

COMUNICACIÓ AL CONGRÉS

REUTILITZACIÓ D'AIGUA PER A RECÀRREGA D'AQUÍFERS: CASOS DE CALIFÒRNIA I CATALUNYA

Maria Auset Vallejo

Doctora en Farmàcia. Responsable del Laboratori de Microbiologia. Dept. I+D. Acciona Agua. Telèfon: 628120019, e-mail: mariaauset@gmail.com

Resum

Davant situacions de dèficit hídric cal un ús eficient dels recursos per tal d'aprofitar al màxim les fonts d'aigua disponibles. Una de les possibles alternatives és la recàrrega d'aquífers amb aigua residual regenerada. Aquest recurs millora la gestió de l'aigua subterrània, augmenta la reserva en abastament i lluita contra la intrusió salina. Diverses accions han estat emprades amb èxit en diferents parts del món. Es presenten dos exemples emblemàtics de recàrrega, el Groundwater Replenishment System a Califòrnia, i la barreira contra la intrusió salina al Delta del Llobregat, a Barcelona.

Introducció

Existeix un creixent interès arreu del món en augmentar el recursos hídrics degut al creixement demogràfic i al canvi climàtic. Per anticipar una possible escassetat d'aigua s'està treballant per incrementar les reserves i per millorar la gestió dels recursos existents. En aquest context, la reutilització d'aigua representa un recurs alternatiu, local i fiable, disponible tot l'any. De les diferents aplicacions de la reutilització, la recàrrega d'aquífers amb aigua residual regenerada contribueix a l'aprofitament dels recursos hídrics a més d'aportar beneficis ambientals. Entre els avantatges podem citar la millora de la gestió de l'aigua subterrània, l'augment de la reserva i la lluita contra la intrusió salina.

La recàrrega artificial d'aquífers precisa dels criteris de qualitat més rigorosos per a l'aigua residual regenerada. Es per això que és necessari que als efluents de la depuradora, després de tractament secundari i terciari, se'ls apliqui un tractament avançat addicional per assolir la qualitat requerida per la seva posterior introducció a l'aquífer.

Els aquífers i la seva recàrrega

Un aquífer és una reserva subterrània d'aigua continguda en roca o materials no consolidats com poden ser grava, sorra o argila, capaç de subministrar aigua a pous, deus i fonts. Els aquífers tenen dues característiques fonamentals: capacitat d'emmagatzemar aigua i capacitat de que aquesta aigua circuli. Estan delimitats a la base per un nivell impermeable de tal manera que a la zona de saturació, situada sobre aquesta capa impermeable, l'aigua omple tota la porositat. La línia de separació de la zona saturada de la zona supe-

rior no saturada es diu nivell freàtic. L'aigua subterrània es aquella que es troba a la zona saturada, per sota del nivell freàtic, on tota la porositat està ocupada per aigua, formant el veritable aqüífer.

Segons la situació geogràfica els aqüífers es poden dividir en continentals i costaners. Hom classifica un aqüífer de continental quan no té cap contacte amb el mar, encara que pot estar relacionat hidràulicament amb rius, llacs i embassaments. Per contra es denomina costaner quan està en contacte hidràulic amb el mar i, per tant, té una zona de transició amb l'aigua salada (López & Rodríguez, 2010). En aquest cas, un possible desequilibri entre les extraccions i la recàrrega provoca el descens del nivell piezomètric respecte al nivell del mar, generant problemes d'intrusió salina. La intrusió marina és el fenomen pel qual l'aigua de mar penetra terra endins, salinitzant l'aqüífer i deteriorant la seva qualitat fins fer-la inadequada per l'agricultura i el consum.

La recàrrega és l'aigua que s'incorpora a un aqüífer procedent de l'exterior (Fig. 1). Recentment ha estat definida como "el procés natural o artificial pel qual es produeix l'entrada d'aigua a un aqüífer" (FCIHS, 2009). La taxa de recàrrega natural varia amb diferents factors com poden ser la pluviometria, el cabal del riu, les modificacions d'irrigació amb aigua superficial, la reducció de les fuites de les xarxes d'abastament d'aigua i de la filtració d'aigües residuals, el descens del mantell freàtic, etc.

