



# 14. Anàlisi territorial de la vulnerabilitat dels recursos hídrics davant del canvi climàtic

Josep Mas-Pla, Universitat de Girona  
Felip Ortuño, Agència Catalana de l'Aigua

## Introducció

La resposta del medi hidrològic al canvi climàtic és, com es mostra en els capítols precedents, molt complexa i afecta tots els components del cicle hidrològic. Des de la perspectiva de valorar-ne els efectes, l'anàlisi de la vulnerabilitat regional permet valorar l'abast d'aquesta resposta. Així, en aquest context, el concepte de vulnerabilitat fa referència a la propietat intrínseca del sistema hidrològic que depèn de la seva susceptibilitat (és a dir, la capacitat de resistir l'acció d'agents externs) per a adaptar-se als efectes adversos, en aquest cas del canvi climàtic. En el camp de la hidrologia, la vulnerabilitat mesura la intensitat en què una pressió afectarà un o diversos components/dinàmiques del sistema, inclosos els episodis extrems com ara sequeres i inundacions.

Davant de les pressions que exercirà el canvi climàtic en els sistemes hidrològics, és obligatori qüestionar-se quins canvis hi produirà i, a més, diagnosticar, concretament, com variaran les propietats del medi i, cosa més important, les funcions que realitza un sistema hidrològic. A grans trets, un sistema hidrològic porta a terme dos tipus de funcions: 1) les estrictament associades al seu estat natural de caràcter geodinàmic i ecològic, i 2) les derivades de considerar l'aigua com a recurs per a l'abastament de les distintes necessitats humanes. L'actual perspectiva de la gestió hidrològica cerca una explotació sostenible dels recursos i la preservació dels valors hidrològics, ecològics i socioeconòmics lligats a l'aigua. Aquesta idea és el fonament dels objectius de la Directiva marc de l'aigua (DMA, Directiva 2000/60/CE).

La constatació d'un canvi de tendència en les variables que controlen el balanç hídric a través dels models climàtics globals, especialment l'augment de la temperatura al planeta i la variació regional de la precipitació, implica modificacions en el balanç hídric a escala de conca. Per tant, els recursos hidrològics disponibles, el cabal superficial i la recàrrega dels aqüífers variaran; i les funcions que porten a terme seran modificades segons la susceptibilitat dels sistemes hidrològics.

Ja s'ha reconegut en els informes de l'IPCC (2001, 2007) que l'alteració dels règims hidrològics en un futur proper estaran tan influïdes per les variacions climàtiques *per se* com per les pressions antròpiques, associades a canvis d'usos del territori o a la mateixa adaptació al canvi climàtic. Aquesta alteració generarà un estrès més elevat en els sistemes hidrològics per a mantenir una demanda creixent en una situació de menys disponibilitat natural de recursos. Aquesta doble pressió, climàtica i antròpica, sobre el medi hidrològic coneguda amb el nom genèric de *canvi global*, s'ha de considerar en l'avaluació de la vulnerabilitat dels sistemes hidrològics al canvi climàtic, especialment si es vol considerar l'efecte sobre les reserves i les funcions del recurs (Holman, 2006).

En aquest text es descriuen els mecanismes que determinen la resposta dels sistemes hidrològics al canvi climàtic en el context de Catalunya i propostes per a determinar-ne la vulnerabilitat. La forma i la intensitat en què modifiquin la seva capacitat per a desenvolupar les funcions esmentades serà, doncs, la mesura de la seva vulnerabilitat i indicarà, per tant, el seu risc d'alteració.

## **Previsions climàtiques i pressions sobre els recursos hidrològics**

Catalunya presenta situacions hidrològiques molt diverses arreu del seu territori, tant pel que fa a la disponibilitat d'aigua com a la distribució de la demanda, sigui en la quantitat, en els tipus, en les pressions i en les formes d'abastament i gestió. El canvi climàtic afegeix una nova pressió als recursos hídrics i n'augmenta la vulnerabilitat.

Els estudis realitzats pel darrer informe de l'IPCC (2007) i pel projecte Prudence presenten un horitzó d'augment de la temperatura entre 3 i 5 °C i una disminució de la precipitació prop del 15%, aproximadament al llarg del segle XXI (vegeu capítols 6 i 7). Òbviament, totes dues variacions tenen influència en el cicle hidrològic, tant en el cabal dels rius com en la recàrrega dels aqüífers i, en tots dos casos, en la qualitat dels seus recursos. En conseqüència, el fet més preocupant pel que fa a l'alteració del cicle hidrològic i a la disponibilitat de recursos hídrics està en la vulnerabilitat a la sequera, acompanyada de diferents tipus de pressions sobre el medi hidrològic.

