

La qualitat de les aigües subterrànies

L'Organització de les Nacions Unides va declarar el 2022 Any de les Aigües Subterrànies, amb el lema «Fer visible l'invisible». L'objectiu era remarcar que aquest recurs, vital per a la nostra societat i el medi ambient (tant per quantitat com per qualitat), sovint passa desapercebut pel fet de trobar-se al subsol.

Text > **JOSEP MAS-PLA**, investigador de l'ICRA i professor de la Universitat de Girona
JOAQUIM COMAS, investigador de l'ICRA i professor de la Universitat de Girona

T Gleeson, de la Universitat de Victoria, al Canadà, defineix l'aigua subterrània renovable com la que es pot extreure amb un règim de bombament que porti a un nou equilibri dinàmicament estable dels nivells d'aigua subterrània dins una escala de temps humana (aproximadament, cent anys). És a dir, s'admet que s'exerceixen pressions i impactes sobre el

recurs i que cal mantenir el sistema en equilibri, podríem afegir, sense malmetre la relació de les aigües subterrànies amb els ecosistemes.

Hi ha un altre factor, també invisible o que a vegades no es vol veure, que en condiciona el caràcter renovable: les afeccions a la qualitat de l'aigua subterrània. És cert que la qualitat de l'aigua subterrània es pot veure comprometida per a l'ús humà de manera

natural simplement per la relació entre l'aigua i la roca. La dissolució dels minerals del subsol hi aporta elements o compostos poc apropiats, i fins i tot tòxics, per al consum de boca. És el cas del fluor o l'arsènic que apareix a l'aigua subterrània d'aqüífers en roques ígnies o metamòrfiques; per exemple, a la depressió de la Selva o al Ripollès. La presència de metalls també és preocupant, atès que alguns esdevenen

>> *La presència de nitrats a l'aigua subterrània és habitual als aqüífers de les planes al·luvials, com la del Baix Fluvià, que té una intensa activitat agrícola. L'ús de purins com a fertilitzants també introdueix fàrmacs veterinaris al subsol. (Foto: J. MAS-PLA)*





>> Aflorament d'una excavació d'àrids a l'Alt Empordà. Els materials sedimentaris, formats per grava, sorres, llims i argiles, constitueixen els principals aqüífers fluviodeltaics a les planes de la Muga-Fluvià, Baix Ter i Tordera, així com els del fons de moltes valls. Són materials d'una alta porositat que permeten la infiltració i el transport de substàncies contaminants dissoltes a l'aigua subterrània.

(Foto: J. MAS-PLA)

tòxics a molt baixes concentracions, com ara el mercuri o el cadmi. Fa anys, se n'havien detectat en pous del Pla de l'Estany i l'Empordà, tot i que d'origen difícil de determinar, ja que són poc freqüents, sortosament, a les aigües subterrànies. La presència de valors elevats de ferro i manganès també és habitual en aqüífers amb unes condicions pobres d'oxigen, pràcticament anòxics, com és el cas d'alguns aqüífers al·luvials de la Selva (Riera de Santa Coloma) o del Baix Ter, on genera problemes de manteniment als sistemes de captació i distribució, afecta les qualitats organolèptiques de l'aigua subterrània i, a partir de determinats valors, pot ser nociva per a la salut.

No obstant això, les fonts de contaminació més comunes i preocupants són les derivades de les activitats humanes. L'ús domèstic de l'aigua és el que afecta menys els recursos subterranis, atès que retorna al medi abocant-se com a aigua depurada a les lleres dels rius. El tractament de l'aigua residual a les estacions depuradores n'elimina una gran part de les substàncies nocives en dissolució, es-

pecialment sòlids, matèria orgànica i nutrients, i la torna al medi amb unes condicions químiques acceptables, segons la normativa vigent. A més, la dilució amb el cabal natural del riu hi disminueix encara més les concentracions. Aquestes aigües depurades poden retornar al subsol si el riu recarrega l'aqüífer. En aquests casos, només els contaminants més recalitrants, que no hagin estat assimilats o eliminats per processos ecològics o microbiològics a la llera o en els primers nivells del subsol, arriben a les aigües subterrànies. Entre aquests hi ha els contaminants anomenats *emergents*, alguns dels quals no s'eliminen completament durant els processos de depuració. Els contaminants emergents són substàncies de la vida quotidiana: fàrmacs, productes d'higiene personal, tensioactius, antioxidants, drogues d'abús i microplàstics, entre d'altres. Molts poden generar efectes adversos per a la salut humana si es consumeixen en aigua de boca i impactes severes en la qualitat dels ecosistemes aquàtics. Entre els fàrmacs, la presència d'antibiòtics genera gens de resistèn-

cia en microorganismes patògens que després són difícils de tractar en cas que produeixin malalties. La presència d'aquests gens ha estat provada tant en aigües superficials com subterrànies. Atès que els contaminants emergents no estan del tot legislatos en l'àmbit de la Unió Europea, no es disposa d'un registre periòdic i extens de la seva presència a les aigües subterrànies. Els estudis que s'han fet en demostren la presència, tanmateix, en diversos sistemes hidrològics i hidrogeològics de les comarques gironines.

