ha significado realizar más de 1 300 determinaciones puntuales en el laboratorio y 200 medidas in situ, y recorrer cerca de 1 000 km.

SELECCION DE PUNTOS DE MUESTREO

Los puntos de muestreo fueron escogidos en base a criterios técnicos de ajuste al contenido del trabajo, así como de accesibilidad.

- | | | | |
|----------|------|---|---|
| Punto nº | E | : | Entrada Depuradora |
| Punto nº | R-1 | : | Salida de depuradora |
| Punto nº | R-2 | : | Situado a la altura del camping Vall-d'Aro |
| Punto nº | R-3 | : | Desembocadura del Ridaura |
| Punto nº | R-2i | : | Situada en la carretera de Castillo de Aro a S'Agaró. |
| Punto nº | R-3i | : | Situado a 600 m del punto nº R-2 en dirección al mar. |

Los puntos intermedios R-2i y R-3i fueron utilizados en razón del escaso caudal superficial del río a partir de cierta distancia de la estación depuradora.

La Figura 1 muestra la ubicación de los puntos de muestreo considerados en este estudio.

TECNICAS ANALITICAS

Los parámetros de carácter hidráulico, físico, químico, biológico y edafológico se han determinado según los Standard Methods, empleándose para ello instrumental específico entre los que destacan la espectrofotometría de AA y UV-V, entre otros.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Aguas del Río Ridaura

Estas aguas son, prácticamente en su totalidad, efluente de la depuradora municipal, debido a que en el periodo de estudio el río permaneció prácticamente seco.

La calidad de estas aguas es por tanto la propia de un efluente de depuradora, o sea, aguas ricas en nitrógeno y fósforo, sobre todo en el periodo de máxima afluencia turística, regularizándose a partir de octubre-noviembre. De todas maneras, se puede detectar una tendencia rápida a disminuir, en lo que a nitrógeno y fósforo se refiere.

Al final del recorrido, estos parámetros tienden a subir, debido a que el agua se encuentra encharcada, mientras que en el punto 2 el agua discurre normalmente.

A la salida de la depuradora se observa la influencia de la cloración, sobre todo en lo que concierne a la calidad microbiológica, al detectarse la presencia de indicadores de contaminación solamente 3 días de los 11 muestreos realizados. Esto puede atribuirse seguramente a procesos de limpieza de la planta.

Los caudales correspondientes a la estación de muestreo 2 (camping) fueron obtenidos por medición indirecta de velocidad y posterior cálculo de caudal. De modo similar se estimaron los caudales diarios del efluente de la depuradora. Estos datos han sido contrastados con los del Consorcio de la Costa Brava.

Las discrepancias apreciadas son debidas fundamentalmente a dos factores:

TABLA I. VALORES MEDIOS DE LOS PARAMETROS DE CALIDAD CONSIDERADOS EN ESTE ESTUDIO.

PARAMETRO	DIA											
	JUL 05	JUL 18	JUL 26	AGT 16	AGT 22	SET 12	SET 26	OCT 08	OCT 22	NOV 14	NOV 26	
TEMPERATURA °C	0,00	21,83	23,67	23,33	23,00	19,00	19,00	18,50	17,63	15,00	14,25	
CONDUCTIV. mOm/cm	0,00	1 248,33	1 370,00	1 375,00	1 466,67	1 321,67	1 600,00	1 510,00	1 450,00	1 343,33	1 172,50	
OXIG. DISOLT mg/l	0,00	5,77	6,07	4,90	4,70	3,90	2,40	6,35	5,12	3,10	4,35	
CABAL m ³ /seg	0,00	,28	,30	,40	,26	,15	,02	,16	,21	,14	,11	
CLORURS mg/l	6,29	5,84	6,02	6,29	6,73	5,87	5,81	6,98	6,13	7,69	5,83	
SULFATS mg/l	3,99	2,71	3,35	3,38	3,25	3,72	3,21	3,57	4,22	4,02	4,22	
CARBONATS mg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
BICARBONATS mg/l	4,80	4,78	5,19	5,31	5,72	5,08	5,66	6,54	0,00	2,21	2,11	
CALCI mg/l	3,73	4,13	4,51	4,51	4,52	4,40	4,36	4,52	3,22	3,63	3,32	
DURESSA p.p.m.	536,67	301,33	295,33	298,67	301,33	294,67	291,50	310,33	321,33	382,00	0,00	
MAGNESI mg/l	7,01	1,87	1,40	1,48	1,51	1,49	1,47	1,68	3,21	4,01	0,00	
SOLIDS mg/l	37,67	10,33	55,67	17,33	27,33	13,00	5,00	21,67	41,33	27,67	33,25	
SODI mg/l	0,00	6,32	4,96	6,82	7,25	4,76	6,83	8,70	7,89	0,00	6,46	
POTASI mg/l	0,00	,46	,47	,47	,50	,38	,46	,64	,67	0,00	,53	
BOR ppm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
DBO ppm	37,00	8,50	8,42	9,80	10,30	11,25	9,95	24,00	10,33	20,50	9,38	
DQO ppm	155,33	58,77	38,40	50,76	78,04	34,48	28,50	57,00	85,33	63,09	27,28	
PH	7,72	7,77	7,85	7,72	7,76	7,65	7,75	7,73	7,81	7,54	7,61	
FOSFATS p.p.m.	1,62	4,97	9,38	10,23	10,10	7,12	7,89	15,23	14,20	9,93	19,74	
FOSFOR TOTAL p.p.m.	2,35	17,93	23,57	27,37	29,57	34,63	35,10	18,53	16,53	10,43	24,95	
N-AMONIACAL p.p.m.	12,67	17,58	19,67	23,58	31,25	22,27	,65	31,67	,82	17,67	15,25	
N-NITRATSp.p.m.	,38	,65	,88	,78	,73	,60	,67	,16	,12	1,51	22,75	
N-NITRITS p.p.m.	,46	,39	,45	,39	,38	,16	,12	,32	,25	,58	1,53	
N-TOTAL p.p.m.	0,00	0,00	0,00	25,22	30,74	24,73	26,95	36,67	38,23	22,80	13,71	
FERRO p.p.m.	,27	,39	,12	,17	,24	,22	,86	,03	,15	,38	,17	
MANGANES p.p.m.	0,00	,75	,74	,81	,63	,66	,76	,31	0,00	,47	,49	
COLIF. FECALS micr.	0,00	0,00	0,00	1 600,00	5 100,00	2 300,00	2 171,50	40,00	4,00	73 383,33	6 680,00	
COLIF. TOTAL micr.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5 800,00	7 546,50	430,00	237,00	73 700,00	18 030,00	
STREP. FECALS micr.	0,00	0,00	0,00	1 600,00	901,33	496,50	461,50	130,00	35,00	16 106,67	5 013,33	

- a) La captación de agua para regadío efectuada a la salida de la depuradora.
- b) Las filtraciones, tanto a lo largo del curso del Ridaura entre los puntos 1 y 2 como en la propia estación de medida.

La Tabla 1 contiene un resumen de los valores medios de los parámetros de calidad considerados en este estudio.

Afluente y Efluente de la Depuradora

Los cálculos del rendimiento de la estación depuradora, expresados en tanto por ciento de reducción de contaminantes, quedan reflejados en la Tabla 2. De los resultados contenidos en esta Tabla se deducen las siguientes conclusiones:

1. En el mes de noviembre se registró algún problema en la depuración. Un análisis comparativo del contenido de nitrógeno y fósforo en el afluente y efluente de la planta revela que no solamente estos no disminuyen, sino que aumentan, lo cual puede ser debido a un desequilibrio de la masa bacteriana.
2. Un análisis comparativo de los rendimientos obtenidos en periodos más próximos al verano respecto a los obtenidos el mes de noviembre, indica que la planta trabaja mejor en verano (máxima carga) que en invierno, en que tiene que hacerlo con un caudal muy alejado del punto de diseño. Es así mismo posible que los análisis hayan coincidido con el periodo de estabilización, momento en que la planta sufre un cambio brusco de carga contaminante.

Tabla 2. Rendimiento de la planta depuradora

Parámetro	DIA			
	SEPT 26	OCT 22	NOV 13	NOV 29
D.Q.O	98.91	82.71	70.91	87.28
D.B.O.	98.92	97.14	81.76	96.43
SOLIDOS SUSP.	99.67	64.95	64.42	80.45
N.TOTAL	59.32	1.20	-39.29	-61.43

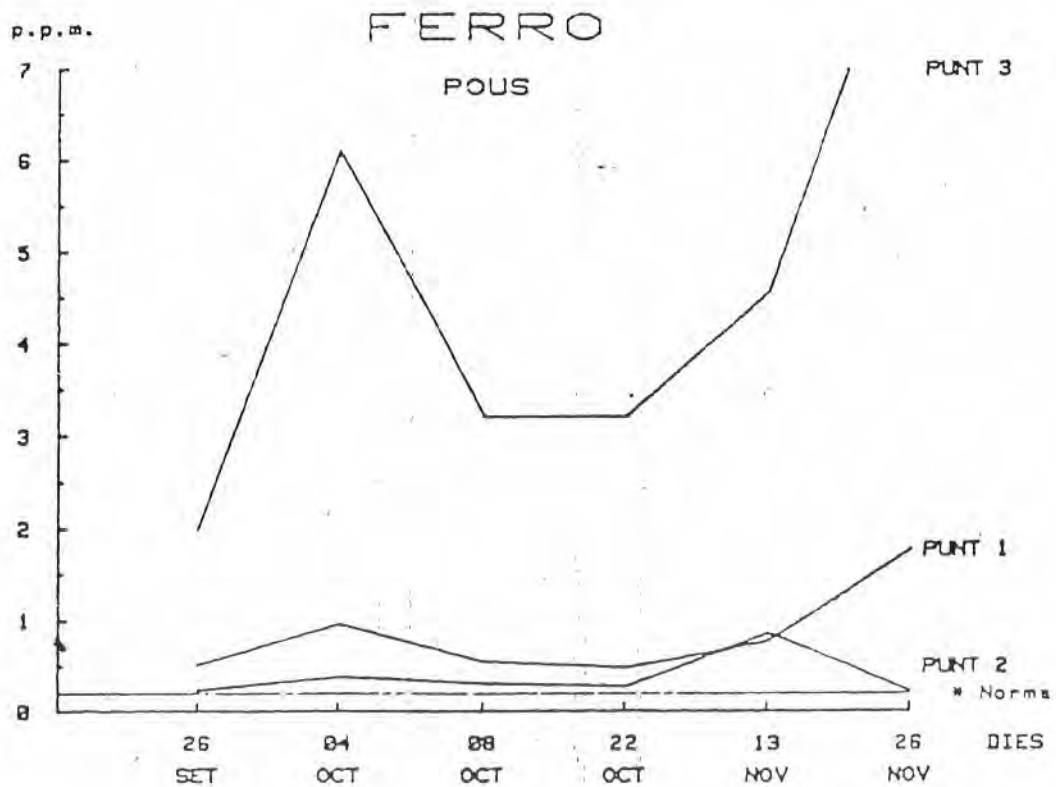
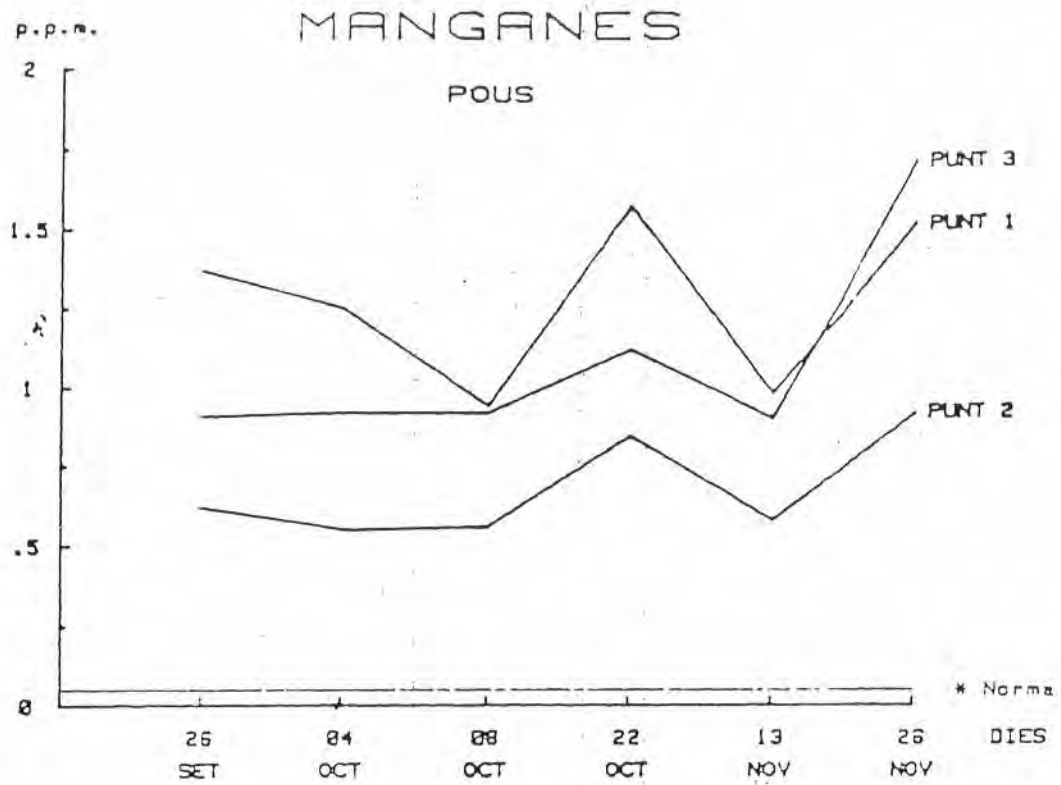
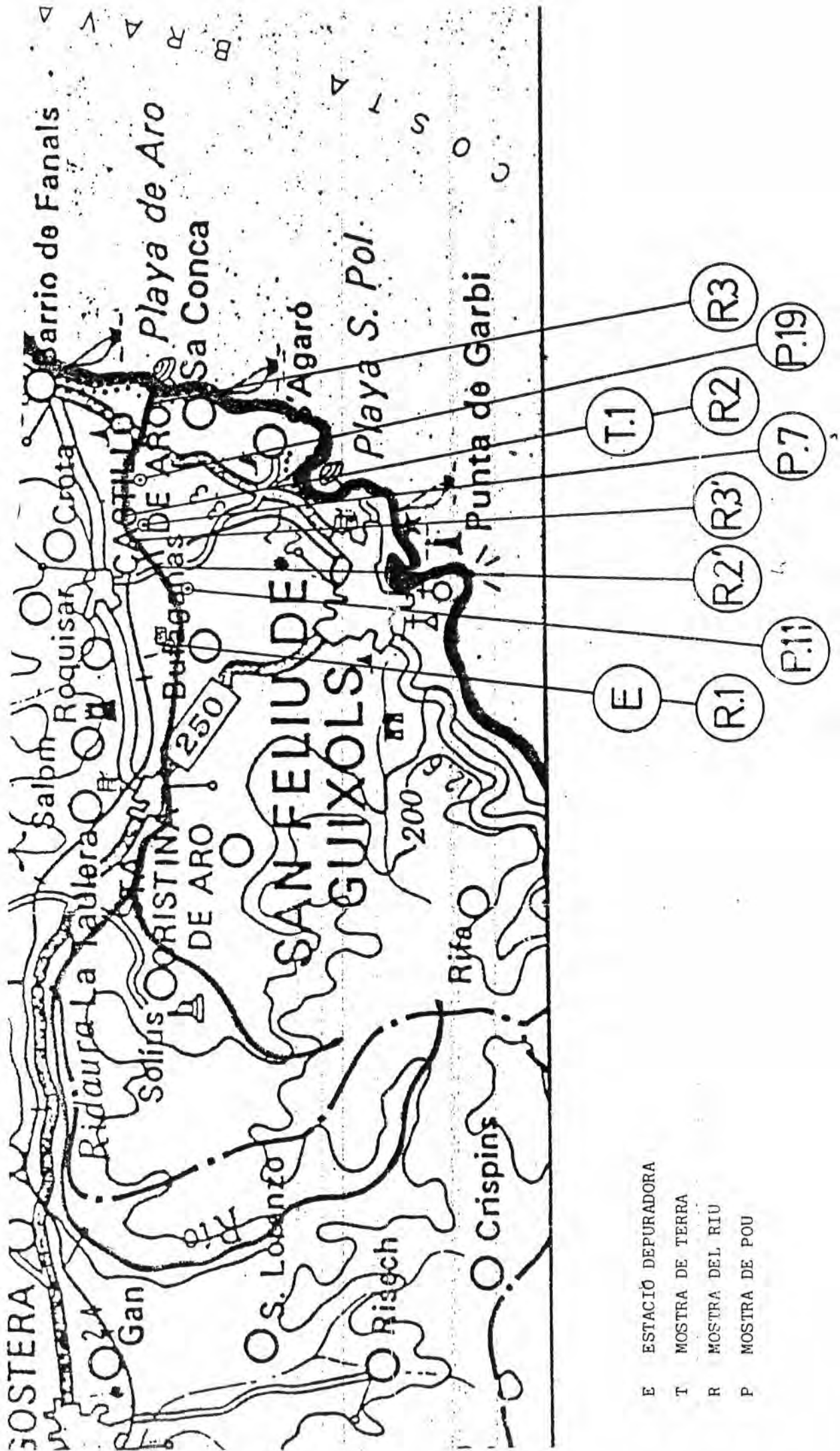


Figura 2. Evolución del contenido de hierro y manganeso en el agua de diferentes pozos.



- E ESTACIÓ DEPURADORA
- T MOSTRA DE TERRA
- R MOSTRA DEL RIU
- P MOSTRA DE POU

Figura 1. Plano de situació de los puntos de muestreo.

TABLA 3. INDICES DE CALIDAD DE LAS AGUAS DEL RIO RIDAURA, CON VISTAS A SU UTILIZACION PARA RIEGO

AGUAS SUBTERRANEAS.: POZOS

Punt	Index de Scott			Index de SAR			Conduct:	US Sal			Relacions								
	Na	.65Cl	.43SO4	Scott	Clas.	Na		Ca	Mg	SAR	Clas.	u	Clas.	Ca	Mg	Ca/Mg	Na	K	Na/K
1	170,4	156,2	77,17	8,32	Toler.	7,42	3,95	2,41	4,16	Baix	1 573	Alta	C3S1	3,95	2,41	1,64	7,42	,62	11,87
2	119,1	123,6	69,18	10,73	Toler.	5,18	4,17	2,55	2,83	Baix	1 160	Alta	C3S1	4,17	2,55	1,64	5,18	,28	18,37
3	140,4	157,7	73,35	8,41	Toler.	6,11	4,26	2,76	3,26	Baix	1 374	Alta	C3S1	4,26	2,76	1,55	6,11	,48	12,84

AGUAS SUPERFICIALES : CAUCE DEL RIO

Punt	Index de Scott			Index de SAR			Conduct:	US Sal			Relacions								
	Na	.65Cl	.43SO4	Scott	Clas.	Na		Ca	Mg	SAR	Clas.	u	Clas.	Ca	Mg	Ca/Mg	Na	K	Na/K
1	170,4	156,2	77,17	8,32	Toler	7,42	3,95	2,41	4,16	Baix	1 573	Alta	C3S1	3,95	2,41	1,64	7,42	,62	11,87
2	119,1	123,6	69,18	10,73	Toler,	5,18	4,17	2,55	2,83	Baix	1 160	Alta	C3S1	4,17	2,55	1,64	5,18	,28	18,37
3	140,4	157,7	73,35	8,41	Toler.	6,11	4,26	2,76	3,26	Baix	1 374	Alta	C3S1	4,26	2,76	1,55	6,11	,48	12,84
4-2'	176,7	148,6	83,05	8,58	Toler.	7,69	3,85	2,22	4,41	Baix	1 485	Alta	C3S1	3,85	2,22	1,73	7,69	,65	11,79
5-3'	176,0	140,8	80,07	8,95	Toler.	7,66	3,71	2,80	4,25	Baix	1 480	Alta	C3S1	3,71	2,80	1,33	7,66	,65	11,74

4

Aguas de Pozo

Según el Real Decreto 1423/1982 de 18 de junio, contenida en el B.O.E. nº 154 de 29 de junio de 1982 en el que se aprueba la reglamentación técnico-sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público, podemos comentar que las aguas de los pozos estudiados superan los límites establecidos en lo que se refiere a parámetros tales como D.Q.O., nitrógeno moniacal, magnesio, hierro y manganeso.

Las grandes cantidades de hierro y manganeso encontradas pueden ser seguramente atribuibles a la estructura geológica y a la composición química del terreno, mientras que el amoníaco es de origen más discutible.

En general podríamos decir que el pozo nº 7 es el que presenta unos índices de contaminación química y bacteriológica superiores, ya que, de las 6 muestras realizadas, sólo una podía clasificarse como agua sanitariamente permisible. En el pozo nº 1, tan sólo 4 de los 6 análisis de agua realizados pueden considerarse sanitariamente permisibles, mientras que dos son "no potable". El pozo nº 11 produjo agua prácticamente potable durante todo el periodo de estudio. Solamente hemos detectado 2 clostridiums Sulfito reductores en uno de los muestreos.

La Figura 2 ilustra la evolución del contenido de hierro y manganeso en diferentes pozos. Por otra parte, la Tabla 3 muestra los índices de calidad de las aguas del río, tanto superficiales como subterráneas, en vistas a su utilización para riego.

RECOMENDACIONES

En base a los resultados y conclusiones obtenidos, consideramos necesario complementar y optimizar este estudio en las siguientes vertientes:

1. Realizar un seguimiento más amplio del mismo, incluyéndole el periodo más conflictivo, como es la época de verano.
2. Para un contraste correcto de los caudales de "depuradora"

y los "reales" a la salida de la misma, así como para la evaluación de las filtraciones, habría de incrementarse la frecuencia de los aforos en los puntos 1 y 2, al tiempo que deberían utilizarse métodos de aforo más precisos (tipo Parchal), dadas las características físicas del vertido y los bajos valores de caudal.