Aquestes pressions s'han d'analitzar tant des de la banda de l'oferta (disponibilitat d'aigua) com de la demanda (antròpica o ambiental) (EEA, 2006). De la banda de l'oferta, cal considerar: 1) la disminució de la precipitació (malgrat que hi ha algunes desavinences entre models climàtics) augmenta el risc de sequera; 2) l'augment de l'evapotranspiració implica una disminució de l'aigua disponible, amb el risc addicional de deteriorament de la qualitat dels recursos superficials i, consegüentment, d'una sobreexplotació dels recursos subterranis si la demanda no es modifica, i 3) la disminució de la recàrrega dels aqüífers i del cabal dels rius. Tots aquests temes han estat tractats i acotats als capítols anteriors.

De la banda de la demanda, cal enumerar: 1) el canvi dels usos del sòl i la capacitat d'emmagatzematge d'aigua en el medi vinculada a la desertització; 2) l'escassetat de recursos davant d'un augment de la demanda domèstica, agrícola i industrial, i 3) el creixement demogràfic i socioeconòmic del país.

### **Els recursos hidrològics i el canvi climàtic. Conceptes**

Els recursos hidrològics, siguin superficials o subterranis, cal considerar-los dins d'un mateix cicle en l'anàlisi de la vulnerabilitat davant del canvi climàtic (Alley *et al.*, 2002), atès que el bescanvi de massa entre superfície i subsòl és una de les conseqüències més importants tant de l'explotació humana dels recursos, com d'una alteració natural del cicle hidrològic (Sophocleous, 2002).

Amb relació a l'aigua superficial, les variables que governen totes dues funcions són el cabal i la seva qualitat hidroquímica. Les previsions climàtiques a la Mediterrània apunten a una disminució dels cabals, la qual és atribuïble majoritàriament a un augment de l'evapotranspiració relacionat amb la temperatura i, tanmateix, al canvi d'usos del sòl que afavoreix l'increment de massa forestal i les pèrdues d'aigua efectiva en el terreny per transpiració a l'atmosfera (Gallart, 2008; Sabaté, 2008). Les extraccions d'aigua per a satisfer la demanda antròpica constitueixen una pressió directa sobre el medi, sigui per l'existència de séquies de reg, derivacions a minicentrals o embassaments que regulen el cabal. En aquest sistema, la funció d'abastament humà preval damunt de la funció ecològica i són nombrosos els trams de riu –masses d'aigua– que per aquest motiu tenen el risc de no assolir els objectius de la DMA.

Amb relació a la qualitat de l'aigua dels rius, entre altres afeccions de caràcter més global (Grimalt i Ginebreda, 2008), l'abocament procedent de les EDAR pot donar lloc a una eutrofització i toxicitat de les aigües superficials, si no té una dilució adequada pels cabals naturals.

El cas de les aigües subterrànies té una complexitat més gran, basada en l'heterogeneïtat del medi geològic, la incertesa en la quantificació del balanç d'aigua en els aqüífers i l'efecte de les extraccions, les quals actuen alterant els fluxos naturals i la capacitat d'emmagatzematge i, òbviament, capten recursos i disminueixen les



reserves d'aigua en els anys secs. D'altra banda, la resposta dels aqüífers no està lligada només a la recàrrega per precipitació, sinó també als fluxos des d'altres unitats hidrogeològiques, els quals poden estar més o menys deslligats de les variacions del cicle hidrològic en superfície. Com a resultat, el règim d'explotació es podrà mantenir per un període més perllongat, amb el benentès que s'estarà forçant la descàrrega d'altres aqüífers limítrofs.

Les alteracions de la qualitat de les aigües subterrànies poden estar associades a un pol natural o al pol artificial. Si bé els règims de flux naturals poden preservar la qualitat d'un determinat aqüífer de la contaminació dels aqüífers propers, el règim de captacions alterarà aquest sistema dinàmic i produirà una dispersió del contaminant segons el sentit del flux modificat pels cons de depressió. Aquesta modificació del flux explica la presència de nitrat en aqüífers profunds, lixiviats dels aqüífers lliures a través dels nivells d'aqüítards, o bé de fluor o arsènic d'origen natural, que s'incorpora en determinats nivells a causa de l'alteració per bombeig.

Un cas especial dels efectes sobre la qualitat de les aigües és el de les zones litorals, on l'equilibri hidrològic de la falca marina és molt fràgil i, per tant, també ho és la salinització dels aqüífers costaners. Les derivacions dels rius a les planes fluviodeltaiques i les extraccions d'aigua subterrània afavoreixen la penetració de la falca marina i la pèrdua de recursos de bona qualitat. Tanmateix, les zones litorals són les que presenten una alta demanda, tant domèstica com agrícola, fet que agreuja la vulnerabilitat dels recursos en aquestes zones.