Les tècniques de recàrrega artificial d'aqüífers permeten augmentar la disponibilitat en aigua subterrània, amb la qualitat necessària, mitjançant una intervenció, directa o indirecta, en el cicle natural de l'aigua (Custodio, 1986). Per tal que es pugui realitzar la recàrrega cal que hi hagi espai subterrani no saturat i que el temps de retenció a l'aqüífer sigui prou gran respecte de les extraccions temporals que es preveu fer, per tal que les possibles fuites de l'emmagatzematge siguin raonablement petites i s'aprofitin (Custodio, 1976).

En funció de l'aqüífer i de l'objectiu final s'utilitzen dos mètodes de recàrrega artificial:

Per infiltració-percolació: quan la recàrrega es realitza filtrant l'aigua a través del terreny o basses d'infiltració. Aquest mètode és menys costós però necessita grans extensions per a l'aplicació de la tècnica. Té l'avantatge que el pas per la zona no saturada actua com un filtre natural afegint una etapa addicional de tractament eliminant sòlids en suspensió, matèria biodegradable i microorganismes.

Per injecció directa: quan s'injecta aigua directament a l'aqüífer a través de pous de recàrrega o perforacions. Es tracta d'un procés més localitzat però requereix d'aigua regenerada d'alta qualitat per evitar problemes de contaminació que puguin malmetre l'aqüífer.

L'aqüífer recarregat amb aigua regenerada serveix com: a) emmagatzematge i reserva d'aigua com a recurs hídric suplementari en èpoques d'emergència, b) subministrament

d'aigua potable, industrial o per reg agrícola, c) manteniment del cabal ecològic i la vegetació freatofita (plantes d'arrels profundes, la captació d'aigua de les quals prové directament de la capa freàtica, exemple, el bosc de ribera) en zones amb estrés hídric i d) barrera per evitar la intrusió salina en aqüífers sobreexplotats. La recàrrega eleva el nivell piezomètric de l'aqüífer proper a la costa i evita que l'aigua salada penetri (Australian Guidelines, 2009).

La recàrrega artificial d'aqüífers presenta nombrosos avantatges entre els que destaquen (Pyne, 2006):

- l'emmagatzematge subterrani redueix les pèrdues per evaporació, especialment en regions àrides i semi-àrides, així com la formació d'algues i el desenvolupament d'insectes,
- la construcció d'un pou i sobretot de les basses d'infiltració és una solució més barata que les grans obres hidràuliques (embassaments),
- compensa la pèrdua de recàrrega natural degut a activitats antròpiques, com pot ser la reducció de capacitat d'infiltració per edificació i construcció de grans superfícies de formigó,
- millora la qualitat de l'aigua i de les condicions ambientals,
- en aqüífers sobreexplotats, permet restablir l'equilibri i mantenir les explotacions. En altres aqüífers pot permetre un increment de la garantia de les explotacions,
- la infiltració a través del medi porós i el temps de residència aporten un tractament de depuració addicional.

Tanmateix, la recàrrega artificial comporta certs problemes com són la compactació i la colmatació. La colmatació és el principal inconvenient al disminuir la capacitat d'infiltració del medi porós com a resultat de fenòmens físics, químics o biològics. La qualitat de l'efluent utilitzat té un impacte directe en els aspectes operacionals de la instal·lació de recàrrega i d'entarquinament dels pous (National Research Council, 1994).

La recàrrega requereix criteris de qualitat rigorosos de l'aigua regenerada. Segons Asano & Cotruvo, 2004, hi ha quatre factors de qualitat de l'aigua residual tractada que afecten significativament a la recàrrega (a) qualitat microbiològica, (b) el contingut mineral (els sòlids dissolts), (c) la presència de metalls pesats tòxics, i (d) les concentracions en substàncies orgàniques. A l'Estat espanyol el Reial Decret 1620/2007 (BOE, 2007) del 7 de desembre estableix el règim jurídic de la reutilització de les aigües regenerades, Taula 1.