Els purins

L'ús de fertilitzants (purins i altres dejeccions ramaderes) ha generat concentracions molt elevades de nitrats a les aigües subterrànies, molt sovint superiors al límit de cinquanta mil·ligrams per litre de nitrat acceptables per al consum domèstic. El nitrogen orgànic present en els purins es transforma en nitrat mitjançant uns processos microbiològics al sòl i al subsol, i s'acumula dissolt en l'aigua subterrània. Una elevada presència de nitrats, superior al límit esmentat, és habitual a moltes zones agrícoles de les comarques de Girona. Algunes han estat declarades vulnerables a la contaminació per nitrats en aplicació de la Directiva europea de protecció de les aigües contra la contaminació produïda pels nitrats emprats en l'agricultura (més coneguda com la Directiva Nitrats, 91/676/CEE). Actualment, el 39,9 % de la superfície total de Catalunya està declarada com a vulnerable a la contaminació agrícola, i això afecta 466 municipis, és a dir, el 49,2 % de tots els municipis catalans. A les comarques gironines, els municipis afectats se situen a l'Alt i el Baix Empordà, als aqüífers de les planes al·luvials de la Muga, el Fluvià i el Ter, i també en àrees interiors, com la conca del Manol i la riera d'Àlguema; al Pla de l'Estany i al Gironès, a la cubeta de Celrà-Flaçà, i a les conques de l'Onyar i de les rieres de Santa Coloma i Sils a la Selva; a la Garrotxa, als aqüífers prop del riu Fluvià, des de la Vall d'en Bas a Sant Joan les Fonts, i altres zones adjacents (Santa Pau) i, finalment, a la zona del delta de la Tordera i l'Alt Maresme.

La presència de nitrats en concentracions tan elevades és el resultat de dècades d'aplicacions de fertilitzants, tant orgànics (dejeccions ramaderes)

com inorgànics, que han migrat des de la superfície fins a nivells profunds, i ara se n'identifiquen en abundància a pous de més de cent cinquanta metres de fondària. En aquests casos, la mobilitat es deu a la disrupció dels fluxos d'aigua subterrània pels elevats règims de bombament. Això explica la seva presència en els aqüífers més profunds de la Selva, el Baix Ter o el Pla de l'Estany. Malgrat l'aplicació dels codis de bones pràctiques agrícoles, les concentracions de nitrats suposen una limitació a l'explotació dels recursos subterranis per a l'abastament domèstic i la tendència de les concentracions no disminueix amb els anys, fet que suposa una dificultat i una despesa enorme per poder subministrar aigua de consum en bones condicions en alguns indrets. A les zones on es practiquen dejeccions ramaderes, la presència de fàrmacs i antibiòtics d'ús

veterinari també s'ha detectat àmpliament als aqüífers.

Si bé el nitrat es pot eliminar pel procés natural de desnitrificació, la seva intensitat depèn de les condicions biogeoquímiques als aqüífers i s'ha demostrat que, a escala regional, és poc eficient per aconseguir una reducció notable dels nitrats acumulats. Això comporta que s'hagin desenvolupat tecnologies per tractar la presència de nitrats a les aigües subterrànies. L'estudi del Catalan Water Partnership (CWP) de 2017 classifica els sistemes tecnològics de descontaminació i tractament de nitrats en tecnologies *ex situ* i *in situ*. Les *ex situ* són sistemes de tractament de l'aigua fora de l'aqüífer, en superfície. En canvi, les tecnologies de tractament *in situ* són les que depuren directament l'aigua subterrània dins l'aqüífer contaminat. La forma més habitual d'assolir una concentració


de nitrats acceptable a l'aigua d'ús domèstic és la dilució o la connexió amb una altra xarxa d'abastament propera (per exemple, la d'un municipi veí). Si un pou de captació municipal té valors de nitrat superiors als cinquanta mil·ligrams per litre, se'n busca un altre que els tingui inferiors i se'n mesclen les aigües en la proporció adequada, sempre que es disposi d'aquests recursos addicionals «nets». Aquest «truc» ha solucionat el problema en alguns municipis, però requereix una gestió i un seguiment de la qualitat constants.