En un altre context, la distribució de les zones humides, tant en àrees continentals com litorals, correspon a un balanç entre les condicions climàtiques i la resiliència d'aquests sistemes a adaptar-se a variacions de temperatura i precipitació. D'aquesta manera, els canvis climatològics donen lloc a variacions latitudinals i altitudinals dels hàbitats, si bé, a escala més local, els canvis en el balanç hídric en una conca poden tenir efectes tangibles en la qualitat dels ecosistemes i afectar-ne les relacions ecohidrològiques.

Ahora, els ecosistemes associats a aigües continentals són un component essencial en el cicle hidrològic. D'una banda, ja s'ha comentat la seva influència a través de l'evapotranspiració. És especialment rellevant la que té lloc a la capçalera de la conca per la disponibilitat d'aigua als trams mitjà i baix del riu. I de l'altra, el desenvolupament dels ecosistemes depèn de la quantitat i qualitat de l'aigua superficial a les zones de ribera, i de l'aigua subterrània a les zones humides continentals i, més delicadament, a les litorals. Concretament, les zones humides litorals són les que, segons els informes internacionals, presenten més vulnerabilitat al canvi climàtic. No obstant això, les pressions antròpiques sobre rius i aqüífers al nostre país fan que aquest grau de vulnerabilitat pugui, a priori, fer-se extensiu a la majoria d'ecosistemes associats al medi fluvial (zones de ribera, llacunes...).

### **L'impacte de l'ascens del nivell del mar sobre els aqüífers costaners**

Els aqüífers costaners tindran una vulnerabilitat més alta com a conseqüència dels efectes del canvi climàtic relacionats amb l'ascens del nivell del mar. De manera natural, i sense estar modificats per l'acció de l'home, els aqüífers costaners descarreguen aigua dolça al mar. El cabal de descàrrega depèn de les propietats de l'aqüífer i de les seves condicions hidrogeològiques, de manera que s'estableix un gradient del nivell piezomètric de l'aigua subterrània del punt de recàrrega a l'aqüífer cap al mar, i s'evita, així, la penetració d'aigua marina terra endins. Aquest equilibri el trenca sovint l'home en explotar els recursos d'aquests aqüífers prop del mar, amb la qual cosa disminueixen els nivells de l'aigua i s'afavoreix la intrusió, de manera que llavors se sala ràpidament l'aigua dels pous d'extracció.

El nivell de base per a la descàrrega de l'aigua subterrània als aqüífers costaners és el nivell del mar. El canvi climàtic preveu una pujada del mar en l'àrea de la Mediterrània occidental que es pot estimar de 0,20 a 0,60 m per a finals d'aquest segle. En pujar el nivell de base, el gradient d'aigua dolça cap al mar serà menor. Si a això li afegim la reducció de la recàrrega, provocada per la reducció de les precipitacions en aquesta àrea, per l'augment

de la seva variabilitat i per l'augment de l'evapotranspiració i de l'escorrentia directa, podem concloure que els aqüífers costaners tenen un risc més elevat de salinització i d'intrusió marina en disminuir el flux d'aigua cap al mar, i per tant són més vulnerables.

La quantificació d'aquests impactes es pot realitzar utilitzant models numèrics; els quals permeten analitzar els efectes futurs sobre els nivells piezomètrics i la qualitat de l'aigua subterrània que es produiran quan es canvien determinades condicions. En aquest cas, es considera l'ascens del nivell del mar i, addicionalment, una disminució de la recàrrega.

Un cas d'estudi ha estat l'aqüífer de la Vall Baixa i Delta del Llobregat. Aquest aqüífer és ben conegut, atès que és una reserva estratègica per a l'abastament a la ciutat de Barcelona. Els estudis d'anàlisi específics de la recàrrega a Catalunya per efecte del canvi climàtic preveuen escenaris amb un augment de nivell del mar de 0,20 i de 0,60 m, i reduccions de la recàrrega directa del 8% i del 24% (taula 1, i vegeu també capítol 11). Aplicant aquests valors, s'han calculat els nivells piezomètrics corresponents i les concentracions de clorurs en tot l'aqüífer mitjançant un model de flux de gran detall, i es comparen amb els valors actuals.

**Taula 1. Escenaris d'augment del nivell del mar i de disminució de la recàrrega directa considerats en l'estudi de l'aqüífer de la Vall Baixa i Delta del Llobregat.**