Exemples de recàrrega artificial

A continuació presentem dos exemples emblemàtics de recàrrega. El primer és el Groundwater Replenishment System de l'Orange County a Califòrnia que representa la instal·lació més gran del món per a la recàrrega d'aqüífers amb aigua regenerada. El segon és el projecte de barrera hidràulica positiva de Barcelona, el primer projecte d'aquestes característiques que es realitza a Espanya, pioner també a Europa. Els dos exemples uti-

litzen processos de regeneració avançada gairebé idèntics: membranes de microfiltració o ultrafiltració, seguides de membranes d'osmosi inversa i una desinfecció final. L'aigua regenerada s'injecta als pous per a la recàrrega de l'aqüífer.

Recàrrega a Califòrnia

La recàrrega artificial d'aqüífers es practica a Califòrnia des de fa més d'un segle, utilitzant varius mètodes que inclouen basses d'infiltració, pous d'injecció i pous d'emmagatzematge i recuperació de aqüífers. Aquestes accions lluiten contra la intrusió marina deguda a la sobreexplotació dels aqüífers de principis del segle passat conseqüència del creixement de la població i de l'activitat industrial a prop de la costa.

La barrera hidràulica necessita un subministrament continu d'aigua d'excel·lent qualitat. En un primer temps la recàrrega es realitzava amb aigua superficial transportada des del riu Colorado i des del nord de Califòrnia. Actualment s'utilitza aigua regenerada altament tractada. Aquest és el cas del projecte Groundwater Replenishment System (GWRS) de l'Orange County.

Groundwater Replenishment System

Situat al sud de Califòrnia, l'Orange County és una regió semi-àrida amb una pluviometria mitja de 33 cm/any. Bona part del seu abastament prové de les aigües subterrànies. De fet, uns 2,4 milions de persones residents a l'Orange County s'abasteixen d'aigua subterrània com a font d'aigua potable. L'aqüífer, situat al nord i centre de l'Orange County, té una capacitat operacional de 860 hm³, www.gwrsystem.com.

El Groundwater Replenishment System és un projecte de recàrrega artificial de l'aqüífer que serveix per compensar les extraccions. Es tracta d'un projecte promogut a parts iguals pel Orange County Water District (OCWD) i el Orange County Sanitation District (OCSD) amb un pressupost de 481 milions de dòlars.

Els efluent secundaris de la depuradora situada a Fountain Valley són tractats addicionalment per obtenir l'aigua regenerada que s'injecta a l'aqüífer. La planta de regeneració, inaugurada al 2008, consta d'un tractament avançat mitjançant un procés en 3 etapes de microfiltració, osmosis inversa i llum ultraviolada amb peròxid d'hidrogen:

Microfiltració: separa sòlids en suspensió, protozous, bacteries i virus mitjançant un procés de membrana de fibra buida de baixa pressió de 0,2 micres de diàmetre.

Osmosis inversa: elimina les substàncies químiques dissoltes, els virus, mitjançant un sistema d'alta pressió a través de membrana semipermeable de polímer de poliamida. El resultat final és aigua de qualitat similar a la destil·lada per tant cal un procés de remineralització abans del transport de l'aigua a les instal·lacions de recàrrega.

Oxidació avançada: desinfecta i destrueix traces de components orgànics que puguin haver passat la membrana d'osmosis gràcies a un tractament combinat de llum ultraviolada amb adició de peròxid d'hidrogen (H_2O_2).

La capacitat de producció actual de la planta és de 265.000 m³/d (uns 89 hm³/any). La meitat de l'aigua obtinguda és injectada a l'aqüífer com a barrera contra la intrusió salina mitjançant 36 pous. La resta de l'aigua regenerada és bombejada a les basses d'infiltració de l'OCWD a Anaheim on es filtra de manera natural a través de sorra i grava per a la millora de la qualitat de l'aigua i la recàrrega de l'aqüífer profund.

