

# AVALUACIÓ DE RISCOS AMBIENTALS MITJANÇANT MODELACIÓ GEOQUÍMICA

**Xavier Sanchez-Vila, Daniel Fernández-Garcia**

Department of Geotechnical Engineering and Geosciences e-mail: xavier.sanchez-vila@upc.edu

**Paraules Clau:** avaluació de risc ambiental, recàrrega artificial, modelació hidrogeoquímica

**Resum:** *L'interés sobre la recàrrega artificial d'aqüífers s'ha incrementat en els últims anys. La recerca del Grup d'Hidrologia Subterrània (GHS) de l'ETSECCPB vol donar una visió integrada i multidisciplinària sobre el risc (enginyeril i sanitari) associat a les pràctiques de recàrrega en basses d'infiltració. Per això és necessari avançar en paral·lel tant en l'estudi de la reducció en l'infiltració amb el temps, com en diferents aspectes relacionats amb les variacions hidrogeoquímiques durant el procés d'infiltració de l'aigua pel sòl i un cop a l'aqüífer. La incertesa lligada al desconeixement del medi natural implica haver de tractar amb el concepte risc des d'un punt de vista probabilístic. Els estudis realitzats o en marxa integren aspectes teòrics i numèrics amb assajos de laboratori i treball de camp en una zona pilot ja parcialment instrumentada.*

## 1. INTRODUCCION

A zones semiàrides es comprova que la pressió sobre els recursos hídrics creix i els conflictes entre els usuaris de l'aigua empitjoren [1]. La societat s'enfronta a canvis que qüestionen la sostenibilitat dels recursos hídrics. La gestió dels recursos en condicions d'escassetat suposa un equilibri entre oferta i demanda. Una gestió correcta sobre la demanda implica el compromís dels agents que hi intervenen. A més, trobem una important pressió sobre l'oferta, per exemple lligada al canvi climàtic, que farà que algunes regions del món pateixin un descens en les precipitacions i un augment en la durada de les èpoques de sequera.

Aquesta conjunció d'oferta minvant amb demanda sostinguda o creixent donarà lloc a una escassetat de recursos en els aqüífers, a més de provocar un impacte indesitjat sobre els cursos fluvials, els aiguamolls i els ecosistemes associats. Així, l'aigua corre el risc de convertir-se en moltes regions en un factor limitant del desenvolupament futur i en objecte de disputes. Al descens de recursos cal afegir el possible deteriorament de la qualitat dels mateixos, lligat a les activitats agrícoles, ramaderes o antròpiques. És evident que la situació ha de ser revertida. Això requereix, entre d'altres, la recuperació dels nivells als aqüífers i la reducció de la contaminació. Una possibilitat és la Recàrrega Artificial Controlada (MAR per les sigles en anglès). La MAR consisteix a introduir aigua en un aqüífer per augmentar la disponibilitat dels recursos hídrics i millorar la seva qualitat, contribuint a una gestió més racional d'aquests recursos. Els mètodes de recàrrega són diversos, però ens centrarem en els de superfície.

Existeix un conjunt de reptes científics associats a la recàrrega artificial d'aqüífers: Quanta aigua es pot recarregar de manera sostenible? Què pot fer-se per reduir la contaminació d'un aqüífer? Quins contaminants són mòbils i poden arribar als punts de captació, i en quina concentració? Quin és el risc associat a aquestes pràctiques? La resposta a aquestes i d'altres preguntes és el motor de la recerca del GHS. Un dels punts singulars és la combinació entre treball teòric, aplicacions numèriques, feina de laboratori i tasques de camp.