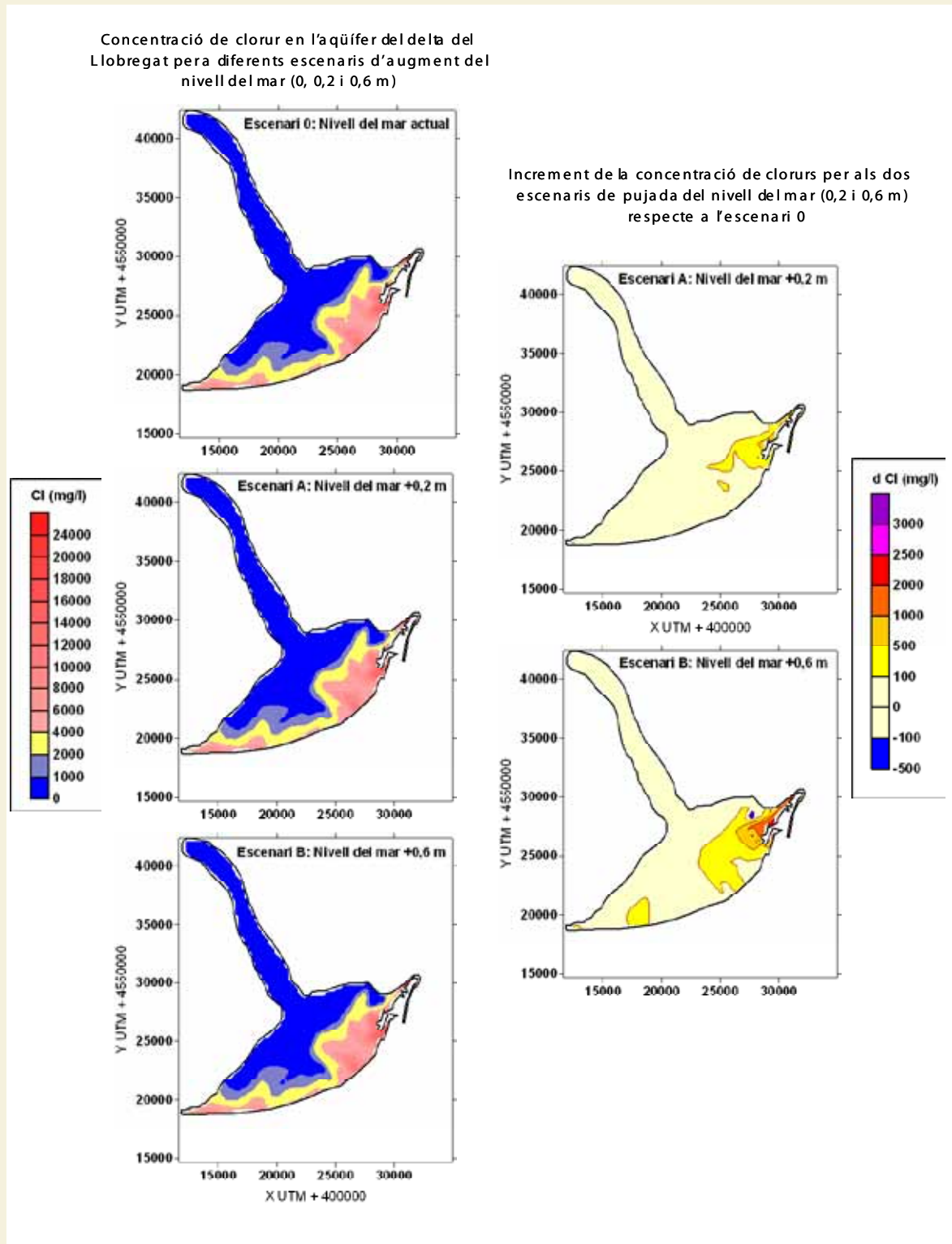
	<b>Escenari 1 (lleu)</b>	<b>Escenari 2 (sever)</b>
Augment previst del nivell del mar a la Mediterrània	+0,20 m	+0,60 m
Reducció de la recàrrega directa per pluja	-8%	-24%

Els resultats obtinguts per a aquest aqüífer costaner indiquen que la concentració de clorurs augmentarà com a conseqüència de la pujada del nivell del mar. En l'aqüífer principal del Llobregat cal esperar un augment de fins a 500 mg/l a les zones ja afectades actualment per la intrusió marina, associat a un ascens del nivell del mar de 0,2 m, el qual s'incrementarà tant en extensió com en concentració per a un ascens de 0,6 m (figura 1).

L'empitjorament en la qualitat de l'aigua subterrània per l'ascens del nivell del mar serà més accentuat si considerem la disminució de la recàrrega prevista. Un escenari que combini els dos efectes també mostrarà increments superiors de concentracions de clorurs en l'aqüífer. Així, un ascens del nivell del mar de 0,6 m combinat amb una disminució de la recàrrega del 24% provocarà un augment important de la concentració de clorurs a més de la meitat de la superfície del Delta (figura 2).