El projecte GWRS abasteix en aigua a uns 600.000 habitants de la regió i està actualment en fase d'ampliació, amb una previsió de producció d'uns 378.000 m³/dia a partir de maig del 2015.

Una part important per a la realització del projecte ha estat l'acceptació per part de l'opinió pública (Herdon & Markus, 2014). Per tal d'aconseguir-la es van fer presentacions a organitzacions, agències, empresaris, científics, professionals de la salut, educadors i ecologistes. A més a més un grup assessor independent realitza la supervisió del projecte i aporta informes periòdics sobre la seva operació i desenvolupament.

El projecte representa una solució exitosa per fer front a la demanda creixent en aigua potable així com a l'actual sequera que pateix l'estat de Califòrnia. El sistema de recàrrega significa un recurs d'aigua segura, local i fiable que evita la dependència en aigua importada d'altres estats i disminueix els abocaments d'aigües residuals a l'oceà.

Recàrrega artificial al Delta del Llobregat

A Barcelona s'han realitzat experiències de recàrrega artificial des de fa molts anys per a la lluita contra la intrusió salina conseqüència de les massives extraccions del segle XX. Les primeres instal·lacions de recàrrega es van construir a principi dels anys 50 a l'al·luvial del riu Besòs i als anys 60 a l'aqüífer al·luvial del riu Llobregat (Custodio & Llamas, 1983; Valdés, 1992; Martín-Alonso, 2003). Aquesta darrera acció, gestionada per la Societat General d'Aigües de Barcelona, ha recarregat en alguns períodes fins a un màxim de 20 hm³/any en pous localitzats al Delta amb aigües excedents de la planta potabilitzadora de Sant Joan Despí. La recàrrega s'han complementat amb l'escarificat de la llera del riu Llobregat, solcant el llit del riu per tal d'afavorir la infiltració de l'aigua (Pérez-Paricio, 1999).

L'Agència Catalana de l'Aigua (ACA), juntament amb les Comunitats d'Usuaris, ha desenvolupat programes de gestió de l'aigua subterrània tant per fer front al problema de la intrusió salina i de degradació de la qualitat de les aigües subterrànies com per assolir els requeriments de la Directiva Marc de l'Aigua (200/60/CE). En aquest sentit el Programa de Reutilització d'Aigua a Catalunya (PRAC, 2009) esmena la recàrrega d'aqüífers amb aigua regenerada procedent de depuradores a Catalunya com a alternativa hídrica. El PRAC

especifica de manera concreta "La recàrrega d'aqüífers amb aigua regenerada permet la millora de la qualitat del recurs emmagatzemat i, per tant, del recurs disponible".

Planta de regeneració i pous d'injecció

Fruit d'aquells programes l'Àrea Metropolitana de Barcelona s'ha dotat de la infraestructura necessària per a realitzar la recàrrega artificial a l'aqüífer del Delta de Llobregat per injecció d'aigua regenerada mitjançant tractaments avançats. El projecte, pioner a Espanya i també a Europa, es va implantar a la EDAR del Baix Llobregat i va ser dut a terme per Depurbaix, empresa pública depenent del Ministeri de Medi Ambient i de l'ACA, amb un pressupost total de 102 milions d'euros (Compte, 2005). A més de barrera contra la intrusió salina la reutilització de les aigües té prevista la seva aplicació com a cabal ecològic del riu Llobregat, substitució de cabals de reg i manteniment de zones humides.

Per obtenir aigua de la qualitat adient als usos exigits (RD 1620/2007), es va ampliar el tractament biològic de la EDAR per tal d'eliminar nutrients (nitrogen i fòsfor). Addicionalment es va construir un tractament terciari amb els següents processos: coagulació-floculació llastrada, decantació lamel·lar, filtració, aeració (oxigenació) i desinfecció per llum ultraviolada (Cazurra, 2008). Aquest tractament terciari produeix uns 3 m³/s (259.200 m³/d) que s'utilitzen per reg i per manteniment ambiental.