3. En cuanto a la presencia de nitrógeno amoniacal en los pozos, y singularmente en el nº 7, sería preciso disponer de un periodo más amplio de análisis, que permita correlacionar los resultados obtenidos con los del agua superficial, a fin de poder establecer criterios fidedignos. La influencia del efluente de la depuradora es indiscutible, circunstancia que además encarece notablemente los procesos de cloración.
4. Sería conveniente efectuar un seguimiento de la evolución de la calidad de las aguas utilizadas para riego, ya que las cifras actuales las sitúan en la zona fronteriza del diagrama entre C_3S_1 y C_3S_2 , con un alto peligro de salinización, fenómeno por otra parte detectado en múltiples zonas costeras.
5. La ausencia de metales pesados y baja contaminación biológica detectada harían aconsejable la reutilización del efluente de la depuradora para la recarga de acuíferos, dadas las limitaciones hídricas de la zona. Obviamente, ello implicaría un control sistemático y continuado de las características tanto de los vertidos como de las captaciones.
6. La utilización del efluente de la depuradora para fines agrícolas sería totalmente aconsejable siempre y cuando:
 - a) No se perjudicara en exceso la recarga del acuífero, y por tanto la disponibilidad para usos prioritarios.
 - b) Se efectuará un estudio lisimétrico del crecimiento y características de los cultivos más generalizados de la zona cuando se les riega con aguas superficiales y con aguas procedentes del acuífero.

A este respecto hay que indicar que la Universidad, a través de la fundación "Mas Badia", ha iniciado experien-

cias similares en una finca de Verges.

7. En relación a los rendimientos de la planta depuradora, sería preciso continuar los controles durante un periodo más largo, así como incluir otros criterios significativos que relacionen los costes de explotación y mantenimiento con la efectividad.
8. Sería deseable que se iniciaran estudios sobre la naturaleza de los lodos y su compatibilidad con las tierras de uso agrícola o paisajístico, de forma similar a como se viene desarrollando en algunas partes de nuestra geografía más próxima.

BIBLIOGRAFIA

1. Análisis de Aguas. Omega. Rodier J.. Barcelona 1981.
2. Biología de los Microorganismos. Omega. Brook T.D.
3. Comunicaciones Jornadas Delta del Ebro. CSIC Barcelona 1983.
4. Contaminación Industrial del Ter. Pliego de Bases Técnicas. E.U.P.G. IMPOLUSA.
5. Ecología. Omega. R. Margalef.
6. Elementos indicadores de limnología. R. Margalef.
7. Manual de control de la Contaminación Industrial. Herbert.
8. Manual Técnica del Agua. Degremont.
9. Métodos "Standard" para el Exámen de Aguas. (APHA).
10. Química del Agua. Catalán.
11. Water Pollution Control Federation.

RECARREGA ARTIFICIAL D'AQÜIFERS
EN ELS DELTES DELS
RIUS LLOBREGAT I BESOS (BARCELONA)

J.M. Miralles i J. Cantó

RECARREGA ARTIFICIAL D'AQUÍFERS
ALS DELTES DELS
RIUS LLOBREGAT I BESOS

J.M. Miralles i J. Cantó
Sociedad General de Aguas de Barcelona

AQUÍFER DEL DELTA DEL RIU LLOBREGAT

ANTECEDENTS

L'abastament d'aigua a la comarca del Baix Llobregat i a la major part de les comarques del Barcelonès i el Vallès Occidental depén, com és lògic per la seva situació geogràfica, de les aigües del riu Llobregat.

Fins a l'any 1954, en el qual es va construir la primera estació de tractament de l'aigua superficial a Sant Joan Despí, tots els recursos aprofitats a l'esmentada zona eren d'origen subterrani i procedien dels aquífers de la vall baixa i del delta del riu Llobregat.

El més important d'aquests aquífers és el del delta, el qual s'estén des de Pallejà fins al mar, eixamplant-se progressivament en una extensió total d'uns 110 km² i amb un espessor notable dels arrossegaments fluvials a causa de les grans oscil·lacions del nivell del mar durant el període quaternari. (Veure fig. 1). Aquest conjunt constitueix una unitat hidrogeològica que, a grans trets, té les següents característiques:

1. A la zona compresa entre Pallejà i Cornellà, l'aquífer és lliure i unitari i, com pot veure's en el plànol de situació i a la secció esquemàtica, a partir de l'estret de Pallejà, on té una amplada d'uns 250 m (veure fig. 2), s'eixampla de forma progressiva fins a tenir uns 2.100 m d'amplada entre Sant Boi i Cornellà. L'espessor dels sediments també augmenta des de 20 m a Pallejà, fins a més de 40m a Cornellà.
2. Aquests sediments estan formats essencialment per grava i sorra granada de gran permeabilitat i porositat, encara que hi ha també algunes capes de materials més fins. Les graves corresponen a dues o tres terrasses quaternaries superposades i els materials més fins poden correspondre a llims i argiles del pla d'inundació o bé a aportacions laterals o eòliques.
3. En general, excepte en la llera del riu, la vall està coberta per una capa de llims que, fins poc abans de Cornellà, té una espessor inferior als 5 m. A tota aquesta zona, com ja s'ha dit, l'aquífer és únic i lliure.
4. A partir de Cornellà comencen a aparèixer unes capes importants de materials poc permeables, i l'aquífer es bifurca en dos: un de superior que és lliure i un d'inferior o profund, que és captiu.
5. L'aquífer profund i captiu que s'inicia a Cornellà, és, sens dubte, el més important, ocupa tota la zona central del delta i està constituït per graves i sorres quaternàries. El sostre impermeable està format per una falca de llims argilosos de gruix creixent fins al mar, on arriba a tenir una espessor de 40 m. La potència d'aquest aquífer captiu oscil·la entre els 30 m i els 45 m, i la reserva màxima útil en tota la seva extensió, s'estima en 114 hm³.

OBJECTIUS DE LA RECARREGA ARTIFICIAL

L'explotació de qualsevol aquífer constitueix un procés dinàmic en el qual s'estableix un equilibri entre els cabals d'aigua que

l'alimenten d'una forma natural (l'aigua que s'infiltra a través de la llera del riu i l'aigua de pluja o de rec que percola a través dels terrenys més o menys permeables que cobreixen l'aquífer propiament dit), i els cabals extrets per tot el conjunt de pous que aprofiten les aigües subterrànies, així com pel drenatge de les deus que hi puguin haver a la zona. Com que un aquífer sempre té una capacitat més o menys important d'emmagatzematge, el saldo positiu o negatiu entre l'aportació natural i l'extracció feta, farà que els nivells freàtics pugin o baixin respectivament, a fi de mantenir el balanç hidràulic.

La creixent demanda d'aigua a la zona del delta del riu Llobregat per damunt del volum de recursos de l'aquífer, va produir un descens progressiu dels nivells, i a l'any 1950, la Societat General d'Aigües de Barcelona, es va plantejar la possibilitat d'incrementar d'una forma artificial la infiltració de l'aigua del riu a través de la llera, acció que va ésser complementada l'any 1969 mitjançant la realimentació artificial en profunditat.

Aquest procés de recàrrega artificial té un conjunt d'avantatges directes o indirectes que es poden concretar en els següents:

1. Incrementar les reserves d'aigua:

Al disminuir el dèficit d'explotació al qual s'ha fet referència, l'aquífer funciona com un embassament de gran capacitat (en el cas del delta del Llobregat un augment de 3 m de nivell permet d'emmagatzemar quasi 1 hm³ d'aigua per cada km² de superfície). Aquest embassament natural no requereix cap obra especial i a més permet l'ús normal del terreny, en contra d'un embassament fet mitjançant una presa de superfície que té un elevat cost d'execució, i, altrament, pot ser inviable en una zona plana com és el curs final d'un riu. Les pèrdues per evaporació són, també, molt més baixes.

2. Facilitar el transport de l'aigua:

A l'estar l'aquífer estés en una gran superfície (en el cas del delta del Llobregat són uns 110 km²) i amb una estruc

tura força uniforme, l'aigua es pot extreure de qualsevol indret a prop dels punts d'utilització més importants encara que estiguin allunyats dels punts de realimentació natural o artificial, sense necessitat de fer conduccions.

3. Millorar la qualitat de l'aigua:

En el cas d'infiltració directa de l'aigua del riu, i també si es recarrega amb aigua tractada, l'aqüífer actua com un filtre lent que reté les partícules en suspensió en les zones d'infiltració, i l'aigua subterrània que en resulta és d'una qualitat millor i més constant. Si la distància recorreguda és suficient (de l'ordre de 50 a 100 m) i el període de retenció prou llarg (de l'ordre de 15 a 30 dies) la qualitat bacteriològica i la temperatura poden arribar a ésser iguals a les de l'aigua subterrània, desapareixent, àdhuc, substàncies orgàniques que podrien produir gustos i olors.

4. Augmentar el nivell freàtic:

Si l'aportació d'aigua és suficient, la superació del dèficit d'explotació portarà a un augment general dels nivells de l'aigua subterrània, amb dues conseqüències d'importància evident: l'estalvi d'energia necessària per al bombament de l'aigua i la disminució de la possibilitat d'intrussió d'aigua salada a la zona costanera de l'aqüífer.

REALIMENTACIÓ ARTIFICIAL DIRECTA DES DE LA SUPERFÍCIE

Per tal de realimentar artificialment un aqüífer des de la superfície cal disposar d'un lloc al mateix riu o a prop d'ell, on l'aqüífer surti arran de terra o estigui només cobert per un terreny permeable. En aquesta zona hi haurà òbviament una realimentació natural, bé sigui per l'aigua del propi riu, o bé per la pluja que hi pugui caure. Generalment aquesta recarrega natural pot afavorir-se artificialment mitjançant l'acondicionament de la llera del riu o la construcció de basses o rases de poca fondària, a les quals es farà arribar l'aigua de realimentació.

Pels rius circulen generalment aigües tèrboles que, al realimentar directament els aqüífers, produeixen una colmatació progressiva de la llera permeable, al quedar les matèries en suspensió retingudes en els porus dels àrids que constitueixen l'esmentada llera, podent arribar a colmatar-la definitivament, si els corrents fluvials, durant les crescudes periòdiques, no tenen prou poder de descolmatació. Si no hi ha aquest procés natural, caldrà fer-lo artificialment. Sens dubte el fenomen de la colmatació és l'aspecte més delicat de la realimentació artificial dels aqüífers.

Com ja s'ha dit, des de l'any 1950 la Societat General d'Aigües de Barcelona fa recàrrega directa des de la superfície mitjançant l'escarificat de la llera del riu Llobregat, a la zona on l'aqüífer és lliure i en contacte directe amb el riu. Aquesta zona on es fa l'operació d'escarificat és, des de sempre, la mateixa, la qual cosa ja és, per si, una prova fefaent de l'èxit del procediment. L'àrea llaurada està situada enfront de la població de Pallejà i com a màxim, s'opera des de la presa Ferrer i Mora fins al pont de Molins de Rei. El procediment en si, ha estat durant tots aquests anys idèntic i la majoria de les dificultats no provenen de la tècnica emprada sinò de les variacions morfològiques de la llera, modificacions dels marges i altres, produïdes per les avingudes periòdiques del riu, així com, principalment, pels forats, deixats per les innumbrables extraccions abusives d'àrids. (Veure fig. 3).

La tècnica emprada pot resumir-se en els següents apartats:

1. Preparació de la llera del riu.

S'ha d'acondicionar la llera perquè l'escarificat pugui ésser efectiu força temps. Cal netejar les acumulacions de llot, fang i deixalles, especialment al fons dels forats produïts per les esmentades extraccions d'àrids i que cal substituir per graves netes que s'hagin amuntegat a les remulles del riu. Així s'aconsegueix una llera uniforme per on pot entrar sense perill el tractor utilitzat per a aquesta tasca.

2. L'escarificat propiament dit.

El tractor disposa d'una pala (per retirar el fang i traslladar les graves) i un "ripper" per a llaurar la llera. El

"ripper" no ha de tenir més de 50 cm de fons a fi d'evitar la penetració de partícules en suspensió en les zones més profundes, que després seria difícil de recuperar i que, indubtablement, a la llarga arribarien a colmar l'entrada d'aigua a l'aquífer.

L'escarificat cal fer-lo sempre en el mateix sentit del corrent, és a dir, d'aigües amunt cap a aigües avall perquè l'aigua que penetri a l'aquífer sigui aigua superficial circulant i no el fang o crosta que aixeca el "ripper" i que és arrossegat pel corrent.

3. Límits que cal tenir en compte.

Hi ha uns paràmetres de control que l'experiència ha demostrat que són els que cal vigilar per a no deteriorar la qualitat de l'aigua emmagatzemada a l'aquífer i assegurar que el procés de colmatació no es faci irreversible.

a) Cabal

Només s'escarifica el riu quan el cabal circulant per Pallejà està comprès entre 10 i 35 m³/seg. Evidentment amb aquests cabals, l'aigua que es fa penetrar a l'aquífer, que és de l'ordre d'un metre cúbic per segon, no seria aprofitada per cap usuari, perdent-se al mar. Amb cabals superiors als 35 m³/seg, es perillós d'entrar amb el tractor al riu i a més, al tractar-se de cabals extraordinaris ja s'incrementa sensiblement el procés de recàrrega natural.

b) Terbolesa

Cal tenir cura de no escarificar la llera si l'aigua que s'ha de filtrar és tèrbola. El límit que s'ha fixat és de llaurar solament quan la terbolesa de l'aigua del riu a Pallejà sigui inferior a 600 mg/l (mesurat amb SiO₂) amb clara tendència a disminuir, infiltrant normalment aigües amb terbolesa notablment inferior.

c) Qualitat química

Al mateix temps es controla que un dels índexs de qualitat de l'aigua superficial, el "Break-point", sigui inferior

a 12 mg/l amb tendència a disminuir. A l'ensem els clorurs no han de sobrepassar els 700 mg/l (mesurats en Cl) i d'altres paràmetres (crom, fenols, hidrocarburs, detergents, etc.) es vigilen a fi de suspendre l'escarificat si, com desgraciadament ocorre sovint, algut d'ells està present a l'aigua en quantitats que poguessin ésser perjudicials per a la posterior utilització de l'aigua de l'aquífer.

REALIMENTACIO ARTIFICIAL EN PROFUNDITAT

Quan els aquífers estan separats de la superfície per capes impermeables de força espessor, resultaria molt costós o gairebé impossible, practicar la realimentació directa a través de rases o basses d'infiltració. Es per això que s'ha provat de fer-ho vessant l'aigua de recàrrega als propis pous de captació.

L'obstacle que s'ha de vèncer en el cas de realimentació mitjançant pous segueix éssent la colmatació, com passa en el cas de la realimentació directe, però amb la diferència que el fenomen es produeix en profunditat i per tant les dificultats poden créixer en nombre i magnitud, fins a esdevenir insuperables, amb el perill, llavors, d'inutilitzar obres importants i costoses. En definitiva, doncs, la possibilitat de practicar la recàrrega artificial en profunditat depèn de que es pugui fer una descolmatació eficaç de la zona de l'aquífer afectada, si, tal com ocorre a la pràctica, les aigües que s'infiltraen porten algunes partícules en suspensió.

A partir de l'any 1966, en el qual Barcelona i la seva rodalia va rebre l'aportació per a l'abastament dels cabals d'aigua procedents del riu Ter, l'Estació de Tractament de les aigües superficials del riu Llobregat a Sant Joan Despí, va deixar de funcionar sovint a plena capacitat, encara que l'escorriment del riu fos suficient. Es per això que es pensà en l'aprofitament dels esmentats excedents per a la realimentació artificial de l'aquífer a la zona de captació de Cornellà, on ja és com s'ha dit, captiu.

El projecte va començar el 1969 i utilitzà set dels pous de captació ja existents de la Societat General d'Aigües de Barcelona, els quals es fan servir indistintament per a la captació i la recàrrega, i

se'n construirien cinc de nous dedicats exclusivament a la realimentació artificial.

S'inicià doncs, una realimentació en profunditat mitjançant tretze pous verticals, que aprofiten l'aigua superficial tractada, procedent de l'estació de tractament, i que, al portar encara matèries en suspensió, colmata progressivament la zona d'infiltració a l'aqüífer que volta el sondeig. Això obliga a limitar el cabal infiltrat i a procedir periòdicament a la descolmatació, la qual cosa s'aconsegueix tal com l'experiència ha demostrat, mitjançant un bombament enèrgic amb un cabal d'extracció de l'ordre de quatre vegades el cabal de recàrrega.

CARACTERISTIQUES DELS POUS DE RECARREGA

Els set pous ja existents són tots ells similars i estan constituïts per un sondeig entubat de 950 mm de diàmetre i 35 a 40 m de fondària, amb un tram de reixa d'uns 10 m situada en la zona de l'aqüífer. Aquests pous ja estaven equipats amb un grup de bombament adequat i, per tant, tan sols va caldre instal·lar-hi un tub que permet d'introduir a l'interior del sondeig, fins per sota del nivell de l'aigua, el cabal de recàrrega, el qual, d'acord amb les especificacions del projecte, és de l'ordre de 50 l/s. Per al control del cabal infiltrat s'utilitza un comptador d'aigua, tipus Woltmann, de 200 mm de diàmetre nominal i una vàlvula regulada que permet de mantenir el cabal dins d'uns límits prou estrictes. La instal·lació es completa amb les conduccions i vàlvules necessàries per tal de descarregar l'aigua procedent del bombament que cal fer periòdicament per a descolmar l'aqüífer a la zona d'infiltració immediata a la reixa del sondeig.

Els equips de bombament instal·lats consten cadascun, d'una bomba d'uns 200 l/s de capacitat, amb una altura manomètrica de 22 m, accionada per un motor elèctric de 125 CV. (Veure fig. 4).

Als cinc pous que es construïren expressament per a recàrrega, la zona de reixa s'amplià a uns 15 a 20 m, amb la qual cosa, al tenir major superfície, es va poder augmentar el cabal d'infiltració, fixant-lo en 100 l/s. Els comptadors de control en aquest cas són

de 250 mm de diàmetre nominal.

L'equip de bombament a cadascun des cinc pous nous, consta d'una bomba de 400 l/s de capacitat amb una altura manomètrica de 18,5 m accionada per un motor de 180 CV de potència.

La disposició de la línia dels tretze pous de recàrrega, s'entén pràcticament en tota una secció transversal de l'aqüífer a la zona entre Sant Boi i Cornellà, tal com es veu a la figura. (Veure figures 5 i 6).

Aquesta disposició fa que l'augment de nivell piezomètric a la zona, que es produeix quan s'infiltra l'aigua de recàrrega, disminueixi el gradient de la capa freàtica a l'aqüífer de la vall baixa (entre Pallegà i Cornellà) i augmenti, per tant, el volum d'aigua emmagatzemada.

La maniobra de les operacions de recàrrega i de neteja, així com el control del cabal infiltrat, es realitza actualment des del Centre de Telecontrol que hi ha a la Central de Cornellà.

EXPLOTACIO DEL SISTEMA

Els set pous de recàrrega de 50 l/s de capacitat cadascun, permeten realimentar l'aqüífer amb un total de 30 000 m³ al dia aproximadament. L'experiència ha demostrat que és convenient de procedir a la descolmatació quan s'han infiltrat uns 60 000 m³ per pou, és a dir, al cap de 15 dies de funcionament continu. Per a la neteja es bomba un cabal de 200 l/s durant uns 10 minuts, la qual cosa representa unes pèrdues de l'ordre del 0,2 %.

Per als cinc pous de 100 l/s de capacitat de recàrrega, s'ha seguit un criteri similar, procedint-se a la neteja mitjançant un bombament de 400 l/s cada 120 000 m³ infiltrats per pou, és a dir, als 15 dies de funcionament continu. La durada del bombament de neteja és una mica superior (15 a 20 minuts) i per tant les pèrdues són de l'ordre del 0,4 % (Veure fig. 7).

La capacitat total d'infiltració del sistema assoleix els 75 000 m³ al dia i a la figura es poden veure els volums recarregats des que està en explotació. (Veure fig. 8).

Pel que fa referència a la capacitat de descolmatació del sistema de bombament que, tal com s'ha dit, es fa periòdicament, es porta un control dels cons d'infiltració a cadascun del pous de recàrrega, a fi de procedir a una neteja més enèrgica en cas de disminuir la permeabilitat de l'aquífer a la zona immediata a la reixa del sondeig. A la figura hi ha els punts de control de cinc dels pous del sistema, i es pot veure, en el cas del Pou 20, una disminució anormal de la permeabilitat a l'any 1981, que es va corregir amb una descolmatació enèrgica mitjançant descàrregues amb aire comprimit. (Veure fig. 9).

Tot i que l'aigua que s'infiltra procedeix del excedents de l'aigua tractada a l'Estació de Sant Joan Despí, per tal de no empitjorar sensiblement la qualitat de l'aigua subterrània emmagatzemada a l'aquífer, s'exigeix que l'aigua crua tingui un contingut màxim de sals dissoltes i matèria orgànica. Per això es recarrega l'aquífer només quan no se superin els següents límits:

Break point :	cloració inferior	a	15 mg/l
Salinitat :	clorurs inferiors	a	500 mg/l(Cl)
Detergents :	contingut inferior	a	1 mg/l
Terbolesa :	mesura inferior	a	0,6 NTU

AQUÍFER DEL DELTA DEL RIU BESOS

ANTECEDENTS

Com a complement de les fonts principals d'abastament a Barcelona i la seva rodalia, s'utilitzen un grup de captacions situades a la conca del riu Besòs, que aprofiten les aigües subterrànies de l'aquífer de la vall baixa i del delta del riu.

L'estructura hidrogeològica del delta del riu Besòs és similar a la del delta del Llobregat ja descrita. A la zona entre Montcada i Sta. Coloma de Gramanet, l'aquífer és lliure i unitari, amb un espessor creixent des d'uns 15 m fins a uns 30 m prop de Santa Coloma. A partir d'aquest punt fins al mar, l'aquífer es bifurca en dues capes de graves per la intercalació d'una falca de materials menys permeables, formats per llims i argiles, la qual té, a la costa, un gruix de l'ordre dels 20 m. La superfície aproximada de

tot el delta és d'uns 20 km².