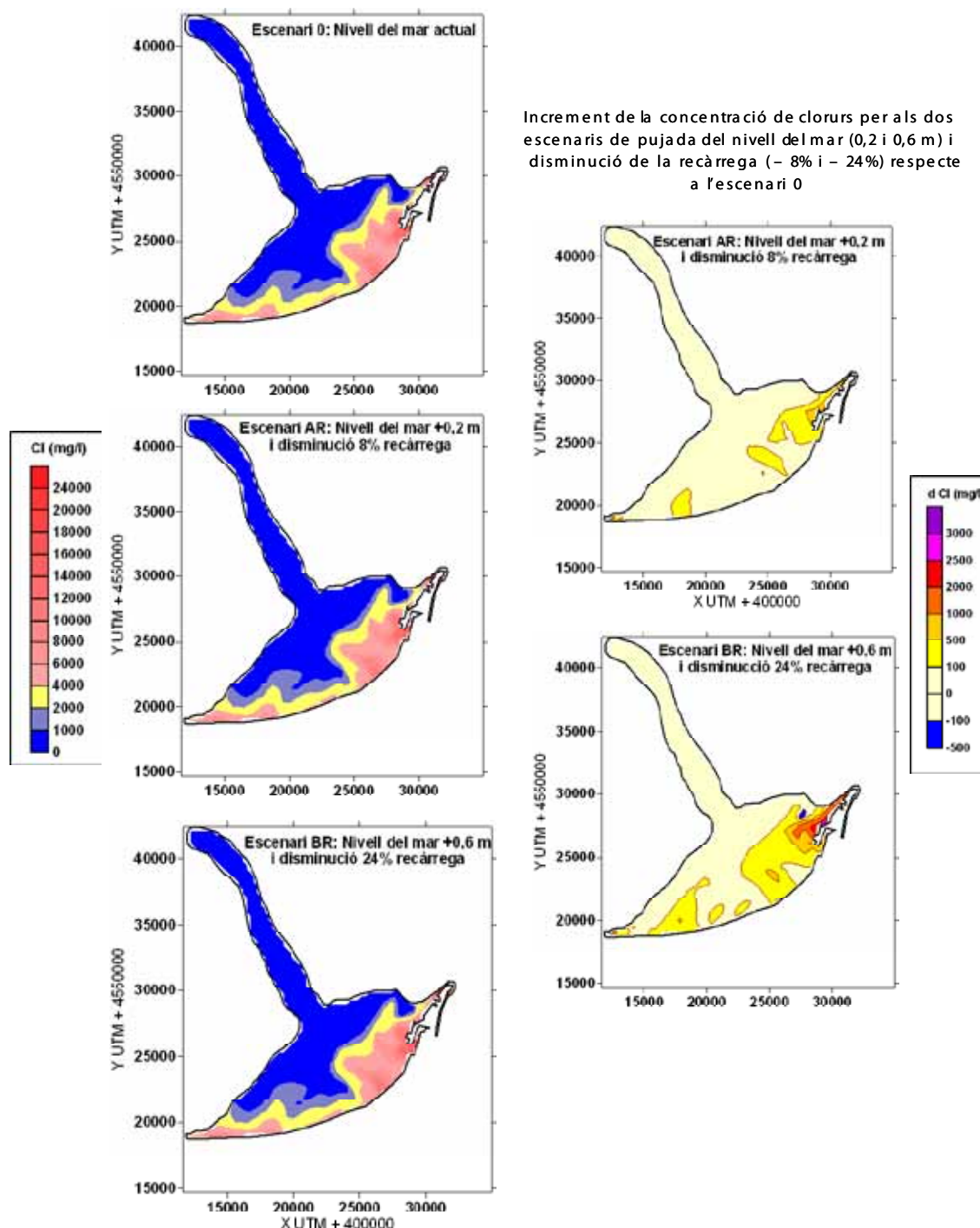


**Figura 1. Increment de la concentració de clorurs a l'aqüífer principal del Llobregat per a finals d'aquest segle com a conseqüència de la pujada del nivell del mar per l'impacte del canvi climàtic.**



**Figura 2. Increment de la concentració de clorur a l'aquífer principal del Llobregat per a finals d'aquest segle com a conseqüència de la pujada del nivell del mar i de la disminució de la recàrrega a l'aquífer.**

Concentració de clorur en l'aquífer del delta del Llobregat per a diferents escenaris d'augment del nivell del mar (0, 0,2 i 0,6 m) i disminució de la recàrrega (0, - 8% i - 24%)





## Anàlisi territorial de la vulnerabilitat

En l'anàlisi territorial de la vulnerabilitat dels recursos hídrics al canvi climàtic, la diagnosi dels efectes cal cercar-la en la resposta de les diferents conques a les variacions del cicle hidrològic. Aquesta resposta ha d'incloure (Vörösmarty *et al.*, 2004): l'aigua en totes les seves formes com a part física del cicle hidrològic, els sistemes biològics com a modificadors de fluxos d'aigua, i l'home com a agent alterador i responsable de la gestió del recurs.