Els mecanismes d'eliminació


Les tecnologies *ex situ* es classifiquen en funció del mecanisme d'eliminació dels nitrats, que es basen en la separació (mecanismes físics), o en la transformació del nitrat (mecanismes químics i biològics). Els mètodes físics són tecnologies que disposen d'una barrera física que reté els contaminants, com és el cas de l'osmosi inversa, o que transporta els contaminants a través seu, com en el cas de l'electrodialisi, amb l'objectiu de separar-los de l'aigua. Per tant, els contaminants no s'eliminen, i se'n genera un rebuig concentrat que requereix un tractament o un emmagatzematge posterior. Actualment, la gestió d'aquest rebuig és la descàrrega al mar o en aigües superficials, l'ús en camps agrícoles

Si bé el nitrat es pot eliminar pel procés natural de desnitrificació, la seva intensitat depèn de les condicions biogeoquímiques als aqüífers i s'ha demostrat que, a escala regional, és poc eficient per aconseguir una reducció notable dels nitrats acumulats

Desnitrificació bioelectroquímica



**Escala de laboratori
(Girona)**



**Escala pilot
(Navata)**

>> Les reaccions microbiològiques que controlen els processos bioelectroquímics de desnitrificació *ex situ* s'investiguen primer a escala de laboratori, on s'afinen les tecnologies adients, abans de ser aplicades en plantes de tractament reals com la de Navata, a l'Alt Empordà. (Font: N. Pous)



(A)



(B)

>> Les instal·lacions de tractament *ex situ* se situen prop dels dipòsits d'emmagatzematge i distribució d'aigua. A Sant Gregori, al Gironès, la columna d'intercanvi iònic del sistema de tractament (A) se situa a la caseta adjunta al dipòsit de 300 m³ (B) on s'emmagatzema l'aigua tractada. (Font: CWP, 2016)

i la descàrrega a col·lectors d'aigües residuals, entre d'altres. Els mètodes físics permeten separar múltiples contaminants i no són específics per als nitrats i, per tant, també eliminen alguns contaminants emergents.

Els mètodes químics eliminen, separen o transformen els contaminants mitjançant una reacció química, com l'intercanvi iònic, la hidrogenació catalítica i els sistemes electroquímics. Els mètodes biològics transformen els contaminants gràcies a l'activitat metabòlica dels microorganismes, i eliminen els nitrats de forma heterotròfica (biofiltres o reactors de biopel·lícula mòbil) o autotròfica (sistemes bioelectroquímics).

Aprofitant que l'aigua subterrània s'ha de bombar, les tecnologies *ex situ* són les més utilitzades. L'aigua es tracta a la sortida del pou, just abans de ser distribuïda a la xarxa. A la demarcació de Girona en tenim diverses experiències positives. A Sant Gregori hi funciona des de fa temps la tecnologia d'intercanvi iònic, en què l'anió nitrat es bescanvia en columnes d'intercanvi pels anions innocus clorur o bicarbonat de la resina que passen a l'aigua tractada. A Navata (l'Alt Empordà) tenim un bon exemple de desnitrificació biològica (heterotròfica), en la qual el nitrat es converteix en nitrogen gas que retorna a l'atmosfera, gràcies a l'activitat metabòlica de microorganismes heterotròfics en condicions anòxiques. El CWP ha elaborat documentació abundant en el marc del projecte sobre tractament de nitrats a Catalunya, que s'ha integrat en una eina informàtica d'acompanyament a l'usuari, oberta al

A Sant Gregori funciona des de fa temps la tecnologia d'intercanvi iònic, en què l'anió nitrat es bescanvia en columnes d'intercanvi pels anions innocus clorur o bicarbonat de la resina que passen a l'aigua tractada

TRACTAMENT	MECANISME		TECNOLOGIA
Ex situ	Físic		Osmosi inversa
			Electrodiàlisi
	Químic		Intercanvi iònic
			Hidrogenació catalítica
			Sistemes electroquímics
	Biològic	Desnitricació heterotròfica	Biofiltres, reactors de biopel·lícula mòbil, etc.
Desnitricació autotròfica		Sistemes bioelectroquímics	

>> Taula amb les tecnologies ex situ estudiades segons el mecanisme d'eliminació de nitrats. (Font: CWP, 2017)

Les fonts de contaminació d'origen industrial també afecten la qualitat dels recursos subterranis d'una manera que sol ser local i limitada al seu entorn més proper

públic, per ajudar a triar la tecnologia més adequada.