Malauradament les extraccions abusives d'àrids a tota aquesta zona, amb el reompliment dels forats que en resulten amb deixalles urbanes i industrials de tot tipus, ha tingut com a fatal conseqüència la contaminació de les aigües subterrànies, que ha fet inutilitzables la majoria dels pous existents a la zona. Una de les captacions que encara és aprofitable, és la corresponent a l'anomenada Central Sant Andreu, de la Societat General d'Aigües de Barcelona, on, des de l'any 1953, hi ha en explotació un sistema de recàrrega artificial.

OBJECTIUS DE LA RECARREGA ARTIFICIAL

La raó principal per a implantar el sistema de recàrrega artificial a la Central de Sant Andreu, va ésser el de millorar d'una forma directa les condicions de captació del pou existent, mitjançant l'aprofitament de l'excedent d'aigua d'un canal de reg de la zona, anomenat Sèquia Comtal.

L'aigua d'aquest canal és de bona qualitat a l'origen, però sovint s'enterboleix al llarg del seu recorregut per la sèquia, la qual és una canal obert. Tot i això, la terbolesa no supera els 300 mg/l (mesurada en SiO₂) i habitualment és menor. Aquests excedents haurien d'ésser doncs, tractats en una estació apropiada per tal de introduir-los a la xarxa de distribució. El que es va decidir, però, a l'any 1953, fou d'infiltrar-los mitjançant un pou de recàrrega i extreure'ls novament en el pou de captació ja existent, situat uns 60 m aigües avall al mateix aquífer, amb la qual cosa s'aconsegueix un dels objectius de la recàrrega, que és millorar notablement la qualitat de l'aigua, la qual pot ésser utilitzada directament pel subministrament amb l'únic requisit d'afegir-hi una dosi adequada de clor, per a garantir-ne la desinfecció.

La disminució de les zones regables per la Sèquia Comtal, a causa de l'augment de l'edificació als antics terrenys de conreu, ha permès d'utilitzar nous excedents de rec mitjançant la construcció a l'any 1970, d'un altre pou amb un cabal d'aprofitament conjunt de fins a 160 l/s. Aquest cabal es recupera, segons estimacions fetes, en el seu 90 % per a l'abastament.

REALIMENTACIO ARTIFICIAL EN PROFUNDITAT

En síntesi es pot dir que, tant pel que fa referència als motius per a escollir un sistema de recàrrega en profunditat, com a les precaucions que cal prendre en l'explotació d'una instal·lació d'aquest tipus, les circumstàncies de funcionament d'aquestes instal·lacions són similars a les descrites pel sistema del riu Llobregat, encara que el disseny de la instal·lació és diferent.

CARACTERISTIQUES DELS POUS DE RECARREGA

A l'entrada de la Central Sant Andreu, l'aigua es condueix a un canal obert d'obra, on es produeix una sedimentació de les partícules en suspensió arrossegades al llarg de tota la sèquia, i a més s'hi fa una precloració. A continuació l'aigua es fa passar per un microfiltre rotatiu de neteja contínua, per a eliminar les algues, larves, fulles i la resta de terbolesa, fins a on sigui possible. Al final del canal hi ha un abocador per a control del cabal a infiltrar (Veure fig. 10).

L'aigua filtrada passa a continuació al centre de cadascun dels pous de recàrrega, a fi de realimentar l'aqüífer. Els pous estan constituïts per un sondeig etubat de 950 mm de diàmetre i 25 m de profunditat, amb una zona de reixa d'un espessor de 10 m en els quals hi ha instal·lat un grup vertical de bombament de 400 l/s de capacitat.

Com ja s'ha explicat i, malgrat les precaucions preses per a no infiltrar aigua tèrbola, l'aqüífer es va colmatant amb el temps i cal netejar-lo.

Per a aquesta finalitat a tot el rodó de cada pou i sobre una circumferència de 6 metres de diàmetre, s'han col·locat 16 tubs de 200 mm de diàmetre que travessen tot l'aqüífer, fins a la base impermeable. Aquests sondeigs estan perforats a la zona de l'aqüífer però solament a la part encarada al sondeig central d'infiltració. (Veure Fig. 11).

Entre el sondeig central de 950 mm de diàmetre i el cilindre de 6 000 mm de diàmetre on estan situats els sondeigs de neteja, hi

ha una zona de 2 430 mm d'amplada que és on es diposita la terbolesa de l'aigua infiltrada, ja que a l'ésser el flux radial, la velocitat d'arrossegament va disminuint gradualment cap a la perifèria.

Els 16 sondeigs de neteja estan units entre si per un tub tòric que està connectat a la impulsió d'un grup motor-bomba, el qual aspira aigua d'un dipòsit on hi ha aigua neta.

EXPLOTACIO DEL SISTEMA

En circumstàncies normals, l'experiència aconsella fer la neteja del sistema cada 24 h de funcionament continu, tenint en compte les característiques de l'aquífer i la qualitat de l'aigua infiltrada. El cabal recarregat cada dia pels dos pous és d'uns 14 000 m³/dia.

Per a fer la neteja s'atura la injecció d'aigua a l'aquífer i s'engega el grup motor-bomba d'extracció instal·lat al sondeig central. Aquest grup té una capacitat de bombament de 350 l/s (és de l'ordre de quatre vegades el cabal nominal de recàrrega). (Veure fig. 12).

Al mateix temps es posa en marxa el grup motor-bomba de neteja, el qual té una capacitat de 250 l/s i que injecta l'aigua neta pels sondeigs, situats al voltant del pou d'extracció central.

Aquesta circulació enèrgica d'aigua en sentit contrari al d'infiltració, produeix l'arrossegament de totes les partícules retingudes de forma similar a la neteja d'un filtre de sorra a contra corrent.

L'operació dura de 10 a 15 minuts i representa, en conjunt, unes pèrdues del 2 al 3 %.

El control de la neteja es fa mesurant les variacions del con d'infiltració al sondeig central, en condicions de funcionament homogeni.

REUTILIZACION DE LAS
AGUAS RESIDUALES DEPURADAS
EN ISRAEL

E. Idelovitch

REUTILIZACION DE LAS
AGUAS RESIDUALES DEPURADAS
EN ISRAEL

Dr. Emanuel Idelovitch
Tahal Consulting Engineers, Ltd.
P.O. Box 11170, Tel Aviv, Israel

RESUMEN

En áreas donde las aguas naturales son escasas, las aguas residuales deben ser consideradas como un recurso de agua importante que puede ser utilizado eficientemente para agricultura, industria, recreación y recarga de acuíferos.

En Israel, donde la agricultura es casi toda de regadío, las aguas residuales urbanas se utilizan especialmente para este fin, sea directamente, después de cierto tratamiento, sea indirectamente, después de tratamiento y almacenamiento superficial o subterráneo.

Hoy en día, el casi 40 % de la cantidad total de aguas residuales que fluyen en alcantarillas urbanas ya es reutilizada; esta cifra aumentará próximamente hasta el 60 %.

Dos sistemas innovadores de reutilización desarrollados y aplicados en Israel son: el tratamiento en reservorios profundos (TRP) y el tratamiento suelo-acuífero (TSA); estos sistemas combinan en una sola unidad-proceso el tratamiento del efluente con el almacenamiento estacional, que es imprescindible en cualquier esquema de riego con efluentes.

El cultivo principal regado con efluente es el algodón. Parte de los efluentes se utilizan para recarga de acuíferos por el sistema TSA. De un total de 350 plantas de tratamiento de varios tamaños que se encuentran en funcionamiento, unas 250 incluyen lagunas de oxidación de varios tipos (sin aereación mecánica) que tratan aproximadamente el 50 % del caudal total.

La reutilización para el riego tiene exigencias diferentes a la evacuación de efluentes a masas de agua receptoras. La mayor diferencia se relaciona con la materia orgánica y los nutrientes (nitrógeno y fósforo) que, en ciertas concentraciones, son beneficiosos para la agricultura y pueden ahorrar fertilizantes.

En la presentación se describirán cuatro métodos de tratamiento desarrollados y aplicados en Israel:

- 1) Lagunas facultativas con recirculación (LRF)
- 2) Tratamiento cal-magnesio a alto pH con reutilización de los coagulantes químicos.
- 3) Sistema TRP
- 4) Sistema TSA

Asimismo se analizarán los resultados obtenidos en el proyecto de reutilización más grande y más importante del país - el Proyecto de la Región de Dan (Gran Tel Aviv)- cuya primera etapa, que se encuentre en operación desde hace varios años, incluye tres de los cuatro conceptos arriba mencionados; la segunda etapa de este proyecto se encuentra en una fase avanzada de construcción y será puesta en funcionamiento en 1986-1987.

LA REUTILIZACION AGRICOLA
DE LAS AGUAS RESIDUALES
EN LA COMUNIDAD VALENCIANA

J.M. Benet

LA REUTILIZACION AGRICOLA
DE LAS AGUAS RESIDUALES
EN LA COMUNIDAD VALENCIANA

J.M. Benet

Universidad Politécnica de Valencia

INTRODUCCION: PANORAMICA GENERAL DEL PROBLEMA

En la Comunidad Valenciana hay actualmente en explotación 299 100 ha de regadío, con una dotación media de 7 750 m³/ha.año. Esta superficie supone alrededor de un 10% de la superficie regable total de España, si bien la densidad de cultivo, entendida como la fracción del territorio total de la Comunidad que se riega, es 2,6 veces superior a la media de España.

En el seno de la propia comunidad autónoma, la distribución de regadíos y, más concretamente, de sus dotaciones, es muy irregular, registrandose consumos tan bajos como 3 200 m³/ha.año (riegos del Alacantí y del Alto y Medio Vinalopó, en Alicante), frente a despilfarros como los 14 500 m³/ha.año en la huerta de Valencia.

El consumo actual de todos los regadíos de la Comunidad Valenciana es de 2 318 hm³/año, estando en curso planes de ampliación que contemplan el aumento de la superficie regada hasta 396 000 ha, y el del consumo hasta 2 916 hm³/año.

Habida cuenta de que la totalidad de los recursos hidráulicos disponibles en la Comunidad Valenciana han sido cifrados en 3 152 hm³/año, resulta evidente el precario equilibrio en que se encuentra esta

comunidad autónoma en materia de recursos hidráulicos. La realidad actual es que este balance planteado en términos globales se traduce, a nivel de comarcas y subcuencas, en un conjunto de situaciones deficitarias, algunas de ellas muy graves, que requieren costosas actuaciones para su corrección.

Una de las primeras alternativas que se considera para la corrección de déficits es la reutilización de las aguas residuales urbanas. En la Comunidad Valenciana se tiene actualmente una población de 3 700 000 habitantes, y el consumo urbano de agua es de 360 hm³/año. Este consumo se habrá elevado a unos 430 hm³/año en el año 2000. Por otra parte, el consumo de agua para usos industriales, en núcleos y establecimientos independientes de poblaciones, ha sido cifrado, en la Comunidad Valenciana, en 106 hm³/año. Así pues, el uso urbano e industrial supone acualmente algo más de un 20% de los requerimientos para el riego; teniendo en cuenta, además, que la curva de producción de agua residual a lo largo del año es acorde con la de necesidades para el riego, a diferencia de lo que ocurre con las aguas superficiales, resulta evidente la conveniencia de considerar esta reutilización.

De hecho, en las comarcas más deficitarias esta reutilización se ha ido implantando en forma natural, o por mejor decir, salvaje, normalmente sin que las aguas residuales hayan sido objeto de una depuración adecuada -en la mayoría de los casos sin ningún tipo de depuración- y sin que se haya adoptado precaución alguna en lo que concierne al tipo de los suelos y los cultivos en que se va a aplicar.

Algunas de las comarcas en que se lleva a cabo esta reutilización salvaje de las aguas residuales son, de Norte a Sur, la plana de Castelló, con unos 311 000 habitantes, el Camp de Morvedre o plana de Sagunto con unos 71 000 habitantes, las Marinas Alta y Baja, con 173 000 habitantes fijos, y una población punta cinco veces superior, la cuenca del Vinalopó y l'Alacantí, con 685 000 habitantes y la Vega del Bajo Segura, con 175 000 habitantes.

Todas estas son comarcas en que una situación de carencia de recursos hidráulicos ha conducido en forma obligada a esta reutilización.

No obstante existen comarcas en que no se dan tales circunstancias y en las que la reutilización se ha planteado en base a unos criterios económicos o en base a una política de planificación. El primero es parcialmente el caso de la plana de Castelló, donde la reutilización se aplica con el fin de completar las dotaciones de unos riegos que, de otra forma, deberían suplementarse con extracciones de aguas subterráneas, más costosas. El segundo es el caso de la huerta de Valencia (1 273 000 habitantes), en que la reutilización del agua residual depurada se plantea como forma de liberar caudales, actualmente tomados del Júcar y del Turia que, de esta forma, podrían ser utilizados en otras comarcas que sí tienen déficit.

CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA COMUNIDAD VALENCIANA

Son varias las causas que determinan la particularmente mala calidad genérica de las aguas residuales en la Comunidad Valenciana.

En primer lugar debe destacarse la baja calidad del agua de abastecimiento, lo que determina que un 88,5% de la población de la plana de Castelló, y un 48% de la población de la huerta Valenciana, por citar dos ejemplos, esté abastecida con agua en condición de sanitariamente permisible, a causa de la contaminación de los acuíferos de que se extrae el agua para el abastecimiento, fundamentalmente por compuestos de origen agrícola, -caso de la contaminación generalizada por nitratos en los acuíferos de las planas de Valencia y Castelló, en muchas de cuyas poblaciones el agua de abastecimiento tiene concentraciones próximas, y a menudo superiores, a los 200 mg/l de ion nitrato-, y también a sustancias de origen industrial -detectándose, en esta última comarca concentraciones apreciables de elementos tales como el Cr y el B, procedentes de industrias de la piel y de la cerámica-.

En segundo lugar se tiene que, salvo en núcleos muy concretos, no se da nunca un agua residual urbana puramente doméstica, sino que todas ellas llevan una importante fracción de agua residual industrial. Para mejor conocer las características del agua residual vertida por las poblaciones de la Comunidad Valenciana, se ha obtenido las distribuciones de frecuencia correspondientes a cada uno

de los parámetros más significativos, a partir de una muestra, cuidadosamente seleccionada, de 157 análisis del agua residual de 74 poblaciones de variable tamaño, tomada entre 1976 y 1984. Los resultados obtenidos se resumen en la siguiente tabla 1.

Los análisis considerados para la obtención de los valores de la tabla anterior corresponden a los vertidos reales efectuados a la acequia o cauce receptor, esto es: tras haber pasado a través de las instalaciones de depuración que existieran.

En la tabla expuesta figuran los valores que no excede cada parámetro con una cierta probabilidad fijada. Así por ejemplo un 95% de las veces la D.B.O. no sobrepasará los 450 mg/l, mientras que un 80% de las veces no sobrepasará los 308,3 mg/l. Del mismo modo, solo un 20% de las veces no se exceden los 112 mg/l, lo que equivale a considerar que un 80% de las veces la D.B.O. será mayor o igual que 112 mg/l.

Mención especial merece la interpretación de dicha tabla para el pH, cuyo valor mediano es 7,3, y del que se observa que, en un 80% de los casos está comprendido entre 6,8 y 8,3.

También se hace constar el valor más desfavorable registrado en cada caso, en el conjunto de análisis que constituye la muestra considerada. Así, por ejemplo, en vertidos de alcantarillados urbanos, hemos llegado a encontrar cifras como 328 264 mg/l de M.E.S., 50 mg/l de detergentes, 7 720 mg/l de cloruros, 615 mg/l de cromo total, y 50 mg/l de sulfuros. Esto puede dar una idea de la incidencia de los vertidos industriales en el conjunto del agua residual de nuestras poblaciones.

Por último, en lo que respecta a los vertidos puramente industriales, ni su volumen ni su calidad permiten omitir su estudio específico, separado del de los urbanos. Por otra parte, los vertidos industriales de núcleos y establecimientos independientes de las redes urbanas de alcantarillado se realizan, en casi todos los casos, a las acequias que configuran la tupida red de riegos, siendo frecuentemente causa de daños a la agricultura.

Para tener una idea mejor de su importancia relativa, a continuación se expone el volumen de vertidos de alcantarillados de población

TABLA 1 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS

Parámetro	Valor cuya probabilidad de no ser superado es del...							Peor valor	Unidades
	5 %	10 %	20 %	50 %	80 %	90 %	95 %		
Materia en susp.	13,0	25,0	78,0	228,0	505,0	643,0	933,0	328 264	mg/l
Conductividad	290,0	450,0	521,0	751,0	1000,0	1146,0	1300,0	2 270	umho/cm
Dureza	25,0	30,0	35,0	46,1	72,5	83,5	92,0	425	°F
Aceites y grasas	--	--	--	3,42	--	--	--	12,3	mg/l
Detergentes	0,0	0,02	0,08	0,26	2,3	4,2	6,1	50	mg/l
pH	6,6	6,8	7,0	7,3	8,0	8,3	8,6	5,4 y 10,6	--
Nitratos	4,5	6,2	9,5	21,0	39,7	64,0	95,0	430	mg/l
Cloruros	40,8	60,0	78,0	138,3	242,0	346,0	443,5	7 720	mg/l
Cromo total	0,00	0,00	0,02	0,05	0,40	1,10	1,50	615	mg/l
Plomo	0,00	0,00	0,01	0,05	0,12	0,20	0,30	0,30	mg/l
Cobre	0,00	0,00	0,01	0,06	0,25	0,52	0,60	4,2	mg/l
Hierro	0,00	0,00	0,02	0,20	0,70	1,30	1,40	13,6	mg/l
Cinc	0,00	0,03	0,10	0,20	1,10	2,50	32,50	142	mg/l
Níquel	0,00	0,03	0,10	0,18	0,60	5,20	50;00	50	mg/l
Cromo hexavalente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	mg/l
Oxidabilidad al Mn O ₄ K	12,0	19,2	26,2	44,0	84,0	213,0	320,0	4 200	mg/l
Oxígeno disuelto	0,4	0,6	0,8	1,2	2,1	5,4	6,8	0,2	mg/l
D.B.O.	49,3	72,0	112,0	190,8	308,3	370,0	450,0	1 931	mg/l
Putrescibilidad	Neg.	3,5	1,5	1,0	0,5	Inmd.	Inmd.	Inmediato	dias
Amoniaco	0,1	0,2	0,3	0,8	3,3	4,5	6,0	14	mg/l
Sulfuros	--	--	--	12,69	--	--	--	50	mg/l

y el volumen de vertidos de los núcleos y establecimientos industriales de las comarcas que se vienen manejando como ejemplo.

<u>Comarca</u>	<u>Vertidos urbanos</u>	<u>Vertidos industriales</u>
plana de Castelló	37,6 hm ³ /año	15,0 hm ³ /año
plana de Sagunto	6,5 hm ³ /año	12,3 hm ³ /año
huerta de Valencia	122,5 hm ³ /año	35,5 hm ³ /año
C. Vinalopó y Alacantí	61,5 hm ³ /año	13,0 hm ³ /año
Vega del Bajo Segura	10,0 hm ³ /año	---

En cuanto a las características cualitativas de estos vertidos, disponemos de unas tablas semejantes a la aportada para aguas residuales urbanas, correspondientes a las diferentes actividades industriales que tienen lugar. Incluirlas aquí supondría exceder las limitaciones de espacio fijadas, pero puede dar una idea suficiente el cuadro adjunto, en que constan los volúmenes de agua pura que, como promedio cada una de las diferentes actividades industriales es capaz de contaminar, hasta los niveles legalmente establecidos, por cada unidad de volumen vertido. Para la elaboración de dichos valores se ha partido del banco de datos de análisis de aguas residuales que tiene la cátedra de Ingeniería Sanitaria de la Universidad Politécnica de Valencia, cuyo archivo está soportado sobre computador y cuenta con más de 5 000 análisis, que comprenden unas 90 000 determinaciones, todos ellos correspondientes a muestras de aguas residuales industriales de la Comunidad Valenciana.

Como ya se ha indicado, existen varias comarcas en la Comunidad Valenciana en que la necesidad ha conducido al desarrollo de una reutilización de las aguas residuales, sin atender consideraciones relativas a su calidad, o a las características de los cultivos y de los terrenos a que se aplicarían. Esto ha dado lugar a diversos problemas, de los que los más espectaculares se concretan en daños a los cultivos, daños a terrenos y daños a las aguas subterráneas.

En la plana de Castelló se están produciendo actualmente daños a los cítricos (cultivo mayoritario en las áreas en que se practica

CONTAMINACION INDUSTRIAL

<u>ACTIVIDAD</u>	<u>VOLUMEN CONTAMINADO POR UN VERTIDO UNIDAD</u>	<u>PRINCIPALES PARAMENTROS DE LA CONTAMINACION GENERADA</u>
Agrícola, en general	6,1	D.B.O.
Fertilizantes orgánicos	8,0	D.B.O., M.E.S.
Subproductos pecuarios	5,2	D.B.O.
Granja porcina	16,1	D.B.O., M.E.S., O.D., N H 3
Granja avícola	16,0	D.B.O., M.E.S., O.D.
Alimentación, en general	7,4	D.B.O., M.E.S., O.D.
Zumos	5,9	D.B.O.
Conservas vegetales	21,5	D.B.O., M.E.S.
Almacén frigorífico	2,9	D.B.O.
Manipulación de pescados	5,9	D.B.O.
Matadero general	6,8	D.B.O., M.E.S., O.D.
Matadero de vacuno, porcino y lanar	7,6	D.B.O., M.E.S.
Matadero de aves	6,7	D.B.O., O.D., M.E.S.
Industrias cárnicas	56,5	A.G., D.B.O., M.E.S., O.D.
Vinos y su embotellado	7,5	D.B.O., M.E.S.
Alcoholes	9,2	D.B.O., M.E.S., O.D.
Refino de Aceites	70,0	A.G., D.B.O., M.E.S., Cl.
Bebidas refrescantes	5,3	D.B.O.
Encurtidos	27,4	D.B.O., M.E.S., Cl., O.D.