## 2. RECÀRREGA, FLUX, TRANSPORT DE SOLUTS I RISC AMBIENTAL

Els estudis en recàrrega artificial són essencialment interdisciplinaris i integrats. L'objectiu final és l'avaluació probabilista del risc en les pràctiques de MAR. El risc està associat amb el temps d'arribada d'un solut a una superfície de control, però també amb la signatura geoquímica d'una aigua en un punt concret. Aquesta signatura depèn de l'aigua inicial, però fonamentalment dels processos modificadors que hi tenen lloc. Científicament l'interès es troba en les interfícies entre geologia, hidrologia i geoquímica: la variabilitat geològica regeix el flux subterrani i el transport de soluts, que és el factor limitant en la majoria de reaccions.

### 2.1. Caracterització del transport de soluts reactius

Tradicionalment es modela el transport de soluts mitjançant l'equació d'advecció-dispersió (ADE). Malgrat això, el transport presenta un comportament que s'anomena anòmal o no-Fickià. A més, els paràmetres que controlen el comportament dels soluts a distàncies curtes presenten efectes d'escala. La dispersió suposa la separació dinàmica de les molècules i en zones amb presència d'aigües amb diferent composició química, provoca la mescla física d'aquestes i les consegüents reaccions (Figura 1).

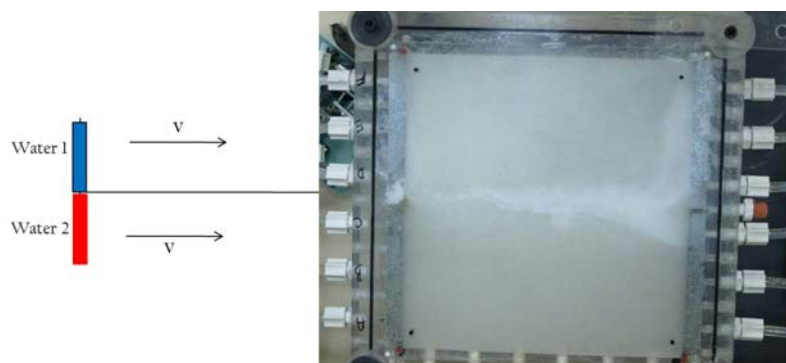


Figura 1. Experiment sobre precipitació de minerals provocat per la mescla de dues aigües deguda a la dispersió transversal

Un dels problemes coneguts en estudiar el transport reactiu és la complexitat matemàtica. Per aquest motiu la majoria de problemes s'aborden numèricament. Si bé és important avançar en el desenvolupament d'eines numèriques que incorporin processos cada vegada més complexos, una de les àrees de treball del GHS els darrers anys ha estat derivar expressions analítiques per a l'avaluació de la velocitat de reacció de precipitació/dissolució produïda per la barreja de dues aigües en equilibri químic amb el medi (Figura 2). La metodologia desenvolupada consisteix en desacoblar el problema de transport del problema reactiu (especiació).

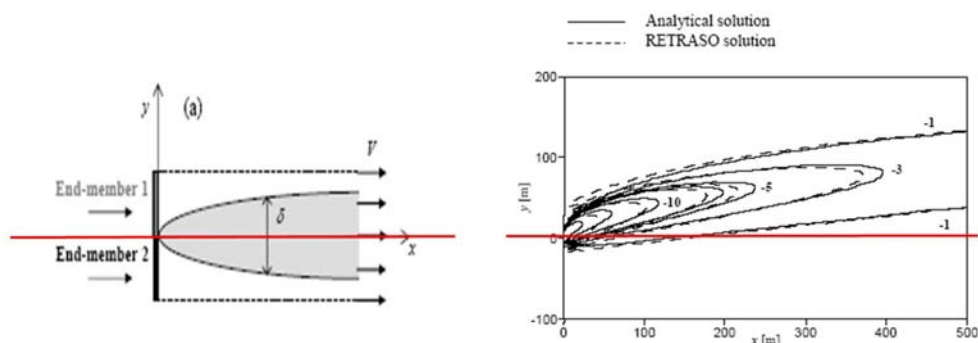


Figura 2. Comparació de solució analítica i numèrica en un problema de precipitació no-lineal