Per a reutilització de l'aigua com a barrera contra la intrusió salina s'aplica un tractament avançat addicional que consisteix en tamisat, precloració, ultrafiltració, osmosi inversa i desinfecció per llum ultraviolada (Fig 2). Es produeixen un total de 2.500 m³/dia, que es distribueixen als 15 pous d'injecció que constitueixen la barrera hidràulica (Hernandez *et al.*, 2011).

S'han produït dues fases pilot de barrera hidràulica. Una primera fase es va encetar a finals del 2007 i la segona a mitjans del 2010, injectant-se a l'aqüífer 15.000 m³/dia d'aigua regenerada. Els resultats obtinguts demostren que s'ha frenat l'entrada d'aigua salada terra endins (Ortuño *et al.*, 2012). D'altra banda, els estudis realitzats confirmen una millora substancial de la qualitat de l'aigua subterrània, així com la reducció de la conductivitat i l'eliminació de contaminants emergents (Teijón *et al.* 2010).

Malauradament, tot i que Barcelona disposa de la infraestructura necessària, la bona pluviometria dels últims anys (2009-2014), que ha augmentat la reserva hidràulica, així com el dèficit pressupostari davant l'actual crisi econòmica fan que les instal·lacions de recàrrega amb aigua regenerada estiguin en aquest moment bàsicament parades. Esperem que el projecte repregui alè per tal d'aprofitar tant les costoses instal·lacions com el recurs hídic per abastament i continuar l'operació de barrera contra la intrusió salina.

Conclusions

La recàrrega de aqüífers amb aigua residual regenerada representa una eina eficaç de gestió hídrica davant situacions de dèficit en aigua com poden ser climes àrids i semi-àrids i regions afectades per sequeres recurrents. La recàrrega d'aqüífers s'empra per a protegir les agües dolces de la intrusió marina als aqüífers costaners i per millorar la gestió de les aigües subterrànies. Els mètodes de recàrrega impliquen uns requeriments de qualitat exigents del l'aigua regenerada a injectar. Diverses accions han estat realitzades amb èxit en diferents parts del món. Es presenten dos exemples emblemàtics de recàrrega, el Groundwater Replenishment System a Califòrnia, i la barrera contra la intrusió salina al Delta del Llobregat, a Barcelona.