Automoción, en general	40,0	A.G., D.B.O., M.E.S., O.D.
Lavado vehículos	32,0	A.G., D.B.O., M.E.S., O.D.
Reparación vehículos	42,0	A.G., D.B.O., M.E.S., O.D.
Cerámica, en general	2,7	D.B.O., M.E.S.
Cerámica artística	12,4	M.E.S., D.B.O.
Azulejos	4,3	D.B.O., M.E.S.
Porcelanas	2,3	D.B.O., M.E.S.
Construcción, en general	13,6	M.E.S., D.B.O.
Cementos	2,0	D.B.O., Cl.
Terrazo	3,0	M.E.S., D.B.O.
Corte y pulido de mármol	54,3	M.E.S., D.B.O.
Lavado de áridos	82,3	M.E.S.
Curtidos	5,5	D.B.O., Cr., M.E.S., O.D.
Galvanotecnia, en general	2,5	D.B.O., Ni.
Cromados y niquelados	12,0	Cr., D.B.O., Ni.
Hostelería y afines	5,2	D.B.O., M.E.S.

Juguetes, en general	2,8	D.B.O.
Juguetes de plástico	3,2	D.B.O.
Juguetes metálicos	2,6	D.B.O., M.E.S.
Madera y mueble, en general	13,7	D.B.O., M.E.S., O.D.
Chapas y Tableros	12,4	D.B.O., M.E.S.
Fábrica de muebles	14,4	D.B.O., M.E.S., O.D.
Pulimento de muebles	12,9	D.B.O., M.E.S., O.D.
Metalurgia, en general	3	D.B.O.
Laminación	1,6	D.B.O.
Trefilado	4,8	D.B.O., Fe.
Bronces	4	D.B.O., Cu.
Herrajes	3,2	D.B.O., Cu., M.E.S.
Papel, en general	5,1	D.B.O., M.E.S.
Papel de recuperación	5,3	D.B.O., M.E.S.
Cartón	7,7	D.B.O., M.E.S., O.D.
Litografía	7,8	D.B.O.
Textil, en general	9,1	D.B.O., M.E.S.
Borras	8,7	D.B.O.

Tintes	10,8	D.B.O., Cl., M.E.S.
Confección	4,7	D.B.O., M.E.S.
Estampado	15,5	D.B.O., M.E.S.

(1) Los parámetros que se indican figuran ordenados de mayor a menor incidencia.

D.B.O.: Demanda bioquímica de oxígeno.

M.E.S.: Materias en suspensión.

O.D. : Oxígeno disuelto

N H 3 : Amoníaco

A.G. : Aceites y grasas

Cl. : Cloruros

Cr. : Ion Cromo

Ni. : Ion Níquel

Fe. : Ion Hierro

Cu. : Ion Cobre

la reutilización), por causa del boro procedente de los vertidos de las industrias azulejeras. Los daños comienzan a ser graves en la zona de Nules, con concentraciones de boro por encima de 0,5 mg/l. Debe destacarse la extraordinaria dificultad de eliminar el boro de las aguas residuales, hasta el punto de que por el departamento de Química Técnica de la Universidad Literaria de Valencia se ha desarrollado un tratamiento por floculación con aditivos, a pH 11, cuyo coste de operación excede las 350 Ptas/m³. Se ha producido también una extensiva contaminación del acuífero por cromo, procedente de tenerías, cuyas aguas residuales sin depurar se utilizan para el riego en la cuenca del río Belcaire. En la actualidad, esta contaminación, a cuya propagación coopera decisivamente el uso agrícola del agua, puede detectarse en el acuífero a distancias de más de 10 km de su origen.

En la plana de Sagunto se han producido daños a los cítricos y otros cultivos por causa de los cloruros del agua residual depurada de Sagunto. La presencia de estos cloruros, en concentraciones superiores a los 680 mg/l, se atribuye a la regeneración de los filtros descalcificadores con que cuentan gran número de edificios de dicha población, cuyas aguas de abastecimiento son de muy baja calidad.

En la huerta de Valencia no se ha desarrollado una reutilización intencionada, pero sí hay un gran número de industrias que vierten sus aguas residuales sin depurar, o deficientemente depuradas, a la red de acequias. Esto ha dado lugar a problemas puntuales muy graves, provocados por vertidos tóxicos, especialmente de galvanotécnicas (cianuros y metales), de industrias de aprovechamiento de subproductos pecuarios (costras pútridas), de industrias de goma de garrofín (ácidos fuertes), de fabricas de colas (formol), de mataderos y de industrias conserveras y de alimentación (aceites, grasas y sales).

Finalmente, y a modo de anécdota, merece la pena destacar el hecho de la Vega del Bajo Segura, que más adelante se comenta con detalle, en el que el río Segura, a la altura de Orihuela, conduce en ocasiones un caudal inferior a la mitad del que suponen los vertidos de las aguas residuales sin depurar de Orihuela y sus pedanías. A menudo es tan alta la carga contaminante con que el río llega desde Murcia

que, después de recibir este vertido, visualmente se nota que su calidad mejora. En general, en toda esta comarca la intensa reutilización agrícola de las aguas de riego, junto con las características del terreno, hace que las aguas de riego estén muy salinizadas. No ocurre lo mismo con las de abastecimiento, que se importan de otras comarcas a través de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla. La salinización de las aguas de riego y de las aguas freáticas es tal que, en este sentido, es siempre superior la calidad de las aguas residuales urbanas, aun deficientemente depuradas.

DIFERENTES ESQUEMAS DE REUTILIZACION AGRICOLA EN LA COMUNIDAD VALENCIANA

A continuación se va a exponer unos ejemplos, que pueden considerarse paradigmáticos, de tres esquemas distintos con los que se lleva cabo la reutilización en distintas comarcas de la Comunidad Valenciana. En cada caso las razones que los han propiciado han sido diferentes, y diferente ha sido la forma en que se ha planteado su gestión. Por ponerles nombre podríamos hablar de:

- Reutilización a iniciativa de empresa privada.
- Reutilización local a iniciativa pública.
- Reutilización sustitutoria.

Ejemplos del primer caso hay bastantes en la Comunidad Valenciana. Castelló y Alicante son los ejemplos que más destacan. La depuradora de Castelló, inaugurada en 1979 y que trata 450 l/s, es explotada por una empresa privada, en régimen de concesión municipal, y las aguas por ella tratadas son recogidas por el Sindicato de Riegos de Castelló, el cual las bombea cuando es necesario a la Acequia Mayor, para lo cual cuenta con un depósito de 4 500 m³ y una estación de bombeo de 380 CV. Este proceder es considerado por los propios usuarios como más seguro y económico que el de recurrir a la explotación de pozos para suplementar los caudales de riego. Semejante situación se da en Alicante, donde el agua residual tratada en la depuradora del Barranco de la Ovejas (36 000 m³/día) es elevada por tres sociedades agrarias de transformación, transportandola hasta Agost y Monforte del Cid, lo cual supone un recorrido de más

de 25 km, y una altura manométrica del orden de 400 m. El coste de esta operación puede cubrirse gracias al alto valor del agua de riego en las comarcas del Vinalopó, determinado por su escasez y por el alto valor añadido de su producción agrícola.

En mucha menor medida se ha dado hasta el presente la reutilización local a iniciativa pública. El ejemplo más concreto lo constituye el Plan de Saneamiento Integral de la Vega del Bajo Segura. Esta comarca, que cuenta con 24 municipios y una extensión total de 95 280 ha, tiene 79 300 ha de regadío, lo cual supone un 83,2 % de su superficie total. Estos regadíos se implantaron contando con unos recursos de 508 hm³/año, la mayor parte de los cuales deberían ser aportados por el trasvase Tajo-Segura. La realidad es que estas previsiones fueron muy optimistas, y tan solo se cuenta -aparte de los 182 hm³/año de los riegos tradicionales del Segura- con unos 120 hm³/año, lo que da lugar a una situación de angustioso déficit que obliga a reutilizar una y otra vez las aguas de drenaje de los campos, recogidas por una red de azarbes tendida paralelamente a la red de acequias, lo que produce una salinización progresiva de aguas y tierras.

Con independencia de lo anterior, el abastecimiento urbano, llevado a cabo con aguas de gran calidad por la Mancomunidad de los Canales del Taibilla, genera los vertidos de aguas residuales del orden de 12,5 hm³/año actualmente, que ascenderán a 35,4 en el año 2005, que en todos los casos -con y sin depuración y con y sin dilución con otras aguas- eran reutilizados en forma salvaje, sin planificación alguna, para el riego.

Buscando una mejor solución al problema, la Consellería de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes ha formulado un Plan de Saneamiento Integral de esta comarca, que contemplan quince sistemas de redes de colectores y estaciones de tratamiento, orientadas básicamente a la reutilización agrícola, bien sea directamente o bien conjuntamente con otros caudales.

En los sistemas de saneamiento y reutilización previstos se contempla:

- Cuatro lagunajes facultativos, para 35 000, 17 000, 50 000 y 50 000 habitantes, respectivamente, el primero de ellos ya construido.
- Un lagunaje aireado, para 5 000 habitantes.
- Dos depuradoras por lecho de turbas, para 5 000 y 3 200 habitantes, respectivamente, el primero de ellos ya construido.
- Un filtro verde para 1 100 habitantes.
- Dos depuradoras biológicas con tratamiento fisicoquímico adicional, para poblaciones punta de 340 000 y 50 000 habitantes.
- Siete depuradoras biológicas convencionales, desde 5 000 a 40 000 habitantes, cinco de ellas ya operando.

Este plan tiene un coste de 6 519 millones de pesetas, de los que 2 747 es la parte correspondiente a instalaciones de depuración, y el resto a colectores y alcantarillados.

La gestión del sistema se pretende confiar a un organismo comarcal - mancomunidad o consorcio -, con un coste de explotación medio, en pesetas de 1985, de 6,58 ptas/m³, que asciende a 9,39 ptas/m³ tras incorporar las amortizaciones.

Finalmente, no resta sino exponer un avance de lo que pueden suponer los planes de reutilización agrícola en la huerta de Valencia, por cuanto pueda tener de insólito el hecho de una reutilización planteada en una comarca excedentaria, para beneficio de comarcas deficitarias.

La comarca de l'Horta, o huerta de Valencia, tiene una extensión de 631 km², repartidos entre 44 municipios, con 1 300 000 habitantes en total, que generan un vertido de 158 hm³/año de aguas residuales, de las que en la actualidad apenas se depuran unos 50 hm³/año. Ello no obstante, cuando el grado de depuración alcance el 80 % del total de los vertidos -lo que está previsto para el año horizonte de 1990- el volumen de aguas residuales depuradas ascenderá a 4m³/s continuos, valor que, si bien no llega al 25 % del consumo agrícola de esta comarca, sí puede suponer una solución para comarcas actualmente

deficitarias como es el caso de los riegos del Turia Medio, cuya carencia de $121 \text{ hm}^3/\text{año}$ no puede paliarse hasta que no se reconstruya la presa de Tous, los riegos del Vinalopó y Alacantí, cuyas demandas totales ascienden a $145 \text{ hm}^3/\text{año}$.

No cabe plantear el trasvase de estas aguas depuradas a esas comarcas pero sí su utilización para riego en la huerta de Valencia, liberando la necesidad de tomar unos caudales equivalentes del sistema Jucar-Turia, que podrían ser aprovechados aguas arriba.

REUTILIZACION EN EL PARQUE
INSULAR DEL LASSO

J.J. Gutiérrez de la Fe

UTILIZACION DE LODOS EN
EL PARQUE INSULAR DEL LASSO

J.J. Gutiérrez de la Fé
Cabildo Insular de Gran Canaria

ANTECEDENTES

De la depuración de las aguas residuales urbanas, se obtiene un subproducto denominado "lodo", los cuales pueden eliminarse de tres formas: Por incineración, por vertederos ó por su utilización en agricultura. Esta última alternativa es la que hemos pretendido usar, ya que a la vez que eliminamos este subproducto, se aprovecha su poder fertilizante.

En el hipotético caso que el 70 % de la población tuviera conectadas las aguas residuales a depuradoras, y que cada persona produjera 90 g/día de M.E.S., los 1 500 000 habitantes de las Islas Canarias producirían 45 275 000 toneladas de M.E.S. por año, lo que representa una considerable cantidad de abono nitrogenado, fósforado y potásico.

Asimismo, en las zonas áridas y semiáridas de nuestra Región, existen suelos marginales cuya recuperación sería interesantísima a fin de desarrollar en ellas vegetales con fines estéticos, ó como elemento protector en la conservación del suelo.

Ahora bien, el empleo agrícola de los lodos residuales, si bien permite el aprovechamiento de la M.O. y de los elementos fertilizan-

contenidos en ellos, puede alcanzar algunos riesgos de contaminación por metales pesados y/o organismos patógenos.

Por todo lo dicho anteriormente, planteamos el ensayo en una zona semiárida y con bajo contenido en M.O., denominada el Lasso y ubicada en el cono sur de la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria, con la pretensión de transformarla en una zona recreativa. A tal fin se suscribió en el año 1982 un acuerdo entre el Excmo. Cabildo Insular de Gran Canaria, el Excmo. Ayuntamiento de Las Palmas y el Instituto Canario de Investigaciones Agrarias.

El presente artículo es un resumen de lo que se ha realizado en dicho parque desde Octubre de 1982 hasta Diciembre de 1984. Al no estar concluida dicha experiencia, cuya finalización está prevista en 1986, daremos solamente conclusiones parciales.

OBJETIVOS

Los objetivos del proyecto eran:

- A) Caracterización física, química y microbiológica de los lodos (Composición orgánica y mineral, densidad aparente y real, porosidad, capacidad de retención de agua, valoración de la toxicidad de los metales pesados, recuento de gérmenes coliformes, streptococos y salmonella).
- B) Aplicación de lodos líquidos en diferentes especies vegetales y con distintas concentraciones.

MATERIAL Y METODOS

Esta experiencia se está realizando en el parque del Lasso, en una superficie de 6 000 m², dividida en 5 parcelas de forma irregular y con una pendiente aproximada del 40 %.

Los controles que se están realizando son:

- a) Análisis del agua de riego (mensual).
- b) Análisis del lodo de la Depuradora (mensual).

- c) Gastos de agua por parcelas.
- d) Gastos de lodo por parcelas.
- e) Análisis químico del suelo (trimestral).
- f) Análisis foliares de las plantas (trimestral).
- g) Medidas del desarrollo de las plantas (altura total y diámetro de tronco).

El suelo es de textura franco-arenosa con algunas lagunas arcillosas en su cuenca, producidas por calmatación de las arcillas arrastradas por agua de lluvia.

En cuanto a la composición química, un análisis inicial arrojó los resultados que aparecen en la tabla 1.

Tabla 1. Composición química del suelo natural

Parámetro	Parcela				
	1	2	3	4	5
Conductividad 1 : 5	481	432	453	524	782
E.S.	2 778	2 068	2 685	2 264	6 122
PH	8,10	7,95	8,16	8,12	7,83
Caliza, %	28,16	20,68	20,64	24,20	21,12
Carbonos, %	0,87	0,85	0,33	0,67	1,22
M. Orgánicas, %	1,50	1,46	0,57	1,15	2,10
Nitratos ppm	150	95	112	137	62
Fósforo ppm.	180	162	12	135	30
Potasio me/100 g	4,56	5,91	3,53	5,11	4,77

Las aguas de riego proceden de la Depuradora Municipal, siendo el sistema de riego empleado el de regueras ó machos. Se dieron riegos mensualmente durante los primeros meses, reduciendo progresivamente el número de los mismos hasta los 3 ó 4 actuales por año.

Un análisis medio del agua empleada hasta el momento es:

AÑO 1983AÑO 1982

PH.....	7.915	PH.....	7.700
Conductividad.....	3.761	Conductividad.....	3.600
Bicarbonatos.....	0,573 g/l	Bicarbonatos.....	0,630 g/l
Sodio.....	0,588 g/l	Sodio.....	0,535 g/l
Sales.....	2,803 g/l	Sales.....	2,400 g/l

El lodo empleado tiene la misma procedencia que el agua y se obtiene después del tratamiento terciario, transportándose hasta el parque por medio de cubas de 15 m³ de capacidad que se descargan en un tanque regulador, desde donde se distribuye en diferentes concentraciones, para comprobar su repercusión en las especies vegetales ya citadas.

Los lodos son productos orgánicos, con un contenido de M.O. próximo al 40 %, ricos en nitrógeno y en fósforo (P2 O5) y pobres en potasio (K2 O).

Las muestras de lodo han sido analizadas por el método preconizado por E.O. en la reunión celebrada en Abril de 1979 en Gante para la red de elementos traza.

A 10 g de materia deseada a 105° C se le añaden 50 ml de agua regia. Se deja en reposo durante 24 horas y se lleva a ebullición por reflujo durante dos horas para su mineralización. Se filtra y se enrasa a 250 ml para su análisis. Los análisis se realizan en un espectofotómetro Perkin Elmer 460, con corrector de cáteterio y cámara de grafito.

Las características promedio de los lodos utilizados son:

	%		%
Humedad	64	Hierro	1,26
Residuo Seco.....	36	Cobre	0,011
PH	10,95	Litio	0,00
Materia Orgánica	41,5	Estroncio	0,011
Cloruros	3,29	Zinc	0,062
Nitrógenos	4,26	Manganeso	0,01
Calcio	10,2	Cromo	0,002
Magnesio	0,4	Niquel	0,018
Sodio	0,36	Cobalto	0,013
Potasio	0,06	Silice (SiO2)	38

	1	2	3	4	5
Sodio me/100 g	16,30	13,62	6,68	14,24	16,80
Calcio "	23,40	24,97	25,41	27,33	30,23
Magnesio "	8,09	9,08	9,12	8,66	6,65
C.I.C. "	28,04	28,0	28,0	30,0	28,0

De esta tabla se desprende que los suelos están afectados por un exceso de sodio además de presentar valores muy altos de calcio y magnesio. Los valores de capacidad de intercambio catiónico que se presentan son bajos en todos los casos. Todas las muestras presentan valores altos de pH y caliza. Habiéndose observado que el nivel de PH del suelo era elevado, se realizó una incorporación de azufre micronizado a razón de 140 gr/planta, para rebajarlo.

Por último el contenido de metales pesados de los lodos aparece en el Anexo 1.

El lodo está aplicando en las siguientes proporciones:

<u>Parcela</u>	<u>Proporción, (%)</u>
1	5
2	10
3	20
4	--
5	30

La parcela 4 no recibe lodo, ya que es la control.

Hasta el momento se han aportado 750 litros de lodo planta, distribuidos en cinco aplicaciones con un intervalo entre ellas de 3 meses, excepto de la primera a la segunda, donde transcurrieron 6 meses. La concentración media de las partículas en suspensión del lodo a la salida de la depuradora fue de 7 g/l.

<u>Lodo/planta</u>	<u>Parcela</u>	<u>Concentración media</u>	
		<u>momento aplicación</u>	<u>m³ agua/planta</u>
750	1	1,6	10,8
	2	1,6	10,4
	3	2,1	13,6
	4		10,8
	5	8,3	4,04

Las especies vegetales empleadas han sido:

Acacia Cyclops.
 Casuarina Equizitifolia.
 Ceratonia Siliqua.
 Prosopis Chilensis.
 Prosopis Alba.
 Acacia Albida.
 Cassia Sturtii.
 Leycaena Glauca.
 Schimus Terelinthifolius.
 Schimus Molle.

En cada una de las parcelas existe el mismo número de plantas: 10 para cada una de las especies vegetales. Las plantas se ubicaron en pocetas de 1m x 1m x 1m, depositando 5 kg de acidulas de pino en el fondo y rellenado el resto con tierra.

RESULTADOS

Si representamos graficamente la altura media del desarrollo de las plantas, medida desde el nivel del suelo hasta el ápice terminal, y el diámetro del tronco, medido a 10 cm del suelo, se obtienen los resultados que aparecen a continuación:

En cuanto a los elementos químicos del suelo, la Tabla 2 resume los valores medios y la desviación típica de sus concentraciones durante el período de estudio.

CONCLUSIONES

Del examen de los resultados obtenidos hasta el momento se deducen las siguientes conclusiones:

1. La composición de los lodos depurados de la Estación de Las Palmas de Gran Canaria es rica en materia orgánica, fósforo y nitrógeno, y pobre en potasio.

Tabla 2. Elementos químicos del suelo

Parámetro	Valor medio					Desviación típica							
	Parcela					Parcela							
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5			
Conductividad													
l: 5	455,6	373,6	442,8	489,6	597,7	68,4	46,9	50,1	170,6	181,2			
E.S.	2431,6	2198	2186	2467	3405	654,2	305,72	500,9	925	1840			
PH	8,04	8,07	8,08	8,08	8,23	0,16	0,17	0,14	0,80	0,71			
Caliza, %	22,42	19,03	20,49	10,26	21,09	3,39	4,41	0,91	6,07	7,62			
Carbono, %	1,07	0,75	0,73	0,54	1,29	0,21	0,24	0,29	0,19	0,19			
M. Orgánica, %	1,84	1,2	1,27	0,92	2,23	0,37	0,41	0,50	0,33	0,33			
Nitratos, ppm	212,2	89,8	75,4	76,6	81	83,2	17,7	37,3	39,41	24,6			
Potasio, me/100 g	9,1	6,32	5,43	4,69	6,50	2,9	2,07	1,94	1,56	1,54			
Sodio, me/100 g	13,71	18,13	8,92	9,79	13,07	2,80	5,82	2,96	2,69	2,88			
Calcio, me/100 g	20,87	23,76	22,64	26,33	26,77	2,41	1,97	1,79	1,21	2,44			
Magnesio, me/100 g	6,76	8,5	10,38	9,92	8,14	1,01	2,25	1,35	1,18	1,04			
C.I.C.	29,6	32	31,56	30,8	31,2	2,19	4,41	4,44	3,89	3,67			

2. No existen niveles de toxicidad por metales pesados (cobre, cromo, níquel, cadmio y plomo); sus concentraciones son inferiores a las máximas permisibles.
3. Se observan mejoras sustanciales en los suelos calizos de la experiencia, con aumento de su contenido en materia orgánica, fósforo y sodio. Este último elemento creemos que es debido sobretodo al agua residual depurada.
4. El desarrollo de las nuevas plantas introducidas lo podemos clasificar, según su crecimiento, en tres grupos:
 - A) Muy Bueno: Schinus Molle; Schinus Terebentifolia; Prosopis Chilensis; Acacia Sturtii y Casuarina Equizitifolia.
 - B) Bueno: Ceratonia Siliquia y Prosopis Alba.
 - C) Malo: Leucaena Glauca; Acacia Albida y Acacia Cyclops.
5. Debido a una cierta alteración de los niveles calizos, producida por el aporte de lodos, y como consecuencia del aumento de biomasa por nitrificación, ha surgido una nueva vegetación herbácea, como Hyppurhemia, Aristida, Cenchrus, Conyza, Banaeriensis, que enriquece notablemente el suelo.
6. La comunidad tabaibal de Euphorbia Balsamifera ya establecida se ha desarrollado perfectamente junto con las plantas introducidas.