## 2.2. Formulació de les equacions de transport reactiu

En el seu transport a través d'un mitjà porós, les espècies dissoltes reaccionen entre elles i amb la fase sòlida, tot provocant canvis en la composició química del sistema. Existeixen força formulacions (incorporant més o menys processos) per a la caracterització del transport reactiu utilitzant com a base la ADE. Al GHS hem desenvolupat una formulació efectiva de transport basada en el model MRMT (Multi Rate Mass Transfer) que permet reproduir la taxa de reacció en problemes de transport. El model s'esquematitza en la Figura 3 i es basa en substituir la impossibilitat dels reactants de trobar-se a petita escala degut a la presència de zones de mobilitat reduïda (mescla incompleta) tot afegint un terme cinètic de reacció a la equació de govern. Aquest terme involucra uns paràmetres que són funció del temps.

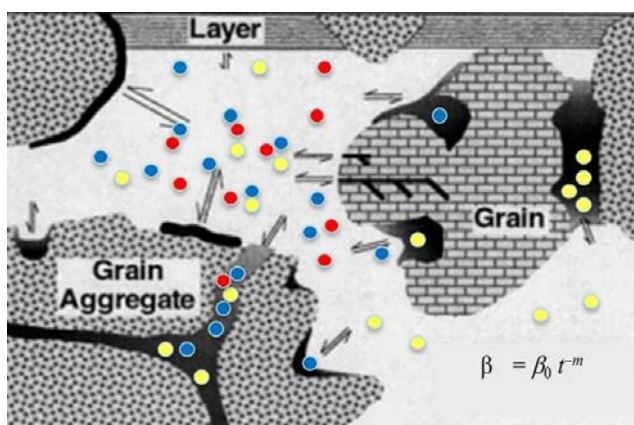


Figura 3: Model MRMT per incorporar transport reactiu multicomponent al transport de soluts considerant l'efecte de l'heterogeneïtat del medi porós

## 2.3. Connectivitat hidràulica.

Com s'ha comentat, un problema per analitzar el transport de soluts és la impossibilitat de caracteritzar completament el medi porós. El tractament del problema és llavors inherentment estocàstic. Un punt força complicat és el tractament de la connectivitat entre les zones d'alta permeabilitat, que ha demostrat tenir un impacte molt significatiu en el transport de soluts. Hi ha tota una sèrie d'indicadors de connectivitat, dependents del procés estudiat i del mètode d'interpretació emprat. Els dos més utilitzats són (1) el temps de resposta d'un punt en un assaig de bombament i que constitueix un indicador de la resposta hidràulica, i (2) la porositat estimada en un assaig de traçadors, que constitueix un indicador de la resposta associada al transport. Recentment s'ha comprovat que hi ha una relació quantificable entre ambdós [2].

L'estudi de la connectivitat hidràulica és crucial per a l'avaluació del risc associat a qualsevol instal·lació potencialment contaminant, incloent les basses d'infiltració. El GHS ha treballat recentment en un mètode estocàstic per delinear els patrons de connectivitat que pugui honorar tot tipus de dades procedents de diferents assaigs de caracterització: dades puntuals de transmissivitat, temps d'arribada de traçadors i el coeficient d'emmagatzematge estimat d'assaigs de bombament.

## 2.4. Dinàmica de la degradació de contaminants emergents

Es té molt poca informació sobre els processos de degradació de contaminants orgànics i la seva cinètica en el subsòl. Aquesta situació és especialment certa en el cas dels contaminants emergents (alguns recentment identificats i la major part d'ells encara no regulats), com són els productes farmacèutics o de cura personal. S'han estudiat les cinètiques de degradació d'alguns contaminants recalcitrants en assaigs batch que inclouen aigua, sòl i un còctel de

fàrmacs. Com a resultat s'ha pogut observar un efecte de degradació reversible d'alguns contaminants emergents (diclofenac i sulfametoxazol) governats pel procés de reducció del nitrat a nitrit i posteriorment a nitrogen.