Referències

- Asano, T and Cotruvo, JA. (2004) Groundwater recharge with reclaimed municipal wastewater: health and regulatory considerations. *Water Research*. 38(8):1941-51.
- Australian Guidelines for Water Recycling: Managing Health and Environmental Risks (Phase 2) (2009). Managed Aquifer Recharge, National Water Quality Management Strategy.
- Cazurra T. (2008). Water reuse of south Barcelona's wastewater reclamation plant. *Desalination*, 218:43–51.
- Compte, J. (2005). La reutilització de les aigües residuals del Baix Llobregat, Jornades Tècniques: La integració de l'aigua regenerada en la gestió dels recursos. Lloret de Mar, Costa Brava, Girona.
- Custodio, E. (1976). **Études géohydrochimiques dans le delta du Llobregat. Barcelona (Espagne). International Association of Scientific Hydrology. Gentbrugge**, 62:134-155.
- Custodio, E. (1986). Recarga artificial de acuíferos: avances y realizaciones. Bol. Serv. Geol. Obras Públicas, núm. 45. Madrid, 1-134.
- Custodio E. y M. R. Llamas (1983). Hidrología Subterránea. Omega. Barcelona (2 Vol.) 2359 pp.
- FCIHS, Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea (2009). Hidrogeología. Conceptos básicos de Hidrología Subterránea. Curso Internacional de Hidrología Subterránea. Barcelona.
- GWRS. Groundwater Replenishment System. Fountain Valley, CA: Groundwater Replenishment System, Orange County Water District/Orange County Sanitation District (undated). Available: <http://goo.gl/DgPU3q>
- Hernández, M., J. Tobella, F. Ortuño and J. Ll. Armenter (2011). Aquifer recharge for securing water resources: the experience in Llobregat river. *Water Science & Technology*. 63 (2):220–226.
- Herndon, R. And Markus, M. (2014). Large-Scale Aquifer Replenishment and Sea water Intrusion Control Using Recycled Water in Southern California. *Boletín Geológico y Minero*, 125 (2):143-155.
- López, J. A. y L. Rodríguez (2010). Desarrollo Sostenible, Uso Conjunto y Gestión Integral de Recursos Hídricos. Estudios y actuaciones realizadas en la provincia de Alicante. IGME.
- Martín-Alonso, J. (2003). Combined Use of Surface Water and Groundwater for Drinking Water Production in the Barcelona Metropolitan Area. Riverbank filtration: the future is now!. Proceedings of the Second International Riverbank Filtration Conference. Melin, G. (Ed.). September 16-19, Cincinnati, Ohio. National Water Research Institute. Fountain Valley, California.
- National Research Council, (1994). Ground Water Recharge Using Waters of Impaired Quality. By Committee on Ground Water Recharge, Division on Earth and Life Studies, Commission on Geosciences, Environment and Resources.
- Ortuño F., Molinero J., Garrido T. and Custodio E (2012). Seawater injection barrier recharge with advanced reclaimed water at Llobregat delta aquifer (Spain). *Water Science & Technology*; 66(10):2083-9, 2012.
- Pérez-Paricio, A. (1999). Site description Cornellà, Spain. Proyecto Europeo de Recarga Artificial de Acuíferos. Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), Barcelona.

Pyne, RDG (2006). *Aquifer Storage Recovery, a guide to groundwater recharge through Wells*, 2nd edition, Published by ASR Systems, Florida.

Teijon G, Candela L, Tamoh K, Molina-Díaz A, Fernández-Alba AR (2010). Occurrence of emerging contaminants, priority substances (2008/105/CE) and heavy metals in treated wastewater and groundwater at Depurbaix facility (Barcelona, Spain). *Sci Total Environ.* 1;408(17):3584-95.

Valdés, J.L. (1992). *Experiencias de recarga artificial en los acuíferos del Río Llobregat y Río Besòs*. Aguas de Barcelona (AGBAR), Barcelona.

Ús de l'aigua previst	Valor màxim admissible (VMA)				
	Nematodes intestinals	<i>Escherichia coli</i>	Sòlids en suspensió	Terbolesa	Altres criteris
ÚS AMBIENTAL					
a) Recarrega aqüífers per percolació localitzada a través del terreny.	No es fixa límit	1.000 UFC/100mL	35 mg/L	No es fixa límit	N _T ¹ : 10 mg N/L NO ₃ : 25 mg
a) Recarrega aqüífers per injecció directa	1 ou/10 L	0 UFC/100mL	10 mg/L	2 UNT	NO ₃ /L Art.257 a 259 del RD 849/1986

Taula 1. Qualitat de l'aigua regenerada exigida per a ús ambiental (RD 1620/2007).