BIBLIOGRAFIA

- Herman E. Hilleb E, M.D., Manual de tratamiento de aguas negras. Edit. Limusa Wiley, S.A. México, D.F. 1973.
- Sanchez Fernández Murias, B. Aspectos sanitarios de los vertidos y usos de Lodos. Tenerife 1982.
- Seoanes Calvo, M. Aprovechamiento y tratamientos agrarios de las aguas residuales urbanas. Ministerio de Agricultura. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Madrid 1978.
- Metcalf - Eddy., Tratamiento y depuración de las aguas residuales.

Ed. Labor Barcelona 1977.

Nebreda Conesa, Ana María, Manrique Fournier, A., Arroyo González, Isabel., y Rodríguez Ruiz, J. Contenido en metales pesados y urbanos: Lodos residuales y compost de basura. Ponencia del I congreso nacional sobre recuperación de los recursos sólidos. Soria 1982.

Rodríguez Ruiz, Francisco Javier, Normativas sobre la aplicación de lodos residuales en agricultura en relación con los metales pesados. Avances para la normativa en España. Ponencia del I Congreso Nacional sobre recuperación de los recursos sólidos. Soria 1982.

Gutierrez de la Fe, J.J. Aprovechamiento de aguas residuales. Ponencia del XI Congreso Nacional de Parques y Jardines públicos. Alicante 1984.

Alamo Suarez, A., Aplicación de lodos residuales en el Lasso para su reforestación. Memorias 1,2,3,4, Las Palmas 1982, 1983, 1984.

Mayor Vasallo, Reutilización de Aguas residuales.

ANEXO 1

Las cantidades de METALES PESADOS contenidos en los lodos son:

AÑO 1983

MESES	E.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	N.	D.
Cobre	192	201	202	197	130	123,6	136	142	128	138	133,6
Cromo	24	25	26	24	13	22	30	31,2	24,4	20	25,6
Níquel	8	15	20	18	10	25,1	23,1	25,2	25,2	22	32
Zinc	720	660	656	692	640	340	376	372	356	360	356
Cadmio	4	4,5	4	4,7	4,3	3,2	4	3,2	2,8	3,60	2,40
Plomo	236	203	184	176	263	110	140	140	160	185,2	124
Mangan	10	45	72	84	76	120	140	132	120	128	244
Hierro	7200	8500	7800	9600	6500	3320	4000	3920	4080	N.C.	N.C.

° Unidades en ppm en 100 g de materia seca.

Datos facilitados por el Departamento de Análisis Ambiental de I.M.I.A. (Grida 05-Burgos) en base a las muestras enviadas.

AÑO 1984

MESES	E.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	N.	D.
Cobre	163,2	158	139	126	100	117	112	147	172	138	
Cromo	17,6	22,8	22	20	20	18	26	20	16	34	
Níquel	25,2	22	22	22	20	26	28	14	18	24	
Zinc	432	404	460	400	300	460	480	400	440	440	
Cadmio	2,4	2,80	1,5	1,7	2,5	2,3	2	1,6	1,8	2,9	
Plomo	124	139,2	136	132	100	138	130	130	150	146	
Mangan	120	156	120	90	110	134	146	152	80	224	
Hierro	4080	3960	--	--	--	--	--	--	--	--	--

° Unidades en ppm en 100 g de materia seca.

Datos facilitados por el Departamento de Análisis Ambiental del I.M.I.A., (Grída 05-Burgos) en base a las muestras enviadas.

HEALTH AND REGULATORY ASPECTS
OF WATER REUSE IN CALIFORNIA

J. Crook

ASPECTOS SANITARIOS Y NORMATIVOS DE LA
REUTILIZACION DEL AGUA EN CALIFORNIA

James Crook, Ph D
Ministerio de Servicios Sanitarios de California
Sección de Ingeniería Sanitaria
2151 Berkeley Way
Berkeley, CA 94704

INTRODUCCION

La reutilización planificada de las aguas residuales domésticas se ha venido realizando durante muchos años en diversas partes del mundo, entre ellas los Estados Unidos, y ha de jugar un papel cada vez más importante a medida que el agua se convierte en un recurso escaso en el futuro. Las aguas residuales son un recurso valioso que, bajo un tratamiento y una gestión adecuados, puede utilizarse sin peligro para numerosos fines. Lógicamente, el agua de "mejor" calidad, es decir, aquella proveniente de la fuente de abastecimiento más protegida, deberá utilizarse como fuente de suministro principal para usos domésticos, mientras que fuentes de abastecimiento secundarias, tales como aguas residuales tratadas, podrán utilizarse para usos menos importantes en los que los riesgos sanitarios sean mínimos.

El Estado de California ha reconocido desde hace mucho tiempo el valor de la reutilización de las aguas residuales, y durante muchos años ha promovido esta reutilización donde ello no entrañaba peligro para la salud pública. California ha desarrollado una extensa normati-

va sobre la regeneración de aguas residuales que engloba la calidad del agua, la fiabilidad del tratamiento, y las exigencias de proyecto y explotación para diversos tipos de reutilización.

REUTILIZACION ACTUAL

Datos preliminares de una encuesta realizada en 1984 sobre las plantas de regeneración de aguas residuales existentes en California indican que en el momento actual, se están regenerando aproximadamente 272 hm³ de aguas residuales, por medio de 240 plantas de tratamiento, para su reutilización como fuente de suministro de agua a más de 380 zonas independientes. Los tipos de reutilización y el número de zonas en que se reutilizan estas aguas vienen recogidas en la Tabla 1, elaborada a partir de la información recogida en la encuesta de 1984 por el Ministerio de Servicios Sanitarios de California.

Más de la mitad del agua residual reutilizada en el Estado se dedica al riego de forraje, plantas productoras de fibras naturales, y producción de semillas, así como para el riego superficial de árboles frutales y de viñedos, usos para los que no es necesario un nivel elevado de tratamiento de las aguas residuales. El riego en su conjunto representa aproximadamente un 80 % de la cantidad total de agua residual regenerada en el estado. Los datos preliminares indican que la cantidad de agua residual reutilizada ha aumentado casi un 20 % durante los últimos seis años.

Durante estos últimos años se ha observado una tendencia creciente hacia el riego de jardinería con agua residual tratada. Todos los tipos de riego de jardinería han aumentado significativamente durante la última década, en particular el riego de campos de golf, parques y jardines escolares. El número de usos de regeneración de aguas residuales para su utilización industrial ha permanecido inalterado desde la encuesta precedente de 1978. El uso de agua residual para el riego agrícola ha permanecido también relativamente estancada y sólo tres plantas de regeneración de aguas residuales proporcionan agua tratada para el riego de frutas y verduras.

La información de la encuesta de 1984 sobre regeneración de aguas

TABLA 1. Reutilización de aguas residuales en California

Tipo de reutilización	Número de zonas utilizadas
Forraje, plantas productoras de fibras naturales, y producción de semillas.	190
Riego en jardinería: campos de golf.	85
Riego en jardinería: parques.	29
Riego de árboles frutales y viñedos.	26
Riego de cultivos.	10
Usos industriales.	9
Estanques recreativos de uso restringido.	6
Estanques de jardinería.	6
Recarga de acuíferos.	5
Estanques recreativos de uso no restringido.	1
Otros.	16
Total.	383

residuales indica que tanto las nuevas plantas de regeneración como las propuestas incluyen generalmente especificaciones sobre la fiabilidad adecuada del proceso de tratamiento, mientras que muchas de las instalaciones existentes son todavía inadecuadas a este respecto. Así mismo, se concede una mayor atención a las medidas de control de la zona de reutilización, con objeto de proporcionar una reutilización sin peligro de las aguas residuales en los nuevos proyectos de regeneración, a la vez que se observa una mejora de las medidas de control destinadas a asegurar una reutilización sin peligro de las aguas residuales, en aquellas zonas de reutilización en que los servicios de la administración habían detectado deficiencias.

EVALUACION SANITARIA

Los contaminantes presentes en un agua residual que tienen significación sanitaria pueden clasificarse en dos grandes grupos: agentes biológicos y agentes químicos. En la mayoría de los usos de las aguas residuales regeneradas, los agentes biológicos son los que presentan los mayores peligros sanitarios, por lo que las normas de calidad se refieren expresamente a estos contaminantes.

Desde el punto de vista sanitario, los principales componentes químicos que más preocupación suscitan son los metales pesados tóxicos, los pesticidas, y otros contaminantes orgánicos que pueden ocasionar efectos perjudiciales en la salud a largo plazo. Los componentes químicos constituyen la principal preocupación cuando el agua regenerada se utiliza para el consumo indirecto como agua de abastecimiento, a través de una recarga de acuífero, y puede ser también fuente de preocupación cuando el agua regenerada se utiliza para el riego agrícola. Los mecanismos de contaminación de los cultivos agrícolas incluyen: la contaminación física que, a través de la evaporación y riego repetitivo, puede dar lugar a una acumulación de contaminantes en las plantas; la asimilación a través de las raíces de los contaminantes contenidos en el agua de riego o en el suelo; y la asimilación a través de las hojas.

Aunque la información relativa a la significación sanitaria de muchos

de los componentes orgánicos que pueden estar presentes en el agua residual utilizada para el riego agrícola es muy escasa, se sabe de algunos componentes químicos se acumulan en determinadas plantas y por tanto representan un peligro sanitario potencial, tanto para los animales de pastoreo como para las personas. (1).

MICROORGANISMOS PATOGENOS

Una planta de tratamiento de aguas residuales moderna, explotada adecuadamente, puede reducir las concentraciones de microorganismos patógenos varios órdenes de magnitud. No obstante, es difícil originar una eliminación completa y continua de los microorganismos patógenos, por lo que existe siempre el peligro potencial de transmisión de enfermedades a través de la reutilización del agua. En general, los organismos patógenos responsables de las epidemias ocurridas en el pasado están todavía presentes en las aguas residuales actuales. Una aplicación correcta de las técnicas de ingeniería sanitaria permite un control de estos agentes patógenos en lugar de su erradicación total.

La concentración de microorganismos patógenos en el agua residual ha disminuido considerablemente durante las últimas décadas como consecuencia del control de las enfermedades conseguido con los antibióticos, así como con mejores condiciones y hábitos sanitarios. Durante un brote epidémico, la concentración de microorganismos patógenos en las aguas residuales pueden aumentar, y sería inapropiado no guardar la debida prudencia simplemente porque la concentración de microorganismos patógenos pueda ser relativamente baja. Los principales agentes infecciosos que puedan estar presentes en un agua residual pueden clasificarse en tres grandes grupos: bacterias, parásitos (protozoos y helmintos), y virus. La Tabla 2 contiene un resumen de los principales agentes infecciosos potencialmente presentes en un agua residual doméstica.

Existe una gran abundancia de estudios en los que se documentan los organismos patógenos que pueden estar presentes en el agua y en el agua residual, así como de las enfermedades que provocan,

y de los brotes epidémicos supuestos o confirmados. En lo que concierne a este artículo, es suficiente afirmar que muchos tipos de bacterias, parásitos y virus son capaces de sobrevivir en un medio acuático durante largos períodos de tiempo, y que estos patógenos representan un claro riesgo para la salud pública durante la reutilización de un agua residual, si no se les controla o, en determinados casos, se les elimina.

Las enfermedades pueden transmitirse a las personas tanto directamente, por contacto, ingestión o inhalación de los agentes infecciosos contenidos en el agua regenerada, como indirectamente, por contacto con objetos previamente contaminados. El contacto con agua residual regenerada no siempre da lugar a enfermedad. El que aparezca la enfermedad depende de una serie compleja de intervenciones entre el huésped y el agente infeccioso. Entre las variables específicas hay que reciclar, el número de microorganismos invasores (dosis), el número de organismos necesario para desencadenar la infección (dosis infecciosa), la capacidad del organismo para causar la enfermedad (patogenicidad), el nivel de enfermedad que puede causar el microorganismo (virulencia), y la susceptibilidad relativa del huésped. La susceptibilidad es extremadamente variable y depende tanto del estado de salud general del sujeto como del organismo patógeno específico en cuestión. Los niños, los ancianos, las personas mal nutridas, y las personas que ya padecen alguna enfermedad son más susceptibles que un adulto sano.

Como ejemplo de la variabilidad que la dosis infecciosa puede presentar, diversos estudios han puesto de manifiesto que un número igual o inferior de 10 Giardia lamblia y uno tan reducido como 10 Shigella dysenteriae 1 pueden producir enfermedad, mientras que pueden ser necesarios hasta 1 000 Vibrio Cholerae ó 10 000 Salmonella typhi para que se inicie la enfermedad (2). En un estudio con voluntarios, aproximadamente un 25 % de las personas que ingirieron 180 Shigella flexneri 2A fueron infectados y cayeron enfermos (3).

Se ha publicado que un máximo de 20 quistes de Entamoeba histolytica constituye una dosis infecciosa (4), y que un número muy pequeño de virus es capaz de iniciar la enfermedad en las personas. Organismos

toxiinfecciosos como el enteropatógeno Escherichia coli y el Clostridium perfringens pueden alcanzar dosis de hasta 10 000 millones de organismos (5). En general, la infección ocurre a dosis inferiores a la necesaria para causar la enfermedad.

Es imposible predecir con exactitud el tipo o la concentración de los microorganismos presentes en un agua residual. El nivel general de salud de la población que genera estas aguas, la existencia entre la población de portadores de determinadas enfermedades, y la capacidad de los agentes infecciosos para sobrevivir fuera de su huésped bajo una variedad de condiciones ambientales, determinan en conjunto la presencia y la concentración de organismos patógenos en un agua residual determinada.

Teniendo en cuenta que las personas sanas no expulsan normalmente enterovirus durante prolongados períodos de tiempo, se comprende que su presencia en las aguas residuales municipales fluctue ampliamente. Los virus expulsados por una persona infectada oscilan normalmente entre 1 000 y 100 000 unidades infecciosas por gramo de heces (6). Sin embargo, no todos los virus presentes en las heces pueden vivir en un medio acuático y por tanto pueden persistir en el agua residual municipal durante un corto espacio de tiempo. Se ha calculado que la concentración media de virus entéricos en un agua residual municipal es aproximadamente 500 unidades/100 ml (7), aunque este valor puede variar considerablemente. La concentración de virus en un agua residual tiene una gran dependencia estacional, pudiéndose realizar los aislamientos con una frecuencia durante el verano y el comienzo del otoño. En condiciones favorables, los patógenos entéricos pueden sobrevivir durante prolongados períodos de tiempo, tanto en las plantas como en el agua o en el suelo. Entre los factores que afectan su sobrevivencia hay que señalar el número y tipo de organismos, el contenido de materia orgánica del suelo, la temperatura, la humedad, el pH, la cantidad de lluvia, la cantidad de luz solar, la protección que proporciona el follaje, y la flora microbiana competitiva. Así por ejemplo, una revisión de la literatura (2, 8, 9,) indica que los huevos de Ascaris pueden sobrevivir entre 27 y 35 días en vegetales, y entre 730 y 2 010 días en el suelo, mientras que Salmonella spp. puede sobrevivir desde 3 hasta más

de 40 días en vegetales, más de 100 días en la hierba, y entre 15 y más de 280 días en el suelo. Se ha publicado que Salmonella typhi puede sobrevivir entre 87 y 100 días en el agua, entre 2 y 120 días en el suelo, y entre 10 y 53 días en vegetales (8). En uno de los estudios, los Poliovirus y Coxsackie virus inoculados en la superficie de vegetales sobrevivieron más de cuatro meses, durante el almacenaje comercial y doméstico de estos, mientras que los inoculados en suelo saturado a 4° C sobrevivieron hasta 180 días (11). La Tabla 3 indica los tiempos de sobrevivencia de varios microorganismos en el agua, el suelo, la vegetación y en los cultivos.

AEROSOLES

La concentración de microorganismos patógenos en los aerosoles en función de su concentración en las aguas residuales utilizadas y de la eficacia del proceso de aspersión para producir aerosole (12). La cantidad de agua transformada en aerosoles durante el riego por aspersión con agua residual puede variar entre menos de un 0,1 % hasta un 2 %. Un aerosol se define como una partícula cuyo diámetro oscila entre 0,01 y 50 μm que permanece en suspensión en el aire. Los virus y la mayoría de las bacterias patógenas tienen un tamaño comprendido en el intervalo respirable, por lo tanto, la inhalación es una vía directa de posible infección por aerosoles. La infección o la enfermedad puede contraerse indirectamente por medio de los aerosoles depositados en superficies como las de los alimentos, la vegetación o la ropa. La dosis infecciosa de muchos patógenos es menor cuando se trata de infecciones del aparato respiratorio que en el caso del aparato digestivo; por consiguiente, la inhalación puede ser una vía más probable para la transmisión de enfermedad que el contacto o la ingestión (13).

En general, las bacterias y los virus presentes en los aerosoles permanecen viables y viajan más lejos cuanto mayor es la velocidad del viento, mayor la humedad relativa, menor la temperatura, y más intensa la oscuridad (14, 15, 16). Entre otros factores importantes hay que añadir la concentración inicial de organismos patógenos en el agua residual y el tamaño de las gotas. Diversos estudios han

puesto de manifiesto que concentraciones relativamente altas de aerosoles bacterianos pueden trasladarse a distancias considerables bajo condiciones óptimas. Así por ejemplo, en un estudio se observó que los coliformes fueron transportados entre 90 y 130 m con un viento de 1,5 m/s de velocidad (9). Medidas de aerosoles realizadas en Pleasanton, California, en donde se riega por aspersión con efluente secundario sin desinfectar, pusieron de manifiesto que la concentración media geométrica de enterovirus en los aerosoles, obtenida 50 m en la dirección del viento desde la zona de riego, era de 0,014 unidades formadoras de placa por m³. Esta concentración equivale a una partícula viral en 71 m³ de aire (17).

Diversos estudios (17, 18, 19) indican que la utilización de los organismos indicadores tradicionales para predecir la exposición humana a través de aerosoles proporciona una subestimación significativa de las concentraciones de patógenos. Estos mismos estudios indican que los patógenos sobreviven el proceso de producción de aerosoles de agua residual mucho mejor que los organismos indicadores.

En razón de la escasez de información relativa a los riesgos sanitarios asociados con los aerosoles de agua residual, las implicaciones sanitarias de este tema son difíciles de evaluar. Las investigaciones realizadas hasta el momento parecen indicar que el riesgo sanitario asociado con los aerosoles procedentes del riego por aspersión con agua residual es bajo, en particular si el riego se realiza con agua residual desinfectada. No obstante, pueden haber casos en los que se alcance un mayor nivel de exposición y, en consecuencia, hasta que no se ralicen estudios más precisos y definitivos, para evaluar la capacidad de producir enfermedad de los organismos patógenos contenidos en los aerosoles, lo más prudente es reducir a un mínimo la inhalación de aerosoles que puedan contener organismos patógenos viables.

MORBILIDAD RELATIVA A LA REUTILIZACION DE AGUAS RESIDUALES

Hay evidencia epidemiológica que indica que la reutilización de aguas residuales municipales, especialmente para el riego agrícola, ha dado lugar a la transmisión de enfermedades (9, 20). La mayoría

de los brotes epidémicos registrados han sido el resultado de contaminaciones bacterianas o parasitarias. En todos los casos, la fuente de agua para riego fué agua residual bruta o efluente sin desinfectar. Estos brotes demuestran que las aguas residuales son un material peligroso, con una capacidad significativa para transmitir enfermedades contagiosas. Sin embargo, no ha habido ningún brote epidémico confirmado en California causado por la reutilización de aguas residuales.

Aunque se dispone de escasa información sobre la incidencia de la reutilización de aguas residuales en las enfermedades víricas, la vía de transmisión hídrica, tal como el abastecimiento público, se ha visto implicada en varios brotes de hepatitis infecciosa y de poliomielitis. El estudio de la reincidencia de las enfermedades víricas por vía hídrica, con bajos niveles de morbilidad o endémicas, se ha visto prácticamente ignorado por varias razones:

- 1) los métodos actuales de detección de virus no tienen la suficiente sensibilidad como para detectar con exactitud bajas concentraciones de virus en grandes volúmenes de agua.
- 2) las infecciones entéricas virales no se manifiestan con frecuencia, lo que hace difícil establecer su carácter endémico.
- 3) el carácter aparentemente benigno de muchas de las infecciones entéricas virales dificultan su declaración por parte del paciente o del médico.
- 4) los daños causados por las infecciones entéricas virales puede no ser evidente hasta pasados varios meses o años. (21).
- 5) una vez que un virus entérico se ha introducido en una población, el contacto de persona a persona pasa a ser una de las vías principales de transmisión, ocultando así el papel del agua como vehículo de transmisión.