A Catalunya només es coneixen dues referències de desnitricació *in situ*: l'una, corresponent al projecte Life+ InSiTrate, a la riera de Llavanes, en què es fomentava la desnitricació heterotròfica, i l'altra, a Roda de Ter, impulsada per investigadors de la UB i l'ACA, en què la incorporació de nutrients en un aqüífer fracturat va generar desnitricació heterotròfica i, al mateix temps, va provocar l'autotròfica. A escala internacional n'hi ha unes quantes, d'experiències, i en cada cas les característiques hidrogeològiques del terreny condicionen el mètode i la seva eficiència.

Si bé la contaminació per nitrats és potser la més estesa i preocupant, la intrusió marina a les zones litorals la segueix en importància al litoral gironí. La penetració d'aigua marina als aqüífers litorals és un fet natural creat per la diferència de densitat entre l'aigua de mar i l'aigua dolça. Així, qualsevol sondeig a poca distància de la costa trobaria aigua salada, o salobre, en fondària. No obstant això, el bombament de pous prop del litoral ha generat intrusió marina; és a dir, la falca salina penetra a l'interior del continent, sovint uns quants quilòmetres, induïda pel con de captura dels pous en explotació. Aquest fenomen afecta tot el litoral gironí, des de les petites extensions al·luvials de la zona del cap de Creus fins als aqüífers fluviodel-

taics de la Muga, el Fluvià, el Baix Ter, la Ridaura i la Tordera. Són especialment paradigmàtics els exemples dels pous de Roses i Cadaqués, a la plana de la Muga, i el cas de la Tordera. En el primer cas, les captacions es van haver d'aturar en els anys vuitanta perquè presentaven concentracions superiors a mil cinc-cents mil·ligrams per litre de clorur. L'absència de bombament va permetre recuperar tant el nivell piezomètric com la qualitat de l'aigua subterrània, de manera que, avui dia, aquests pous presenten una qualitat excel·lent. Tot i això, altres captacions a la zona baixa de la Muga continuen induint el flux d'aigua salada cap al continent, fet que il·lustra l'alta vulnerabilitat dels aqüífers litorals. En el cas de la Tordera, l'abastament a les poblacions de Lloret, Blanes, Tordera i una part de l'Alt Maresme amb aigua subterrània dels aqüífers del delta, més les extraccions per a ús agrícola, hi van produir una intensa intrusió marina. Amb l'entrada en funcionament de la planta dessalinitzadora de Blanes es va reduir l'extracció d'aigua subterrània de l'aqüífer i es van recuperar els nivells piezomètrics i la qualitat de l'aigua subterrània.

La contaminació industrial

Les fonts de contaminació d'origen industrial també afecten la qualitat dels recursos subterranis d'una manera que sol ser local i limitada a l'entorn més proper de la font del conta-

minant. Els casos més habituals a les comarques gironines són els vessaments de combustibles en estacions de servei, de dissolvents (d'organoclorats, per exemple) i la presència de metalls a zones industrials, amb casos identificats entorn de Figueres; a la plana del Ter, a prop de Girona, i en algun polígon de la Selva. El seu tractament, generalment amb la instal·lació de petites unitats de depuració *in situ*, extreu el compost orgànic, generalment volàtil i adsorbable, de l'aigua contaminada i retorna l'aigua tractada a l'aqüífer.

En síntesi, l'activitat antròpica genera una pèrdua de qualitat de les aigües subterranies. La intensa activitat agrícola i industrial i l'elevat règim de bombament d'aigua subterrània a les zones litorals afecten la qualitat del recurs a les comarques gironines. En alguns casos, l'entrada del contaminant o la causa de la pèrdua de qualitat, com en el cas de la intrusió marina, es pot regular o limitar, però els efectes observats romandran durant molts anys o dècades i caldrà aplicar tecnologies de tractament on sigui necessari i econòmicament viable. A més, les variacions en el balanç hidrològic derivades dels nous escenaris climàtics modificaran el ritme de renovació d'aigua als principals aqüífers i poden alterar els processos biogeoquímics que contribueixen a l'eliminació dels contaminants. En determinats aqüífers, això podria suposar un augment de les concentracions de nitrat si les entrades de nitrogen no es controlen adequadament. La identificació de les causes de contaminació i la seva presència en el territori, el seu impacte i les accions per disminuir-lo, siguin de gestió o tecnològiques, són conegudes. Ara cal implicar-s'hi per assolir un veritable ús sostenible dels recursos hídrics.