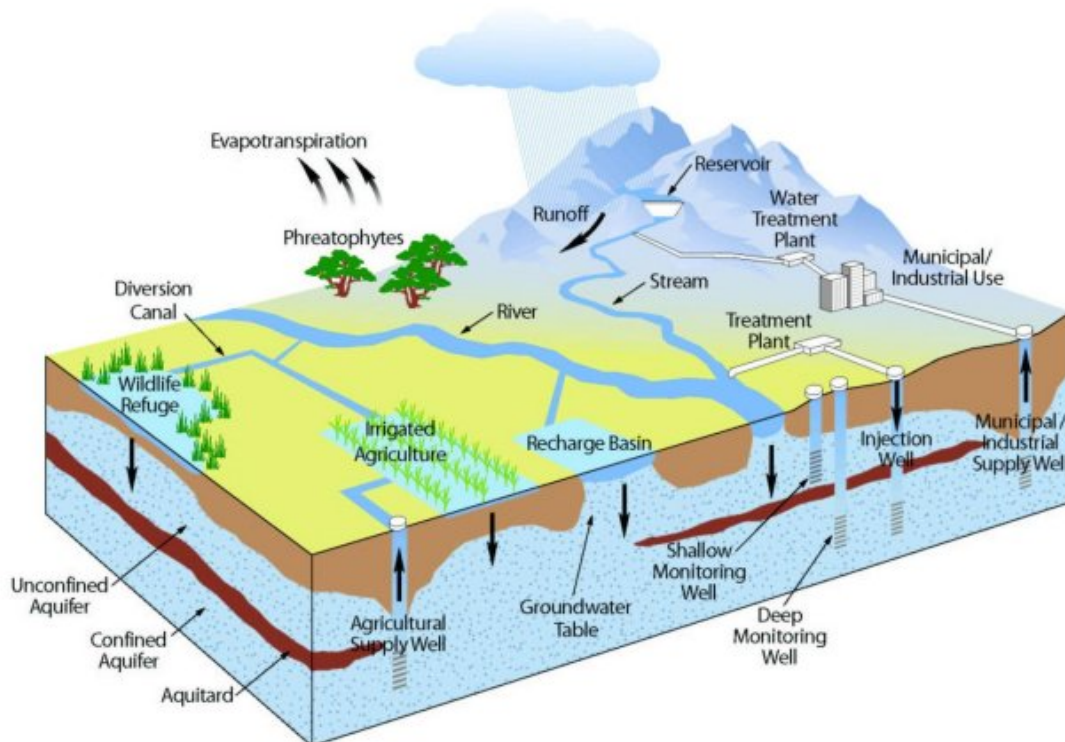


Fig. 1. Recàrrega de l'aigua subterrània (California Department of Water Resources, www.water.ca.gov).

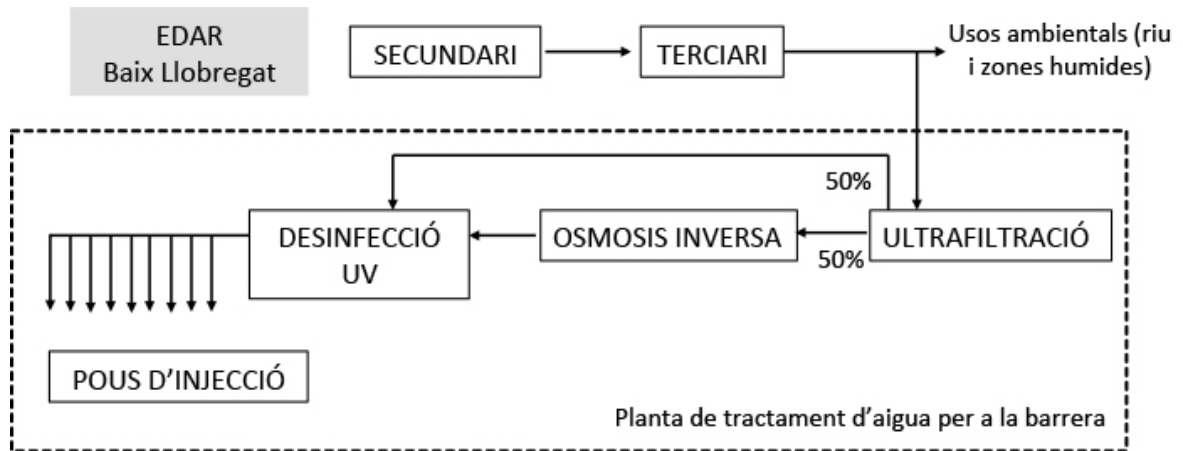


Fig. 2. Tractament de l'aigua previ a la injecció a l'aqüífer. L'aigua regenerada prové de l'efluent terciari de l'EDAR del Baix Llobregat després de passar per UF, OI i desinfecció mitjançant llum ultraviolada (Ortuño et al, 2012).