ORGANISMOS DE LA ADMINISTRACION EN CALIFORNIA

Los principales organismos competentes en la regeneración de las

aguas residuales en California son los siguientes: la Agencia de Protección Ambiental (USEPA), el Ministerio de Recursos Hidráulicos de California, el Consejo de Control de Recursos Hidráulicos del Estado de California, el Ministerio de Servicios Sanitarios de California, organismos de sanidad locales, y los nueve Consejos Regionales de Lucha contra la Contaminación del Agua de California. Desde el punto de vista normativo, la Agencia de Protección Ambiental y el Ministerio de Recursos Hidráulicos de California tienen una importancia relativamente escasa en el campo de la regeneración de las aguas residuales.

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) proporciona la contribución federal de ayudas para la financiación de los proyectos de tratamiento de aguas residuales municipales y establece la normativa que ha de guiar la financiación de los proyectos de regeneración de aguas residuales. La EPA proporciona también asesoramiento técnico en aspectos sanitarios y de otros tipos relacionados con el tratamiento de aguas residuales. El Ministerio de Recursos Hidráulicos de California (MRH) estudia la disponibilidad y el potencial de reutilización de aguas residuales, teniendo en cuenta los efectos ambientales de la reutilización. El MRH contribuye también a la financiación de investigaciones relacionadas con la reutilización de aguas residuales.

El Consejo de Control de Recursos Hidráulicos del Estado (CCRHE) y los Consejos Regionales de Lucha contra la Contaminación del Agua (CRLCCA) tienen como principal responsabilidad la lucha contra la contaminación y la protección de la calidad de las aguas de California, así como la administración de la Ley de aguas. El CCRHE administra los Programas de Ayuda de la Ley del Agua limpia, a nivel estatal y federal, que constituyen la fuente principal de ayuda financiera a los organismos públicos locales para la construcción de instalaciones de tratamiento y vertido de aguas residuales. Entre las instalaciones que pueden ser financiadas pueden señalarse las plantas de tratamiento, los colectores, y bajo ciertas condiciones, las propias instalaciones de distribución.

El Ministerio de Servicios Sanitarios de California (MSS) examina

las exigencias concretas de la regeneración, los planes del proyecto y los documentos ambientales, a la vez que mantiene un programa de vigilancia de la regeneración de las aguas residuales a fin de asegurar un nivel adecuado de protección sanitaria. Además, el MSS posee la autoridad y la responsabilidad que le confieren las Leyes de California para establecer la normativa sanitaria relativa a la reutilización de las aguas residuales domésticas.

Por otra parte, si se establece que se ha producido una contaminación a causa de la reutilización de agua residual regenerada, el MSS y los organismos de sanidad locales tiene la autoridad individual para ordenar la reducción de la contaminación y para dictar órdenes perentorias. El MSS tiene también normativa relativa al control de la interconexión de redes, en la que se establecen las exigencias del sistema de distribución, con el fin concreto de mantener una estricta separación entre el sistema de agua regenerada y el de agua de abastecimiento público. Los organismos de sanidad locales tienen autoridad independiente y pueden, si lo consideran necesario, imponer exigencias más restrictivas que las especificadas por el Ministerio de Servicios Sanitarios de California.

Una parte del Código de Aguas de California, conocida con el nombre de Ley Porter-Cologne de Lucha contra la Contaminación del Agua (22), asigna a los nueve Consejos Regionales la potestad de establecer normas de calidad del agua, de ordenar y hacer cumplir las normativas de vertido necesarias para proteger la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, y, de acuerdo con el MSS, ordenar y hacer cumplir las normativas sobre regeneración de aguas residuales. Estos requisitos pueden aplicarse tanto al que produce las aguas regeneradas, como al que las usa, como a ambos. Por consiguiente, los criterios del MSS relativos a regeneración de aguas residuales los llevan a la práctica los consejos regionales, y cada proyecto de regeneración de aguas residuales ha de tener un permiso del correspondiente CRLCCA, de acuerdo con los criterios del MSS.

En 1978 se efectuaron varias adiciones al Código del Agua que exigen, cuando se cumplen determinadas condiciones, la utilización de agua regenerada, en vez de agua potable, para el riego de zonas verdes.

Las condiciones son las siguientes:

- a) la fuente de agua regenerada es de una calidad adecuada para tal uso y está disponible para ese uso.
- b) el agua regenerada puede suministrarse a las zonas verdes a un coste razonable, es decir el coste de suministrar el agua regenerada es comparable o menor que el coste de suministrar agua potable de consumo público.
- c) el Ministerio de Servicios Sanitarios del Estado considera que la utilización de agua regenerada procedente de la fuente propuesta no representará un peligro para la salud pública.
- d) el uso del agua regenerada no afectará desfavorablemente los derechos de los usuarios en puntos del cauce aguas abajo, no degradará la calidad del agua, y se prevé que no será perjudicial para la vida de las plantas.

NORMATIVAS Y FUNDAMENTO

El Ministerio de Servicios Sanitarios de California ha establecido unos criterios estatales de regeneración de aguas residuales que fueron revisados en 1978. Uno de los objetivos básicos de la normativa del MSS, titulada "Criterios para la regeneración de aguas residuales" (23), es asegurar la protección sanitaria sin cohibir innecesariamente la regeneración de aguas residuales. La normativa establece especificaciones para la reutilización de aguas residuales en casos que impliquen riego, embalse, y recarga de acuíferos. Esta reglamentación engloba normas de calidad del agua, así como especificaciones del proceso de tratamiento, del sistema de suministro y análisis, del esquema explotación y de la fiabilidad del tratamiento. Las normas relativas a la calidad y al tratamiento del agua vienen resumidas en la Tabla 4. El nivel de tratamiento exigido aumenta a medida que crecen las posibilidades de exposición humana al agua residual. Los criterios de regeneración de aguas residuales tratan de asegurar un nivel adecuado de protección sanitaria ante la transmisión de enfermedades, y no se ocupan específicamente de los efectos perjudiciales que el agua regenerada pueda causar en los cultivos, el suelo

TABLA 4. Criterios de calidad y de tratamiento para la regeneración de aguas residuales utilizable en riegos y embalses.

Nivel de tratamiento	Límites de coliformes	Tipo de utilización
Primario		Riego superficial de árboles frutales y viñedos. Forrajes, plantas productoras de fibras naturales y producción de semillas.
Oxidación y Desinfección	23 CT/100 ml	Pastos para animales productores de leche. Estanques de jardín. Riego en jardinería (campos de golf, cementerios etc.)
	2,2 CT/100 ml	Riego superficial de cultivos agrícolas. Estanques recreativos de uso restringido.
Oxidación, Coagulación, Decantación, Filtración y Desinfección	2,2 CT/100 ml máximo = 23 CT/100 ml	Riego por aspersión de cultivos agrícolas. Riego en jardinería (parques, zonas de juego, etc) Estanques recreativos de uso no restringido.

NOTA: La turbiedad del efluente filtrado no debe exceder un valor medio 2 unidades de turbiedad durante ningún período de 24 horas.

o los hábitats acuáticos.

Para la mayoría de las utilizaciones de agua regenerada, la normativa no exige un extenso programa de vigilancia que evidencie la calidad del agua regenerada. Una exigencia como esta eliminaría las numerosas actividades de regeneración de pequeño tamaño, que no podrían permitirse el coste de un programa de vigilancia mínimo. En consecuencia, y en tanto en cuanto no se comprometa la intención de la normativa, se utilizan términos descriptivos bien conocidos por los profesionales del tratamiento de aguas residuales en lugar de límites cuantitativos de parámetros concretos. Así por ejemplo, se exige un "agua residual adecuadamente oxidada" en lugar de un efluente que satisfaga un límite determinado de demanda bioquímica de oxígeno, de materia en suspensión, de oxígeno disuelto, o de otros parámetros. No obstante, los CRLCCA pueden exigir análisis de estos parámetros específicos de calidad del agua, como parte de las especificaciones del vertido del efluente.

RIEGO DE CULTIVOS

Un agua residual conteniendo organismos patógenos puede contaminar los cultivos directamente, por contacto con ella durante el riego, o indirectamente, a través del contacto con el suelo. Los cultivos pueden contaminarse también por el polvo arrastrado por el viento, por los trabajadores, los pájaros y los insectos, que pueden transportar organismos patógenos desde el agua de riego o el suelo hasta la parte comestible de los cultivos.

Cuando el riesgo sanitario es mínimo, la normativa tolera un nivel bajo de tratamiento. Un efluente primario es aceptable para el riego superficial o por aspersión de forrajes, plantas productoras de fibras naturales y producción de semillas, y para riego superficial de árboles frutales y viñedos. Un efluente primario se define como "un efluente de una planta de tratamiento de aguas residuales capaz de eliminar la materia sólida presente en un agua residual, de modo que aquel no contenga más de 0,5 ml/l de materia decantable, determinada por un método analítico autorizado". La decantación primaria elimina normalmente menos del 50 % de los coliformes y bacterias patógenas presentes

en un agua residual, y es relativamente ineficaz para eliminar los virus y protozoos (2, 24, 25).

Los efluentes primarios se han utilizado para el riego superficial de árboles frutales, forrajes, plantas productoras de fibras naturales y producción de semillas durante más de 60 años, sin que se haya observado ningún efecto sanitario desfavorable. Con una utilización adecuada y las correspondientes medidas de control, el contacto de las personas con el agua residual es mínimo. El permitir que los campos se sequen, antes de que los animales pasten en ellos o de que se recoja el forraje, reduce sustancialmente el número de organismos patógenos viables en el cultivo antes de que sea consumido por los animales.

Un efluente primario es aceptable también para el riego superficial de árboles frutales y de viñedos, en razón de la distancia entre el suelo regado y la parte comestible de las plantas. La normativa prohíbe explícitamente la recogida de fruta que ha entrado en contacto con el agua de riego o con el suelo, a pesar de que los organismos patógenos del agua residual no penetran fácilmente en las frutas o los vegetales, a menos que su piel esté dañada. En un estudio en el que el terreno de cultivo fué inoculado con poliovirus, los virus pudieron ser detectados en las hojas de las plantas cuyas raíces estaban dañadas o cortadas (26). A pesar de que se ha podido detectar la absorción de virus por las raíces de las plantas, y su posterior ascensión a las partes superiores de la planta, los autores de estos estudios señalan que este fenómeno no ocurre probablemente con la suficiente regularidad como para convertirlo en un mecanismo importante de transmisión o de sobrevivencia interepidémica de los virus. Por consiguiente, la probabilidad de que se produzca un transporte vascular de organismos patógenos hasta los frutos comestibles de los árboles o los viñedos es extremadamente baja, y los riesgos sanitarios son despreciables.

Como se ha indicado anteriormente, numerosos organismos patógenos pueden sobrevivir en las plantas o en el suelo durante prolongados períodos de tiempo; por lo tanto, el solo hecho de esperar un cierto período de tiempo entre el riego y la recogida de la cosecha, o almacenar comercialmente los productos antes de su venta al público,

no son garantías suficientes para eliminar todos los organismos patógenos que puedan contener. En consecuencia, cuando se trata de productos agrícolas comestibles, debe insistirse en la eliminación de los organismos patógenos presentes en el agua residual, antes de su venta al público, o en la prevención del contacto directo entre el agua residual y la porción comestible del cultivo, de modo que se minimicen los riesgos de transmisión de enfermedades.

Los riesgos varían en función del tipo de cultivo y del método de riego. Si los cultivos de productos comestibles se riegan en superficie, de modo que no se produzca contacto entre la porción comestible y el agua regenerada, un efluente secundario desinfectado puede ser suficiente. Un agua residual se considera como adecuadamente desinfectada cuando en algún punto del proceso de tratamiento la concentración mediana de coliformes totales no excede de 2,2 CT/100ml. Esta concentración mediana se determina a partir de los resultados bacteriológicos de los análisis realizados durante los últimos siete días; por otra parte, todas las secciones de la normativa relacionadas con los límites de coliformes exigen un muestreo diario.

Como se ha indicado anteriormente, la normativa exige la determinación de coliformes en el efluente en lugar de la determinación directa de los agentes infecciosos. El grupo de los coliformes totales incluye bacterias características del intestino humano o del de otros mamíferos. Los coliformes están presentes de forma natural en las heces de animales de sangre caliente, en concentraciones superiores a las de los organismos patógenos, y son fáciles e inconfundiblemente detectables, muestran una correlación positiva con la contaminación fecal, y responden generalmente de modo similar a los organismos patógenos ante condiciones ambientales y procesos de tratamiento. En consecuencia, el MSS ha seleccionado el grupo de los coliformes totales como los organismos indicadores tanto de la presencia o ausencia de contaminación fecal en un agua, como de la posible presencia o ausencia de agentes infecciosos. A pesar de que el grupo de los coliformes totales incluye especies que no están directamente asociados con materia fecal, los coliformes totales no constituyen un parámetro indicador excesivamente conservador. Ha habido casos en que el análisis de coliformes totales no ha indicado la presencia

de organismos patógenos en el agua, y se sabe que el grupo coliformes es menos resistente a la desinfección con cloro que determinados organismos patógenos tales como los quistes de protozoos y los virus entéricos.

En razón de la corta distancia que existe entre el agua de riego y los cultivos en la mayor parte de los sistemas de riego, existe la posibilidad de un contacto ocasional entre el agua residual, o el suelo contaminado, y el cultivo, como consecuencia de salpicaduras, transmisión por vectores, polvo arrastrado por el viento, o inundación causada por una utilización excesiva de agua regenerada. Sin embargo, teniendo en cuenta la frecuencia relativamente tan baja de que ocurran tales incidentes, no sería realista exigir que el agua de riego esté desprovista de cualquier agente infeccioso. Normalmente, un agua residual que satisfaga el límite de 2,2 CT/100ml ha sido sometida a un alto grado de tratamiento y, aunque el efluente no esté estrictamente desprovisto de organismos patógenos, su utilización para el riego superficial de cultivos comestibles no implica riesgos sanitarios indebidos.

El riego por aspersión de cultivos comestibles requiere una normativa más estricta que la de riego superficial, en razón del contacto directo entre el agua residual y las plantas. Los organismos que contaminan los cultivos comestibles permanecen viables en la superficie de los frutos hasta que mueren por desecación, exposición a la luz solar, falta de alimento, o acción de otros organismos o agentes químicos. La fiabilidad y la total eficacia de la inactivación de organismos patógenos por estos mecanismos es dudosa. Por consiguiente, el riego por aspersión de cultivos que son vendidos o consumidos crudos exige un efluente terciario libre de organismos patógenos. El riego superficial de tubérculos como las zanahorias, las remolachas, las patatas y las cebollas, da lugar también al contacto directo de la planta con el agua residual y, por consiguiente, el riego de este tipo de cultivos está sometido al mismo tipo de exigencias.

La selección de la línea de tratamiento especificada en los Criterios de Regeneración de Aguas Residuales para obtener un efluente libre de organismos patógenos se ha basado en estudios realizados hacia

varios años, destinados a establecer la capacidad de eliminación de virus por parte de los procesos avanzados de tratamiento de aguas residuales. Estudios más recientes (28, 29) han permitido verificar la eficacia de la línea de tratamiento compuesta por los procesos de oxidación, coagulación química, decantación, filtración y desinfección. Los resultados indican que un agua residual que reciba este tipo de tratamiento y satisfaga los niveles de determinados componentes estará básicamente desprovista de todos los organismos patógenos detectables. Las normas de calidad establecen una concentración límite de coliformes totales de 2,2 CT/100 ml así como límites para la turbiedad. La norma relativa a la turbiedad guarda relación con la definición de agua residual filtrada, según la cual la turbiedad no puede exceder un valor medio de 2 unidades de turbiedad, ni un valor de 5 unidades de turbiedad durante más de un 5 % del tiempo a lo largo de 24 horas. La normativa exige que los análisis de turbiedad se realicen en continuo mediante un turbidímetro con registrador. La experiencia ha puesto de manifiesto que estos límites de turbiedad pueden alcanzarse fácilmente en una instalación de tratamiento de aguas residuales bien explotada, en la que se utilicen unos procesos de coagulación química y filtración. Por otra parte, esto favorece enormemente la eficacia del proceso de desinfección posterior. El MSS reconoce que la identificación de virus en aguas y aguas residuales está dificultado por las limitaciones de las técnicas de muestreo, los problemas de concentración de las muestras, la complejidad y el elevado coste de los métodos analíticos, y el número reducido de laboratorios con el personal y los instrumentos necesarios para realizar los análisis. Además, los métodos analíticos de cultivo para determinar la presencia o ausencia de virus en una muestra de agua requieren 14 días aproximadamente. Por consiguiente, en lugar de una norma basada en virus, se han establecido las exigencias de tratamiento y de calidad descritas anteriormente, con objeto de asegurar en parte que el agua residual no contenga ningún organismo patógeno, incluidos los virus.

Se pueden hacer excepciones a las exigencias de calidad de aguas regeneradas utilizadas para el riego de cultivos, cuando sus frutos vayan a ser sometidos a un proceso de comercialización básico o químico.

co suficiente, destinado a destruir los organismos patógenos antes de su venta para consumo humano. Estas excepciones han de ser aprobadas por el MSS, en base a una evaluación exhaustiva de la capacidad y fiabilidad del proceso concreto para destruir los organismos patógenos. En razón de las posibilidades de transmisión de organismos infecciosos que el manejo de productos potencialmente contaminados ofrece, no se permite la venta de estos productos o, de forma alternativa, no se permite al público su manejo hasta que no han sido tratados. Esta exigencia asegura que el proceso de transmisión de organismos patógenos se vea interrumpido y que alimentos frescos contaminados no puedan llegar a zonas de preparación de alimentos.

No existen en California normativas específicas relativas al empaquetado, distribución o venta de productos agrícolas cultivados con aguas residuales municipales regeneradas. El MSS ha adoptado la posición de que un proyecto de riego de productos agrícolas, adecuadamente diseñado y explotado, que satisfaga todas las normas correspondientes, no presenta riesgos sanitarios indebidos para el consumidor, y por tanto el MSS no exigirá o recomendará la utilización de un etiquetado especial en el que se informe al público que los productos fueron regados con aguas residuales regeneradas.

RIEGO DE JARDINES

Los Criterios de Regeneración de Aguas Residuales distinguen diversos tipos de riego de jardines, dependiendo del grado de acceso del público a la zona de utilización y de la posible exposición al agua residual. Un agua residual que ha sido sometida a un tratamiento secundario y a un proceso de desinfección que la sitúe por debajo del límite de 23 CT/100 ml, tal como se exige para el riego de campos de golf y otros tipos de jardinería similares, puede contener tanto bacterias como virus, por lo que el contacto directo con el agua deberá evitarse. Sin embargo, si se supone que el riego tiene lugar cuando al público no se le permite utilizar la zona, y que se deja transcurrir un período de tiempo suficiente para que los terrenos estén secos antes de su utilización, no podrá producirse ningún contacto directo con el agua residual, y los riesgos sanitarios

sólo podran producirse por contacto indirecto con la hierba, los arbustos, o los objetos que fueron mojados previamente con el agua residual regenerada. Un contacto indirecto de esta naturaleza es relativamente infrecuente, tanto en un campo de golf como en los jardines de una autopista o de un cementerio, y no justifica la exigencia de que el agua residual haya de estar libre de cualquier organismo patógeno.

Por otra parte, los parques, los jardines de recreo, los jardines escolares, y zonas similares ofrecen un acceso más fácil y gozan de un uso más intenso; además, los niños pueden ser más susceptibles a algunos de los organismos patógenos normalmente presentes en un agua residual. Por consiguiente, las exigencias de calidad y de tratamiento para este tipo de riego de jardinería son idénticos a los de riego por aspersión de productos agrícolas.

La posibilidad de transmisión de enfermedades, a través del arrastre de aerosoles con el viento desde un punto de riego de jardinería, ha de ser tenida en cuenta también, en razón de la proliferación de proyectos de reutilización en zonas urbanas o zonas adyacentes a núcleos de población. El grado de peligrosidad depende de varios factores, en particular del grado de tratamiento de las aguas residuales, de la distancia de transporte de las gotitas de aguas, de la proximidad de núcleos de población o de zonas de acceso público, de las condiciones climáticas predominantes, y del diseño del sistema de riego. En situaciones en que los aerosoles de agua regenerada no queden confinados a la zona de utilización y puedan alcanzar áreas pobladas puede ser necesario disponer de un efluente libre de organismos patógenos, a pesar de que la zona utilizada tolere un agua de peor calidad.

ESTANQUES

El fundamento de las exigencias relativas a estanques de jardín y de recreo es similar al descrito anteriormente para el caso de riegos. Un estanque de jardín es una masa de agua regenerada utilizada para satisfacción estética, o que cumple una función que no implica

el contacto con el público. En razón de la reducida posibilidad de contacto con el agua regenerada, un efluente secundario que satisfaga el límite de 23 CT/100 ml es aceptable para un estanque de jardín.

Un estanque recreativo de uso restringido es una masa de agua regenerada en la que las actividades de recreo están limitadas a la pesca, la navegación y otras actividades que no implican el contacto del cuerpo con el agua. Lógicamente, el contacto accidental con el agua es posible en un estanque de recreo de uso restringido y, por consiguiente, el agua no debe contener concentraciones elevadas de agentes infecciosos. La desinfección de un efluente secundario, que permita satisfacer el límite de 2,2 CT/100 ml, proporciona un agua que, aunque no estará exenta de organismos patógenos, contendrá un número lo suficientemente reducido de estos como para que un contacto accidental no haga aumentar sustancialmente el riesgo sanitario. Siguiendo esta misma lógica, los Criterios de Regeneración de Aguas Residuales especifican que "un agua regenerada que se utilice como fuente de abastecimiento en un estanque recreativo de uso restringido deberá ser en todo momento un agua residual oxidada y adecuadamente desinfectada. El agua residual se considerará adecuadamente desinfectada si en algún punto del proceso de tratamiento la concentración mediana de coliformes totales no excede 2,2 CT/100 ml; la observancia de esta norma se deducirá a partir de los resultados de los análisis bacteriológicos realizados durante los últimos siete días". Los mayores peligros se presentan en los estanques recreativos de uso no restringido, donde no existe ningún tipo de limitación en las actividades deportivas que impliquen el contacto directo del cuerpo con el agua. En estas circunstancias existe un contacto íntimo con el agua regenerada, incluyendo la posibilidad de ingerir agua cuando se nada. Es obvio que para este tipo de estanques el agua residual ha de ser sometida a un nivel de tratamiento que asegure una eliminación continua y completa de todos los organismos patógenos. Por consiguiente, las exigencias de tratamiento y de calidad para el agua regenerada utilizada en estanques recreativos de uso restringido son idénticas a las especificadas para el agua regenerada utilizada para regar cultivos agrícolas, es decir, un agua residual adecuada-

mente oxidada, coagulada, decantada, filtrada y desinfectada, cuya concentración mediana de coliformes totales no exceda de 2,2 CT/100 ml, y cuyas concentraciones de coliformes totales no excedan 23 CT/100 ml en más de una muestra dentro de un período de 30 días consecutivos.