L'anàlisi territorial es proposa a tres escales independents i, alhora, complementaris per a assolir una valoració real de la vulnerabilitat del medi hidrològic i proposar estratègies d'actuació:

### a) A escala de pla de gestió de conca en el context de la DMA

Els plans de gestió de conca han d'aportar el còmput dels recursos existents i dels diferents tipus de demanda, de com cal abastar-la i, si cal, aportar-hi recursos externs. Atès que ens trobem davant de sistemes hidrològics amb un alt grau d'aprofitament dels recursos, la forma en què es gestionen, actualment i en el futur immediat, són fonamentals a l'hora de determinar-ne la vulnerabilitat, tant pel que fa a la quantitat com a la qualitat del recurs. Plans de creixement urbanístic, desenvolupament industrial i agrari, i decisions polítiques determinen les pressions sobre el sistema i, amb elles, la seva vulnerabilitat i les possibilitats d'exercir les funcions pròpies del recurs de l'aigua amb garantia davant els escenaris hidrològics derivats del canvi climàtic.

En aquest sentit, els plans de gestió de conca han de ser el motiu per a generar un coneixement nou sobre el sistema, i proposar accions fonamentades per a garantir les funcions dels sistemes hidrològics i disminuir-ne la vulnerabilitat (Molist i Manzano, 2008).

### b) A escala de modelització dels sistemes hidrològics, com a eina per al càlcul dels balanços hídrics en condicions de canvi climàtic

La modelització dels sistemes hidrològics, superficials i subterranis, és una eina bàsica per a conèixer-ne el funcionament i, cosa més important, poder-lo simular en condicions adverses; per exemple, de més evapotranspiració i menys precipitació. La disponibilitat d'aigua en forma de cabal als rius i de nivell en els aqüífers, així com els fluxos entre aigües superficials i subterrànies en zones al·luvials i costaneres, defineixen l'impacte d'aquestes noves condicions ambientals en la dinàmica hidrològica.

La modelització hidrològica ha d'anar associada amb la modelització de la gestió, de manera que s'equiparin els recursos a la demanda i s'incloguin els diferents actors i les condicions econòmiques que regeixen l'assignació dels volums a les distintes tipologies de demanda.

D'una banda, la modelització de les aigües superficials permet calcular la resposta de l'escorriment superficial sota diferents condicions de precipitació i evapotranspiració, en la qual l'evolució dels usos del sòl és un factor capital. Els models d'aigües subterrànies estan destinats a reproduir el transport d'aigua en els aqüífers en funció de les seves distintes geometries, paràmetres hidrogeològics, relacions laterals o verticals i de les condicions d'entorn establertes: límits de nivell o flux definit (entre els quals els límits no permeables) representats per infiltracions, rius, canals..., i la mateixa línia de costa. Les conseqüències del canvi climàtic seran definides per condicions d'entorn transitòries. Aquest tipus de model són indispensables per a determinar la sostenibilitat d'un sistema hidrogeològic en explotació (Kalf i Wolley, 2005) i, per tant, molt adequats per a avaluar la resposta dels sistemes en unes condicions d'entorn canviants.

L'estat actual de la diagnosi de l'efecte del canvi climàtic en aigües superficials i subterrànies a Catalunya ha estat discutit per Manzano (2008) i per Ortuño *et al.* (2008) en aquest informe (capítols 10, 11 i 12).

No obstant això, el coneixement actual dels sistemes hidrològics és insuficient per a abordar aquesta avaluació de la vulnerabilitat arreu del territori català. Només els aqüífers del delta del Llobregat, del delta Besòs i del pla de

Barcelona disposen ara per ara d'un coneixement de la seva hidrogeologia que permeti realitzar simulacions sota condicions canviants que es puguin considerar representatives, com s'ha exposat anteriorment en la simulació dels efectes de l'ascens del nivell del mar. En una segona línia de precisió i detall en el coneixement hidrogeològic, hi hauria l'aqüífer de la baixa Tordera. També s'han aplicat models quantitius a les zones del baix Ter, del Fluvià i de la Muga, i al massís de les Guilleries, però amb una representativitat i una extrapolació dels resultats inferiors, que potser no els fa del tot apropiats per a una simulació que representi el canvi climàtic.

Tanmateix, la majoria d'aquests models només simulen el règim de flux subterrani i no la qualitat de l'aigua. Per a aplicar aquesta metodologia, caldrà una inversió en coneixement considerable per a generalitzar-ho a totes les conques que subministren aigua a la població per als diferents usos. Aquest coneixement seria més difícil i costós per a les aigües subterrànies que per a les aigües superficials. Ens cal, doncs, pensar en una avaluació qualitativa basada en un mostreig i un control representatiu que, malgrat reduccions simplistes dels escenaris i de la realitat hidrològica, permetin aportar conclusions.