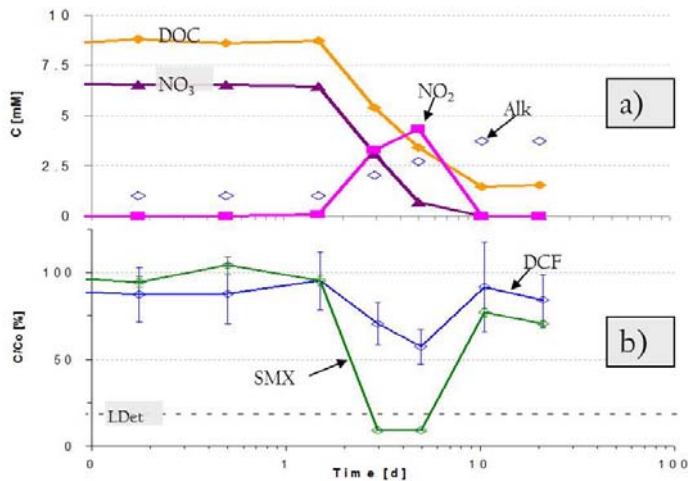


Figura 4: Degradació reversible de dos contaminants emergents lligats a un procés de denitrificació

## 2.5. Anàlisi probabilista del risc

Davant d'una activitat que comporti un risc potencial (sigui el risc ambiental, sanitari o, simplement, econòmic), un gestor ha sempre triar entre un conjunt d'alternatives mitjançant uns criteris de cost-benefici. L'avaluació del risc sota condicions d'incertesa es denomina avaluació probabilística de risc (ERP).

Recentment [3] hem treballat en desenvolupar una metodologia per a una avaluació del risc associat a un esquema de recàrrega artificial mitjançant basses d'infiltració (veure Figura 5). En concret s'avalua la probabilitat que algun contaminant (o qualsevol dels seus metabòlits) que pogués estar present en l'aigua de recàrrega, pogués acabar contaminant els pous de captació. Aquesta probabilitat es calcula mitjançant la combinació de probabilitats (condicionals) de fallada dels diferents processos que intervenen. Per a això s'ha de definir prèviament el "arbre de fallada" (conjunt de combinacions de successos que poden donar lloc a una fallada final), i després avaluar les probabilitats combinada a partir de les probabilitats dels subprocessos. Aquestes últimes poden obtenir analíticament o numèricament.

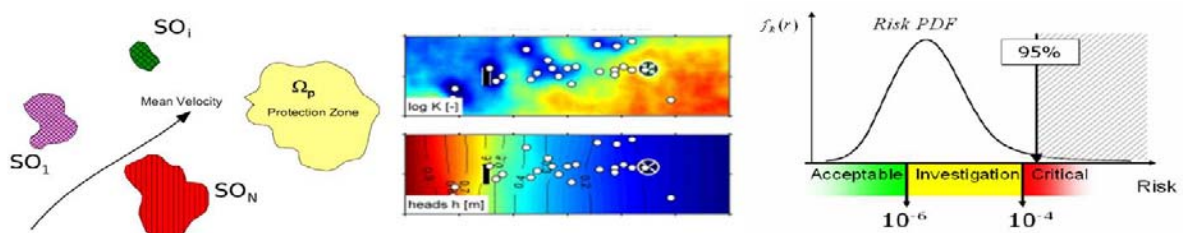


Figura 5: Esquema simple d'avaluació del risc associat a un procés de contaminació de l'aquífer

## REFERÈNCIES

- [1] Delli Priscoli, J., A.T. Wolf (2009) Cambridge University Press, 2009
- [2] Trincherò, P., X. Sanchez-Vila, D. Fernández-Garcia (2008) Advances in Water Resources, 31
- [3] Bolster D., et al. (2009) Water Resources Research, 45, W06413, doi:10.1029/2008WR007551