RECARGA DE ACUIFEROS

La reutilización indirecta de aguas residuales para abastecimiento público presenta un abanico mucho más amplio de riesgos sanitarios que los asociados a usos de orden inferior. Para usos que implican la ingestión de agua, los efectos sanitarios debidos a una exposición prolongada de bajas concentraciones de contaminantes químicos orgánicos e inorgánicos han de ser tenidos en cuenta, junto con los efectos sanitarios agudo producidos por organismos patógenos o sustancias tóxicas.

Los componentes químicos de significación sanitaria que pueden estar presentes en un agua residual regenerada comprenden una amplia variedad de productos químicos, tales como metales pesados, pesticidas e hidrocarburos clorados. A pesar que la composición mineral de un agua regenerada que se incorpore de cualquier modo a un sistema de abastecimiento público puede tener un impacto sobre la salud pública, no se considera que sus efectos sanitarios son de naturaleza diferente a la de los mismos componentes minerales presentes de forma natural en el agua. Generalmente, se han establecido límites para estos componentes minerales y, a pesar de que las aguas regeneradas están más mineralizadas que las aguas de abastecimiento de donde proceden y de que es muy probable que contengan más metales pesados o nitratos que la mayoría de las aguas naturales, estas sustancias pueden detectarse fácilmente y su presencia puede ser reducida o eliminada mediante tratamiento, a fin de evitar un peligro sanitario.

Se dispone de cierta información sobre los efectos crónicos producidos por la ingestión de pequeñas cantidades de metales, y se han establecido los niveles permisibles de estos componentes en el agua de

consumo público. Por el contrario, la información relativa a la presencia y concentración de componentes orgánicos es extremadamente escasa, y existe una creciente preocupación de que pequeñas concentraciones de estas sustancias puedan producir efectos a largo plazo, de carácter cancerígeno, mutagénico o teratogénico.

A pesar de la insuficiencia de la información necesaria para desarrollar la reglamentación relativa a la recarga de acuíferos por riego superficial, en términos de componentes orgánicos específicos, es posible ofrecer una protección sanitaria por medio del establecimiento de criterios múltiples, entre los que figuran un tratamiento aceptable mínimo, unas exigencias de fiabilidad del tratamiento, unas normas de calidad generales y específicas, unos límites de sustancias indicadoras, unas exigencias de control de las fuentes, unas normativas de vigilancia, y otras salvaguardas. Los Criterios de Regeneración de Aguas Residuales indican que "un agua regenerada utilizada para recarga de acuíferos utilizados como fuente de abastecimiento público, por medio de infiltración superficial, deberá tener en todo momento una calidad capaz de proteger completamente la salud pública", y que el Ministerio de Servicios Sanitarios establecerá las recomendaciones adecuadas para cada caso particular "en base a todos los aspectos relevantes de cada proyecto y, en especial, a los siguientes factores: tratamiento efectuado, calidad y cantidad del efluente, técnicas de trabajo en la zona de riego, características del suelo, hidrogeología, tiempo de residencia, y distancia al punto de extracción".

Como se ha indicado anteriormente, el MSS evalúa cada proyecto de recarga de acuíferos individualmente. El Ministerio está evaluando actualmente los datos relativos a efectos sanitarios y demás información disponible sobre las instalaciones de recarga existentes y los estudios de investigación, de modo que puedan adoptarse decisiones razonadas respecto al control normativo de la recarga de acuíferos por infiltración superficial.

REUTILIZACION DIRECTA COMO AGUA POTABLE

La reutilización directa como agua de abastecimiento público conlleva una gama mucho más amplia de riesgos potenciales para la salud pública que los demás usos. Merecen atención especial las sustancias orgánicas e inorgánicas que, de forma individual o en conjunto, pueden provocar una respuesta sanitaria desfavorable al cabo de muchos años de acción sobre los cuerpos de la población expuesta.

La política del Ministerio de Servicios Sanitarios de California ha consistido siempre en que el agua de mejor calidad disponible se use para abastecimiento público, y que el agua de menor calidad se utilice para usos menos exigentes. Antes de poder considerar la reutilización directa del agua para abastecimiento público es necesario satisfacer las siguientes condiciones:

- 1) el proyecto que se propone es necesario.
- 2) no se dispone de fuentes alternativas.
- 3) se han establecido datos científicos fundamentales de que no se producirán efectos sanitarios desfavorables, en razón de la exposición prolongada a cualquier componente químico que pueda atravesar el proceso de regeneración.
- 4) los procesos de tratamiento proporcionarán un agua libre de cualquier organismo patógeno.
- 5) se asegura una fiabilidad absoluta del tratamiento.
- 6) el público acepta la propuesta de reutilización como fuente de agua potable.
- 7) se reconocen y asumen las responsabilidades, morales y financieras, que las instalaciones de reutilización directa, como fuente de agua potable, imponen en sus administradores.

Es evidente que todavía es necesario realizar extensas investigaciones en este campo, y que por tanto los proyectos de reutilización directa de aguas residuales como fuente de abastecimiento público deben posponerse hasta que se disponga de una cantidad razonable de información científica. Mientras tanto, los proyectos de reutilización de aguas pueden y deben continuar, a fin de satisfacer usos que

no requieren un agua de calidad similar a la potable de consumo público.

FIABILIDAD DEL TRATAMIENTO

A pesar de la evidente necesidad de disponer de un tratamiento adecuado, no se reconoce fácilmente la necesidad igualmente importante de asegurar la fiabilidad de dicho tratamiento. Un estudio a nivel nacional de 103 plantas de tratamiento biológico de aguas residuales puso de manifiesto que las diez causas principales del mal funcionamiento de las plantas podían atribuirse a unos métodos inadecuados o incorrectos de muestreo y análisis para el control del proceso, a un manual de explotación y mantenimiento ineficaz, y a unas deficiencias significativas de proyecto. Una de las recomendaciones del estudio fue que los esfuerzos normativos federales y estatales se enfocaran hacia la observancia y exigencia de las responsabilidades especificadas en la normativa, a fin de promover un funcionamiento óptimo de las instalaciones existentes. Un estudio similar de 50 plantas de tratamiento puso en evidencia que sólo 13 de ellas satisfacían permanentemente las normas de calidad mínimas de un tratamiento secundario, y que 6 de los diez primeros factores que limitaban el rendimiento de las plantas tenía relación con el diseño de los procesos de tratamiento (31).

El aumento en el número de actividades de regeneración de aguas residuales, y el uso cada vez más frecuente de agua residual regenerada en zonas públicas, han hecho aumentar la población sometida al riesgo potencial de exposición a aguas residuales; en consecuencia, la morbilidad potencial debida a la distribución de agua incorrectamente tratada a las zonas de uso ha aumentado también. Es evidente por tanto, la necesidad de establecer las medidas correctoras necesarias que aseguren fiabilidad del tratamiento, si se desea que el riesgo sanitario debido al uso de agua residual regenerada se mantenga lo más bajo posible.

Los Criterios de Regeneración de Aguas Residuales establecen los requisitos, tanto de proyecto como de explotación, necesarios para

asegurar un nivel apropiado de fiabilidad del tratamiento. La normativa exige dispositivos de seguridad esenciales tales como sistemas de alarma, generadores eléctricos de reserva, fiabilidad del proceso de tratamiento (unidades múltiples o de reserva, piezas de repuesto, etc.) dispositivos de emergencia para el almacenamiento o vertido de aguas residuales inadecuadamente tratadas, supresión de dispositivos de by-pass del proceso de tratamiento, instrumentos de vigilancia y de control de automáticos, y flexibilidad de diseño. Al margen de la cantidad de automatismos incorporados en la planta, los equipos mecánicos sufren averías, por lo que es absolutamente necesario disponer de operarios cualificados y experimentados para asegurar la fiabilidad de un efluente satisfactoriamente tratado. Este aspecto es tenido en cuenta en la normativa, y se exige la presencia de personal titulado en todas las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Desde el punto de vista sanitario, las exigencias relativas a una desinfección adecuada y fiable son los aspectos esenciales del proceso de tratamiento. Cuando se exige la desinfección del agua, los criterios de regeneración establecen la incorporación en el sistema de los siguientes dispositivos, a fin de asegurar un suministro ininterrumpido de cloro: suministro de cloro de reserva, sistemas de válvulas para conectar las bombonas de cloro, balanzas para pesar el cloro, y dispositivos automáticos para la entrada en servicio de los contenedores de cloro llenos. Como ocurre con otros procesos unitarios, existen varias alternativas para satisfacer las exigencias de fiabilidad del proceso de tratamiento, tales como alarmas, equipos de reserva, posibilidades de almacenamiento o vertido de emergencia, y cloración en diversos puntos.

RESUMEN

El Estado de California ha sido un líder en el campo de la regeneración de aguas residuales y promueve activamente la reutilización para usos que no pongan en peligro la salud pública. Los riesgos sanitarios asociados a muchos tipos de reutilización son aceptables, si se mantiene una calidad adecuada del agua regenerada, una fiabilidad

del tratamiento, una vigilancia sistemática y un control de la zona de utilización. Como contribución al esfuerzo coordinado con otros organismos, el Ministerio de Servicios Sanitarios ha desarrollado un extenso programa de regeneración de aguas residuales, que comprende las normativas para el uso del agua regenerada en riego, estanques, y recarga de acuíferos, de modo que pueda asegurarse que el público no se vé expuesto a unos riesgos sanitarios excesivos.

REFERENCIAS

1. National Academy of Sciences, National Academy of Engineering Committee on Water Quality Criteria. Water Quality Criteria. EPA-R3-73-003, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., 1972.
2. Bryan, F.L. "Diseases Transmitted by Foods Contaminated by Wastewater". p. 16-45. In: Wastewater Use in the Production of Food and Fiber-Proceedings. EPA-660/2-74-041, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., 1974.
3. Cliver D.O. "Infection with Minimal Quantities of Pathogens from Wastewater Aerosols". p. 78-88. In: H.R. Pahren and W. Jakubowski (eds.) Wastewater Aerosols and Disease. EPA-600/9-80-028, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH, 1980.
4. Foster, D.H., and R.S. Engelbrecht. "Microbial Hazards of Disposing of Wastewater Through Forest and Cropland". p. 217-241. In: W.E. Sopper (ed.) Conference on Recycling Treated Municipal Wastewater Through Forest and Cropland. EPA-660/2-74-003, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., 1974.
5. Pipes, W.O. (ed.). Water Quality and Health Significance of Bacterial Indicators of Pollution. p. 14-15. Proceedings of a Workshop held at Drexel University, Philadelphia, PA on April 17 and 18 1978.
6. California Department of Health, and R.C. Cooper. "Wastewater Contaminants and Their Effect on Public Health". p. 33-82. In: A 'State-of-the Art' Review of Health Aspects of Wastewater Reclamation for Groundwater Recharge. State of California, Department of Water Resources, Sacramento, CA, 1975.
7. American Society of Civil Engineers, Committee on Environmental Quality Management of the Sanitary Engineering Division. "Engineering Evaluation of Virus Hazard in Water". ASCE, San Engrg. Div., 96 (SA1): 111-161, 1970.
8. Crook, J. "Wastewater Reuse in California--Regulations and Rationale". p. 263-281. In: L. Waldorf and J.L. Evans (eds.) Individual

- Onsite Wastewater Systems. Proceedings of the Eighth National Conference, National Sanitation Foundation, Ann Arbor, MI, 1982.
9. Sepp, E. The Use of Sewage for Irrigation--A Literature Review. California Department of Public Health, Bureau of Sanitary Engineering, Berkeley, CA, 1971.
 10. Larkin, E.P., J.T. Tierney, and R. Sullivan. "Persistence of Virus on Sewage-Irrigated Vegetables". ASCE, Jour. Environ. Engrg. Div., 102(EE1): 29-35, 1976.
 11. Feachem, R., H. Garelich, and J. Slade. "Enteroviruses in the Environment". Trop. Dis. Bull., 78(3): 185-230, 1981.
 12. U.S. Environmental Protection Agency, Process Design Manual for Land Treatment of Municipal Wastewater. EPA-625/1-77-008, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH, 1977.
 13. Hoadley, A.W., and S.M. Goyal. "Public Health Implications of the Application of Wastewater to Land". p. 1092. In: R.L. Sanks and T. Asano (eds.) Land Treatment and Disposal of Municipal and Industrial Wastewater. Ann Arbor Science Publishers, Inc., Ann Arbor, MI, 1976.
 14. Sorber, C.A., et al. "A Study of Bacterial Aerosols at a Wastewater Irrigation Site". Jour. Water Poll. Control Fed., 48(10):2367-2379, 1976.
 15. Hickey, J.S.L., and P.C. Reist. "Health Significance of Airborne Microorganisms from Wastewater Treatment Processes--Part I: Summary of Investigations" Jour. Water Poll. Control Fed., 47(12): 2741-2757, 1975.
 16. Hickey, J.S.L., and P.C. Reist. "Health Significance of Airborne Microorganisms from Wastewater Treatment Processes--Part II: Health Significance and Alternatives for Action", Jour. Water Poll. Control Fed., 47(12):2758-2773, 1975.
 17. Johnson, D.E., et al. The Evaluation of Microbiological Aerosols Associated With the Application of Wastewater to Land: Pleasanton, CA. EPA-600/1-80-015, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH, 1980.

18. Fanin, K.F., et al. "Studies on Coliphages and Coliforms as Indicators of Airborne Animal Viral Contamination From Wastewater Treatment Facilities". *Water Res.*, 11(2):181-188, 1977.
19. Teltsch, B., et al. "Isolation and Identification of Pathogenic Microorganisms at Wastewater-Irrigated Fields: Rations in Air and Wastewater". *Appl. Environ. Microbiol.*, 39(6):1183-1190, 1980.
20. Melick, C.O. "The Possibility of Typhoid Infection Through Vegetables". *Jour. Infect. Dis.*, 21(1): 28-38, 1917.
21. Horstmann, D.M., et al. "Enterovirus Surveillance Following a Community-wide Oral Polio Virus Vaccination Program: A Seven Year Study". *Am. Jour. Epidemiol.*, 97(3):173-186, 1973.
22. California State Water Resources Control Board. The Porter-Cologne Water Quality Control Act. California State Water Resources Control Board, Sacramento, CA, 1979.
23. California Department of Health Services. Wastewater Reclamation Criteria. Calif. Admin. Code, Title 22, Div. 4, California Department of Health Services, Berkeley, CA, 1978.
24. Clarke, N.A., et al. "Removal of Enteric Viruses from Sewage by Activated Sludge Treatment". *Amer. Jour. Pub. Health*, 51(8): 1118-1129, 1961.
25. Mack, W.N., et al. "Enterovirus Removal by Activated Sludge Treatment". *Jour. Water Poll. Control Fed.*, 34(11):1133-1139, 1962.
26. Shuval, H.I. "Land Treatment of Wastewater in Israel". p. 429-436. In: State of Knowledge in Land Treatment of Wastewater, Vol. 1. Proceedings of an International Symposium, U.S. Army Corps of Engineers, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, NH, August 20-25, 1978.
27. Murphy, W.H., and J.T. Syverton. "Absorption and Translocation of Mammalian Viruses by Plants. II. Recovery and Distribution of Viruses in Plants". *Virology*, 6(3):623, 1958.
28. Sanitation Districts of Los Angeles County. Pomona Virus Study Final Report. California State Water Resources Control Board,

Sacramento, CA, 1977.

29. Engineering-Science. Monterey Wastewater Reclamation Study for Agriculture-Year Three Annual Report. p. 4-4 - 4-5. Prepared for Monterey Regional Water Pollution Control Agency, Engineering-Science, Berkeley CA, 1983.
30. Evans, F.L., III. "Summary of National Operational and Maintenance Cause and Effect Survey". p. 1-7. In: Technology Transfer, U.S. Environmental Research Information Center, Cincinnati, OH, 1979.
31. Hegg, B.A., K.L. Rakness, and J.R. Schultz. "Evaluation of O & M Factors Limiting Wastewater Performance". *Pollut. Engrg.*, 12(3):39-45, 1980.

TABLE 2. PRINCIPALES ORGANISMOS PATOGENOS QUE PUEDEN ESTAR PRESENTES EN UN AGUA RESIDUAL DOMESTICA

ORGANISMO PATOGENO	ENFERMEDAD
<u>Protozoa</u>	
<i>Entamoeba histolytica</i>	Amebiasis (amebic dysentery)
<i>Giardia lamblia</i>	Giardiasis
<i>Balantidium coli</i>	Balantidiasis
<u>Helminths</u>	
<i>Ascaris lumbricoides</i> (Roundworm)	Ascariasis
<i>Ancylostoma duodenale</i> (Hookworm)	Ancylostomiasis
<i>Necator americanus</i> (Roundworm)	Necatoriasis
<i>Strongyloides stercoralis</i> (Threadworm)	Strongyloidiasis
<i>Ancylostoma</i> (spp.) (Hookworm)	Cutaneous Larva Migrans
<i>Trichuris trichiura</i> (Whipworm)	Trichuriasis
<i>Taenia</i> (spp.) (Tapeworm)	Taeniasis
<i>Enterobius vermicularis</i> (Pinworm)	Enterobiasis
<i>Echinococcus granulosus</i> (spp.) (Tapeworm)	Hydatidosis
<u>Bacteria</u>	
<i>Shigella</i> (4 spp.)	Shigellosis (dysentery)
<i>Salmonella typhi</i>	Typhoid fever
<i>Vibrio cholerae</i>	Cholera
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Yersiniosis
<i>Escherichia coli</i> (enteropathogenic)	Gastroenteritis
<i>Leptospira</i> (spp.)	Leptospirosis
<i>Salmonella</i> (~1700 spp.)	Salmonellosis
<u>Viruses</u>	
Enteroviruses (71 types) (Polio, Echo, Coxsackie)	Gastroenteritis, heart anomalies, meningitis, others
Hepatitis A virus	Infectious hepatitis
Adenovirus (31 types)	Respiratory disease
Rotavirus	Gastroenteritis
Parvovirus	Gastroenteritis

TABLE 3. TIEMPOS DE SOBREVIVENCIA DE DETERMINADOS ORGANISMOS

ORGANISMO	MEDIO	TIEMPO DE SUPERVIVENCIA (DIAS)
<i>Ascaris ova</i>	Vegetales	27 - 35
	Suelo	730 - 2010
<i>Entamoeba histolytica</i>	Vegetales	3
	Suelo	6 - 8
	Agua	60 ⁺
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	Suelo	180 ⁺
	Hierba	10 - 40
	Agua	30 - 90
<i>Salmonella</i> (spp.)	Vegetales	3 - 40 ⁺
	Suelo	15 - 280 ⁺
	Pastos	200 ⁺
	Hierba	100 ⁺
<i>Salmonella typhi</i>	Vegetales	10 - 53
	Lechuga	18 - 21
	Suelo	2 - 120
	Agua	87 - 104
<i>Shigella</i> (spp.)	Vegetales	7
	Hierba	42
<i>Shigella sonnei</i>	Tomates	2 - 10
<i>Streptococcus faecalis</i>	Suelo	26 - 77
<i>Vibrio cholerae</i>	Vegetales	5 - 14
<i>Vibrio comma</i>	Agua	32
Poliovirus	Agua	20

LA REUTILITZACIO D'AIGÜES
EN EL
PLA DE SANEJAMENT DE CATALUNYA

M. Suárez

LA REUTILITZACIO D'AIGÜES
DINS DEL
PLA DE SANEJAMENT DE CATALUNYA

M. Suarez i Novoa
Enginyer Industrial
Junta de Sanejament
Departament de Política Territorial i
Obres Públiques

RESUM

La llei 5/1981, de 4 de juny, del Parlament de Catalunya, crea un nou marc d'actuació per la resolució del problema de contaminació d'aigües dins del Principat, coordinant l'acció de les diferents administracions, realitzant una planificació prèvia, promovent un ús més racional de l'aigua i assegurant el finançament.

A la comunicació es fa una breu descripció de la Llei analitzant els efectes que ha de tenir sobre la reutilització de les aigües residuals.

INTRODUCCIO

Dins del territori de Catalunya existeix una gran desigualtat en la distribució dels recursos hidràulics i dels assentaments de la població i indústria. Aquestes desigualtats juntament amb una manca d'infraestructures de sanejament d'aigües residuals ha conduït a

l'existència d'importants problemes de contaminació en determinades zones, a la insuficiència local de recursos hídrics i a la progressiva destrucció dels existents a causa d'una qualitat inadequada, que fa sentir els seus efectes a un percentatge molt alt de la població de Catalunya.

La manca d'infraestructura de sanejament ha estat provocada per la insuficiència de recursos econòmics destinats a aquest sector i per deficiències de la legislació vigent que no assegurava els fons necessaris pel tractament de les aigües residuals i que no permetia fer la planificació de les actuacions seguint criteris racionals. Sovint eren els municipis els planificadors en acceptar col.laborar amb les inversions que pretenia fer l'Administració Central.

La societat catalana era conscient del gran problema que representava l'alt grau de contaminació existent i els representants polítics de tots els partits presents alhora al Parlament de Catalunya van votar favorablement la Llei 5/1981, de 4 de juny, presentada per la Generalitat, atorgant a l'Executiu un instrument vàlid per dotar a Catalunya d'unes aigües de qualitat adequades.