Una altra metodologia interessant de modelització la constitueixen els sistemes de suport de decisions basats en variables hidrològiques, econòmiques i que considerin els condicionants de la gestió. El model Aquatool (Andreu *et al.*, 1996) permet fer aquest tipus de simulació que faria possible investigar les alteracions que significaria el canvi climàtic amb la finalitat d'assolir una gestió sostenible ambientalment i econòmicament. Un dels exemples més coneguts és l'aplicació a Califòrnia del model d'optimització Calvin (Tanaka *et al.*, 2006).

*c) A escala d'indicadors que aportin una visió integrada de la vulnerabilitat en funció de distintes variables, a semblança del Climate Vulnerability Index*

Amb la finalitat de reduir la complexitat dels sistemes hidrològics, l'ús d'indicadors no dimensionals en funció de distintes variables és una alternativa per a l'anàlisi territorial de la vulnerabilitat.

L'ús del *Climate Vulnerability Index* (CVI; Sullivan i Meigh, 2005) permetria fer una avaluació utilitzant com a variables els recursos hídrics disponibles i els factors de rang ambiental, social i econòmic de l'entorn de la conca hidrogràfica o de l'escala d'unitat hidrològica emprada en l'anàlisi. Els components principals del CVI fan referència a: 1) els recursos o la disponibilitat física de l'aigua, considerant la quantitat, la qualitat i les seves variabilitats; 2) accés al recurs per a les funcions (principalment les d'abastament humà); 3) capacitat per a gestionar el recurs en condicions habituals i adverses; 4) ús de l'aigua; 5) factors ambientals relacionats amb la integritat ecohidrològica dels sistemes, i 6) factors geoespacionals diversos relacionats amb el context geogràfic local.

El desenvolupament d'aquest índex per a Catalunya requerirà el coneixement del medi físic i de l'origen de l'abastament tant en nuclis metropolitans com en àrees agrícoles o industrials, sense oblidar les necessitats domèstiques de nuclis rurals en àrees deficitàries en recursos hídrics. Tanmateix, el CVI és un índex que, temptativament, hauria de contrastar el creixement previst per a les diferents conques amb les garanties existents de proveir-ne els recursos necessaris, i com les conques variarien amb el canvi de les condicions climàtiques. L'aplicació del CVI és, doncs, un exercici d'integració d'informació diversa que, amb l'adequada representació cartogràfica de la vulnerabilitat, pot ser valuós per a considerar els efectes del canvi climàtic en la planificació hidrològica, atès que actualment és obligat incloure els impactes del canvi climàtic en el cicle hidrològic com una variable més en els models de gestió (Molist i Manzano, 2008; Galbiati, 2008).

## **Conclusions, incerteses i oportunitats**

### **Conclusions**

- Les prediccions climàtiques indiquen condicions adverses en la disponibilitat de recursos hídrics a l'entorn de la Mediterrània occidental i, per tant, a Catalunya.





- L'avaluació de la vulnerabilitat, definida com la capacitat d'adaptar-se a situacions adverses en funció de les quals augmenta el risc de sofrir danys, ha de combinar la dinàmica dels sistemes hidrològics amb la consideració de les funcions ambientals i humanes del recurs de l'aigua.
- L'estat actual del coneixement dels sistemes hidrològics de Catalunya posa de manifest la necessitat d'una inversió en coneixement destinada a quantificar les alteracions que el canvi climàtic tindrà en els recursos disponibles en condicions d'explotació creixent.
- Per a l'anàlisi territorial de la vulnerabilitat s'opina que els plans de gestió de conca han de proveir el context de demanda, i pressions sobre els recursos hídrics necessaris per a contrastar fins a quin punt una situació hidrològica adversa genera un risc. L'ús de models matemàtics que permetin simulacions de cabals, de flux subterrani, hidroeconòmiques, etc., ha de proporcionar el context quantitatiu per a valorar la magnitud del risc.
- Paral·lelament al desenvolupament de models hidrològics regionals que permetin simular les condicions climàtiques predites, l'ús d'indicadors com el *Climate Vulnerability Index* són una opció complementària per a valorar qualitativament la vulnerabilitat territorial davant del canvi climàtic, comparar diferents conques, masses d'aigua, etc., i prendre decisions de prioritat en les estratègies adaptatives.

### Incerteses

En tots els estudis de canvi climàtic, les prediccions de variabilitat de temperatura i precipitació són la principal causa d'incerteses en la presa de decisions, que al seu torn són incertes per les incerteses sobre l'evolució dels escenaris socioeconòmics globals. No obstant això, en l'anàlisi de la vulnerabilitat hi ha altres factors igualment importants que han de permetre comparar el risc que comportaria la pèrdua potencial de recursos hídrics

En aquest sentit, els factors socioeconòmics, com la demografia, els canvis d'usos del territori, el desenvolupament econòmic, les decisions polítiques en matèria hidrològica, etc., són clau per a valorar la pressió futura sobre els recursos. D'altra banda, l'aprofundiment en el coneixement dels factors locals de caire geològic, hidrològic, químic, etc., és fonamental per a assolir la representació de la resposta dels sistemes davant el canvi climàtic.