LA LLEI 5/1981, DE 4 DE JUNY, SOBRE DESPLEGAMENT LEGISLATIU EN MATERIA D'EVACUACIÓ I TRACTAMENT D'AIGÜES RESIDUALS

La Llei té per objecte "garantir una actuació coordinada i eficaç en matèria d'obres i serveis d'evacuació, tractament i recuperació de les aigües residuals en el territori de Catalunya" (art. 1.1).

Resolt el finançament de les actuacions a realitzar mitjançant l'aplicació d'un increment de tarifa, sobre els consums realitzats de xarxes de subministrament, i un Cànon de Sanejament, aplicat als consums privats d'aigua. Aquest finançament es completa amb les subvencions que puguin provenir de la Generalitat, Administració Central i Local.

La Llei 5/1981 és fonamentalment una Llei de finançament i planificació que es basa en els següents principis:

Equitat : Tots els contaminadors de l'aigua paguen en funció de la càrrega contaminant abocada.

Solidaritat : Tots els contaminadors d'una zona (conca/ques hidrogràfica/ques) contribueixen solidàriament a resoldre els problemes de contaminació de la mateixa.

Progressivitat : Es acceptar el fet que no pot resoldre's instantàniament el problema de la contaminació i es planifica l'execució progressiva de les infraestructures necessàries, en funció dels recursos disponibles.

Rendibilitat : Es realitzen en primer lloc les obres que produeixen un més gran benefici per l'obtenció del objectius globals de la zona i s'afavoreix la depuració conjunta d'abocaments industrials i domèstics de vàries poblacions, eliminant divisions territorials administratives, tot executant la solució més avantatjosa tècnica-ment i econòmica.

ORGANITZACIO ADMINISTRATIVA. COMPETENCIES. PARTICIPACIO DELS USUARIS

En el quadre i pot apreciar-se de forma simplificada l'estructura administrativa, les funcions a desenvolupar i la participació dels usuaris previstes a la Llei 5/1981 per la realització de les actuacions d'evacuació i tractament de les aigües residuals en el territori de Catalunya que hagin d'ésser finançades amb els recursos de la pròpia Llei. Com tot intent de simplificació no recull exhaustivament tots els casos que es poden presentar i requereix de comentaris addionals.

La Generalitat, a més de les funcions que s'indiquen, pot redactar projectes tècnics d'obres, assumir la gestió del servei de sanejament i executar les obres que les circumstàncies ho aconsellen, degut a l'especialització tècnica, manca d'iniciativa de l'administració actuant, execució de les obres que subvencioni, etc.

La Administració Local pot realitzar tasques de planificació, que s'hauran de sotmetre a l'aprovació de la Generalitat, i exercir la gestió recaptadora per delegació.

Amb l'organització prevista a la Llei 5/1981 s'aconsegueix l'execució coordinada de les actuacions de sanejament en existir una autoritat única responsable de la planificació, tot respectant les competències municipals. La Junta de Sanejament col.labora amb els ajuntaments aportant els mitjans tècnics per un millor plantejament i desenvolupament de les solucions. No es creen nous organismes tècnics per a l'execució de les obres, considerant que són suficients els existents, potenciats, cas que sigui necessari, per fer front a les noves realitzacions. La llei únicament crea la Junta de Sanejament, peça clau en el nou esquema.

LA JUNTA DE SANEJAMENT

Es un Organisme Autònom de caràcter administratiu adscrit al Departament de Política Territorial i Obres Públiques de la Generalitat al que correspon la formació, orientació, coordinació i fiscalització de les actuacions concernents a la planificació, execució i explotació de les infraestructures d'evacuació d'aigües residuals, estacions depuradores i emissaris submarins, així com dels sistemes de reutilització de les aigües depurades en els termes previstos per la Llei.

La Junta de Sanejament s'ha estructurat amb dos òrgans, el Consell de Direcció i la Direcció de Sanejament. En el Quadre 2 s'exposa la composició d'ambdós organismes.

Com pot apreciar-se, a la composició del Consell de Direcció hi ha la representació de diferents departaments de la Generalitat, a través de Directors Generals, i dels municipis, amb la qual cosa s'ha d'aconseguir que la política de sanejament que es desenvolupi sigui coherent amb els criteris generals de govern de la Generalitat, assumint al mateix temps els criteris municipals. Convé remarcar que els criteris aplicats pel sanejament de les aigües residuals tenen una important repercussió a tota la societat ja que implica destinar uns recursos econòmics que podrien dedicar-se a altres activitats, que l'aplicació dels Incrementos de Tarifa i Cànon de Sanejament podrien afectar a l'activitat de diferents sectors i que les prioritats de les actuacions han de contemplar les necessitats

de la societat (abastament domèstic, riscos sanitaris, abastaments industrials, costos de la contaminació, interessos turístics, ecologia, etc). Es funció del Consell de Direcció de la Junta de Sanejament i de la Generalitat harmonitzar aquests interessos, que a vegades poden ésser contradictoris, perseguin el màxim benefici per tota la societat.

La Direcció de Sanejament és un organisme tècnic al que correspon la gestió de tots els assumptes encomanats a la Junta de Sanejament.

En el Quadre 3 s'indica el diagrama econòmic funcional previst a la Llei 5/1981.

PLANIFICACIO. PLA DE SANEJAMENT DE CATALUNYA. PLANS ZONALS. SISTEMES DE SANEJAMENT.

La Llei 5/1981 exigeix per la seva aplicació la realització d'una planificació prèvia que s'ha de fer a diferents nivells, tant pel que fa als àmbits territorials com al nivell de definició. A continuació es comenten cadascuna de les etapes de la planificació.

PLA DE SANEJAMENT DE CATALUNYA

Va ésser redactat per la Junta de Sanejament i aprovat pel Consell Executiu de la Generalitat per Decret 337/1982 de 27 d'abril, amb els següents objectius:

- a) Determinar l'esquema i directrius del sanejament en el territori de Catalunya fixant les línies mestres que han de guiar l'acció coordinada amb la màxima racionalitat i de forma progressiva.
- b) Definir els àmbit territorials d'actuació solidària en matèria de sanejament amb una problemàtica comú i característiques similars, a les quals es poden fixar uns objectius particulars adients i unes modalitats d'actuació més adaptades a les necessitats de l'entorn.
- c) Definir els criteris sobre nivells de depuració i de les

qualitats d'afluents i recipients, establint-se tant els elements bàsics que determinin, en forma general el tipus de contaminants que hom pretén atacar durant la vigència d'aquest primer Pla, com els resultats bàsics que es pensen assolir amb la seva realització.

El Pla de Sanejament de Catalunya fa un anàlisi de la situació global de contaminació, fixa els nivells de la qualitat a aconseguir, divideix el territori de Catalunya en 13 Zones, assenyala les actuacions més significatives, estableix els paràmetres a considerar per la valoració de la càrrega contaminant abocada i estableix les bases per l'aplicació de la Llei i que han donat lloc a disposicions de rang inferior, com decrets i ordres.

PLANS ZONALS DE SANEJAMENT

El Pla Zonal de Sanejament analitza la problemàtica de la zona considerant els interessos existents, determina i periodifica les actuacions a realitzar d'acord amb les prioritats que s'estableixen, valora el cost que tindrà (inversions de primera instal·lació, explotacions, gestió, despeses financeres, etc) i determina els preus unitaris a aplicar als diferents consums d'aigua i als paràmetres de contaminació de forma que s'aconsegueix l'equilibri econòmic, comptant amb les possibles subvencions.

En el Quadre 4 s'indica un resum dels Plans Zonals aprovats.

SISTEMES DE SANEJAMENT

Es el graó més baix de la planificació i té per objecte la definició de les infraestructures de sanejament a construir, determinant les poblacions que han d'agrupar els seus abocaments per la seva depuració conjunta, buscant l'òptim econòmic del conjunt construcció-explotació, i considerant les condicions existents com reutilització indirecta, mínimes de cabal necessàries als rius, etc.

Aquesta fase de la planificació és la immediatament anterior a la redacció dels projectes tècnics per la contaminació i execució de les infraestructures.

LA REUTILITZACIO DE LES AIGÜES DINS DEL MARC DE LA LLEI 5/1981

Dins de la planificació que es realitza a l'elaboració dels Plans Zonals de Sanejament, es considera la problemàtica existent a la zona des del punt de vista hidràulic, analitzant les qualitats necessàries per la satisfacció dels interessos socioeconòmics, ecològics, etc., tenint en compte les necessitats d'aigua pels diferents usos, recursos existents, balanç hidràulic, possibles dèficits, etc.

Com conseqüència d'aquest anàlisi i dins de les competències atribuïdes per la Llei 5/1981 es preveuen els fons econòmics per la realització de les actuacions d'evacuació, tractament i reutilització de les aigües residuals necessàries per l'acompliment dels objectius fixats.

Es important remarcar que la solució adoptada objecte de la planificació, ha de perseguir l'òptim econòmic considerant conjuntament l'evacuació, tractament i reutilització de les aigües residuals.

LA REUTILITZACIO DE LES AIGÜES RESIDUALS, UN RECURS EN COMPETÈNCIA

La reutilització de les aigües residuals s'ha de contemplar com un recurs hidràulic més per la satisfacció de les demandes, comparant-lo amb la resta de recursos disponibles i decidint en conseqüència. Es evident que la Llei 5/1981 no permet actuar en tots els camps de la planificació hidràulica i aquesta planificació ha d'estar coordinada amb un marc més ampli, regulat per la Llei d'Aigües.

Així davant d'un dèficit hidràulic en una zona determinada pot plantejar-se la reutilització de les aigües residuals i importació de recursos externs a la zona. Ambdós alternatives

s'han de valorar econòmicament i al mateix temps analitzar el context legal-administratiu que ha de possibilitar o impedir la realització de les actuacions.

REUTILITZACIO INDIRECTA

Es un fet generalitzat que les aigües un cop usades són abocades a lleres dels rius i tornen a ésser utilitzades per usuaris ubicats aigües avall, disposant molt sovint aquests usuaris d'unes aigües de qualitat molt deficient que els obliga a realitzar costosos tractaments; els hi produeix danys a les instal·lacions i conreus; provoca riscos sanitaris importants, etc; arribant-se en ocasions a la destrucció dels recursos a causa de la qualitat. Un exemple típic de destrucció dels recursos hidràulics es produeix a la conca del Llobregat amb la derivació de les aigües del riu Anòia i la riera de Rubí evitant ésser abocades al riu Llobregat per preservar la captació d'aigües superficials de l'abastament a Barcelona.

Altres vegades les aigües residuals abocades s'infiltren al terreny realimentant els aqüífers subterranis dels quals s'extreuen per ésser utilitzades de nou. En aquests casos és usual que es produeixi una apreciable millora de la qualitat. La modificació del lloc d'abocament de les aigües residuals pot provocar problemes de subministrament als usuaris de les aigües subterrànies i en els aqüífers costaners pot accelerar els processos d'infiltració d'aigües marines que podrien destruir totalment els aqüífers.

A la planificació s'han de considerar aquests problemes i millorar la qualitat de les aigües sense crear problemes addicionals. Això implica la realització de sistemes de sanejament més costosos que els que es construïren considerant únicament els aspectes de depuració, disminuint la concentració d'abocaments per a depurar-los conjuntament (amb la qual cosa s'ha de construir un major número de plantes depuradores), retornant les aigües un cop depurades als llocs adequats, realitzant plantes depuradores en lloc d'abocar al mar mitjançant emissaris submarins etc.

REUTILITZACIO DIRECTA

No descobreixo res de nou afirmant que amb la tecnologia actual és possible obtenir aigua amb qualitat suficient per a qualsevol ús a partir d'aigua residual. Les úniques limitacions són de tipus econòmic i la decisió de reutilitzar aigües s'ha de prendre després de l'estudi d'alternatives.

Cada ús de l'aigua té unes exigències de qualitat i, sense entrar en detalls tècnics, faré unes consideracions generals sobre tres usos típics de l'aigua: regadiu, industrial i domèstic.

Regadiu

No exigeix una qualitat molt estricta de les aigües, depenent dels tipus de cultiu, característiques del terreny, sistema de rec, etc.

- El rec amb aigües residuals domèstiques ha sigut una pràctica bastant habitual i ha servit com a sistema d'eliminació d'aigües residuals i com a reutilització. Moltes vegades aquesta reutilització s'ha fet en condicions inadequades i sense les degudes precaucions.
- El contingut en matèria orgànica no és en general un problema, essent generalment beneficiós i permetent un estalvi d'adob.
- Tant l'ús d'aigües residuals crues com l'ús d'aigües residuals depurades pot presentar problemes que han d'ésser considerats.

Industrial

A la indústria l'aigua té multitud d'usos i els requeriments de qualitat varien des de l'aigua pràcticament pura fins a aigua de molt baixa qualitat.

En plantejar-se la reutilització per usos industrials s'hauria de pensar en una qualitat de tipus mig, suficient pels usos majoritaris.

La necessitat de dotar a les zones industrials de doble xarxa de proveïment, amb l'elevat cost econòmic que això

representa, la incertitud sobre la demanda d'aigua reutilitzada, la no existència en certs casos d'agrupacions d'indústries potencialment usuàries amb suficient entitat, els riscos que representa una doble xarxa de proveïment, i altres factors fan que la reutilització d'aigües residuals domèstiques per usos industrials s'hagi realitzat en escasses ocasions.

Domèstic

Es evident l'ús que requereix major qualitat i major garantia de que no es produiran errades en els sistemes de depuració que puguin posar en perill la salut dels usuaris.

La reutilització directa per usos domèstics s'ha realitzat en molt poques ocasions, en situacions extremes.

Al realitzar la planificació d'acord amb la Llei 5/1981 s'ha de considerar la necessitat d'efectuar reutilització directa d'aigües residuals en base a les circumstàncies i preveure l'execució dels sistemes de depuració, primera fase de la reutilització, de forma que possibiliti les accions posteriors. A la planificació s'han de tenir en compte, entre d'altres, els següents aspectes:

1. Destinar les aigües reutilitzades pels usos que requereixen qualitat més baixa, amb la qual cosa els costos de depuració seran més baixos.
2. Depurar les aigües que s'han de reutilitzar fins a obtenir la qualitat necessària. Depurar més del compte és llençar els diners.
3. Estudiar la possibilitat de substituir les aigües utilitzades per rec de bona qualitat, vàlida per qualsevol ús, per aigües reutilitzades, amb la qual cosa s'alliberen aigües per usos domèstics.
4. Seleccionar les aigües que s'han de reutilitzar i no barrejar-les amb aigües de qualitat tan deficient que podria fer-les inservibles per reutilització, depurant les diferents aigües en plantes independents. Això és específicament important en zones costaneres on es produeix freqüentment infiltrat

ció d'aigües residuals a les xarxes de clavegueres, inutilitzant les aigües residuals per regadiu i altres usos potencials.

5. Aplicar una ordenança d'abocaments a la xarxa de clavegueres adequada, vigilant acuradament els abocadors de productes tòxics, salinitat, etc.

CONCLUSIO

La Llei 5/1981, de 4 de juny, del Parlament de Catalunya, sobre desplegament legislatiu en matèria d'evacuació i tractament d'aigües residuals ofereix un marc adequat per la millora de la qualitat de les aigües, per un ús més racional i pel desenvolupament de la reutilització, resolent el finançament. La planificació, no obstant, s'ha d'enmarcar dins d'una llei més àmplia com és la "Ley de Aguas" recentment aprovada.

ORGANITZACIÓ ADMINISTRATIVA. COMPETENCIES. PARTICIPACIÓ DELS USUARIS.

ADMINISTRACIONS / ENTITATS

GENERALITAT DE CATALUNYA.
 JUNTA DE SANEJAMENT.

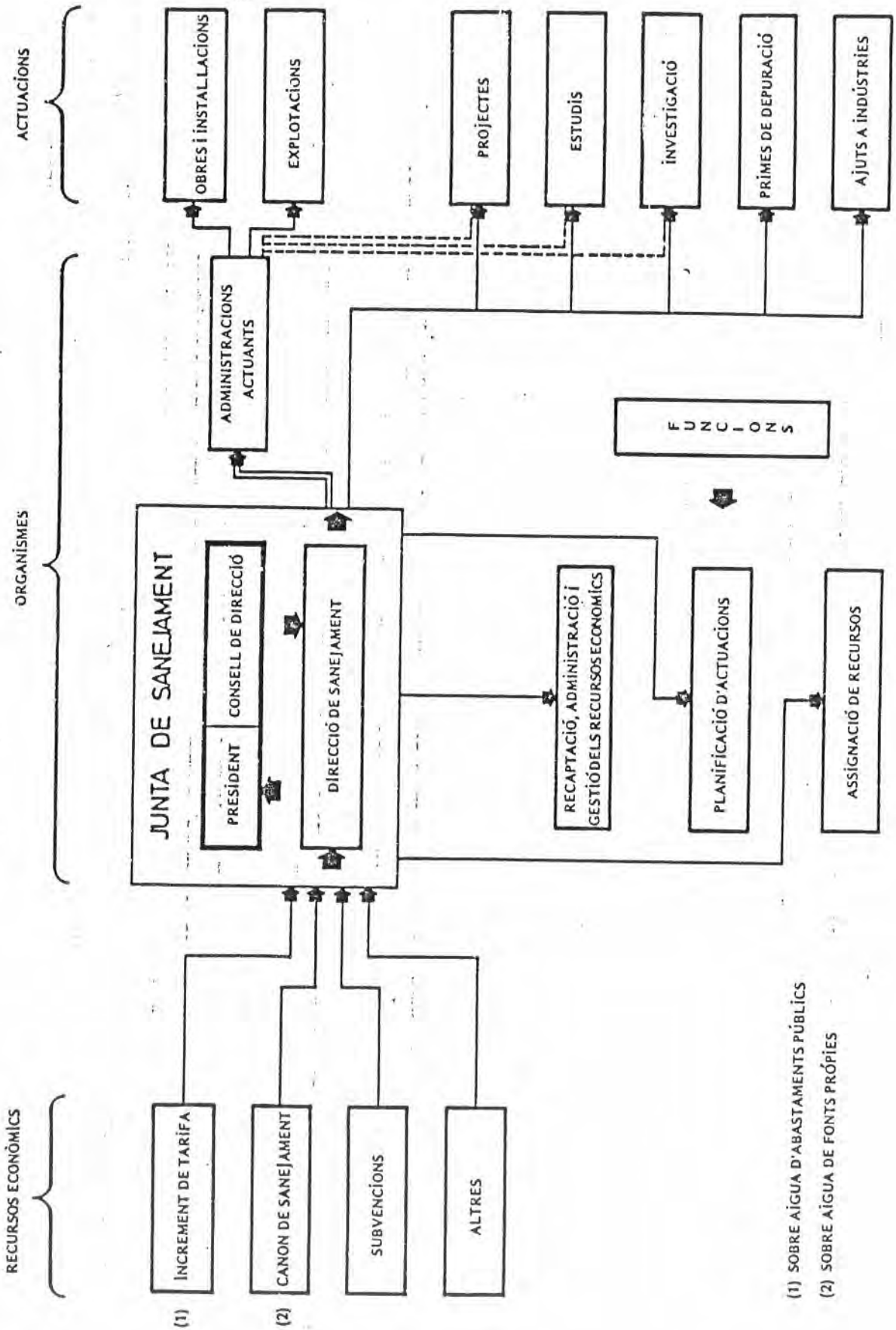
ADMINISTRACIÓ LOCAL
 Ajuntaments
 Marcomunitats
 Consorcis
 Altres

JUNTES COL.LABORADORES
 Participació dels interessos concurrents a la conca.

FUNCIONS

- Pla de Sanejament de Catalunya
- Planificació - Plans Zonals de Sanejament.
- Regims econòmics-financers
- Recaptació, administració i gestió dels fons econòmics.
- Atribució dels fons econòmics.
- Redacció de projectes.
- Execució d'Obres.
- Explotació i gestió dels serveis de sanejament.
- Redacció, aprovació i implantació de les ordenances d'abocament a xarxes de clavegueres i col·lectors.
- Col.laborar en l'execució d'un determinat Pla o Projecte, un cop haurà estat aprovat, amb la finalitat de transmetre o canalitzar iniciatives, fer suggeriments i formular observacions sobre la gestió que cal desenvolupar.

DIAGRAMA ECONÒMIC - FUNCIONAL



(1) SOBRE AIGUA D'ABASTAMENTS PÚBLICS

(2) SOBRE AIGUA DE FONTS PRÒPIES

P L A N D E S A N E J A M E N T D E C A T A L U N Y A

(Breus dades)

<u>Plans en marxa</u>	<u>Data d'aprovació o revisió</u>	<u>Termini d'execució</u>	<u>Població afectada (habitants)</u>	<u>Cost previst (Pessetes)</u>
Zona 5 (Llobregat i Besòs)	18-01-85	12 anys	4 443 396	94 000 000 000,-
Zones 2 i 3 (Ter)	11-04-84	12 anys	372 230	10 618 000 000,-
Zona 4 (Tordera)	23-05-85	8 anys	153 016	2 911 000 000,-
<u>Plans en tramitació</u>				
Zona 12 (Raix Segre)	----	----	279 626	3 505 000 000,-
Zones 6 i 7 (Francolí i Gaià)	----	----	351 486	5 946 000 000,-
<u>T O T A L</u>			5 599 744 (°)	116 980 000 000,-

Actuacions executades i en marxa

Pessetes

Subvencions de la Junta de Sanejament	5 755 000 000,-
Subvencions de la Generalitat (D.G.O.H.)	3 000 000 000,-
Subvencions d'altres Administracions	875 000 000,-

° Aquesta població afectada representa, aproximadament, el 92 % de la població total de Catalunya.

ORGANITZA:

**CONSORCI
DE LA COSTA BRAVA** 

COL.LABORAN:

Diputació de Girona

Ajuntament de
Castell-Platja d'Aro

Departament d'Ensenyament
de la Generalitat de Catalunya

Junta de Sanejament
de la Generalitat de Catalunya

Departament d'Agricultura
Ramaderia i Pesca de la Gene-
ralitat de Catalunya.