### Oportunitats

L'avaluació de la vulnerabilitat dels recursos hídrics davant del canvi climàtic indica la necessitat d'aprofundir en el coneixement dels sistemes hidrològics, tant a nivell conceptual com d'adquisició de dades. Si bé aquesta necessitat és ja ben coneguda i ha estat reiteradament expressada per tècnics i investigadors, la urgència que sorgeix del canvi climàtic en reforça la indispensabilitat i justifica una inversió/esforç més gran en aquests temes.

A grans trets, les oportunitats d'aquesta anàlisi es concreten a:

- Insistir en el coneixement dels sistemes hidrològics, amb responsabilitats compartides entre l'Administració i el sector privat responsable de la gestió de l'aigua, orientats a valorar els factors hidrològics i socioeconòmics que determinaran la vulnerabilitat futura dels sistemes hidrològics.
- Desenvolupar, en un primer estadi, indicadors de vulnerabilitat, com el *Climate Vulnerability Index* esmentat, que presentin una anàlisi territorial inicial i es puguin emprar com un criteri de prioritització en l'aplicació de mesures adaptatives a mesura que es vagin desenvolupant. En els sistemes, conques, masses d'aigua, etc., on es puguin desenvolupar models de simulació, caldrà considerar els resultats numèrics de la resposta del sistema amb relació a les necessitats de les funcions ambientals i d'abastament humà. Això en permetrà determinar el nivell d'impacte i valorar-ne amb més precisió el grau de vulnerabilitat.

## Referències bibliogràfiques

- ALLEY, W. M.; HEALY, R. W.; LABAUGH, J. W.; REILLY, T. E. (2002). «Flow and Storage in Groundwater Systems». *Science*, núm. 296, pàg. 1985-1990.
- ANDREU, J.; CAPILLA, J.; SANCHIS, E. (1996). «AQUATOOL, a generalized decision-support system for water-resources planning and operational management». *Journal of Hydrology*, núm. 177 (3-4), pàg. 269-291.
- CALBÓ, J. (2005). «Projeccions futures sobre el clima a Catalunya». A: J. E. Llebot. *Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de Catalunya, Generalitat de Catalunya. Pàg. 193-226.
- EEA (EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY) (2006). *Vulnerability and adaptation to climate change in Europe*. EEA Technical report, núm. 7/2005. 79pàg.
- GALBIATI, L. (2008). «La Directiva Marc de l'Aigua i el canvi climàtic». A: Agència Catalana de l'Aigua (ACA) - Fundació Nova Cultura de l'Aigua (FNCA). *Aigua i canvi climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya*. Barcelona. (Aquest volum.)
- GALLART, F. (2008). «Canvis temporals observats en les sèries de cabals». A: Agència Catalana de l'Aigua (ACA) - Fundació Nova Cultura de l'Aigua (FNCA). *Aigua i canvi climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya*. Barcelona. (Aquest volum.)
- GRIMALT, J.; GINEBREDÀ, A. (2008). «Canvi climàtic i qualitat química del medi aquàtic». A: Agència Catalana de l'Aigua (ACA) - Fundació Nova Cultura de l'Aigua (FNCA). *Aigua i canvi climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya*. Barcelona. (Aquest volum.)
- HOLMAN, I. P. (2006). «Climate change impacts on groundwater recharge - uncertainty, shortcomings, and the way forward?». *Hydrogeology Journal*, núm. 14, pàg. 637-647.
- IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANNEL FOR CLIMATE CHANGE) (2001). *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation & Vulnerability*. <http://www.ipcc.ch/ipccreports/assessments-reports.htm> IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANNEL FOR CLIMATE CHANGE) (2007). *IPCC Fourth Assessment Report: Working Group II Report «Impacts, Adaptation and Vulnerability»*.  
<http://www.ipcc.ch/ipccreports/assessments-reports.htm>
- KALF, F. R. P.; WOLLEY, D. R. (2005). «Applicability and methodology of determining sustainable yield in ground water systems». *Hydrogeology Journal*, núm. 13, pàg. 295-312.
- MANZANO, A. (2008). «Exemples de modelització hidrològica del règim mig dels rius catalans en escenaris futurs». A: Agència Catalana de l'Aigua (ACA) - Fundació Nova Cultura de l'Aigua (FNCA). *Aigua i canvi climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya*. Barcelona. (Aquest volum.)
- MOLIST, J.; MANZANO, A. (2008). «Riscos sobre la gestió dels recursos hídrics». A: Agència Catalana de l'Aigua (ACA) - Fundació Nova Cultura de l'Aigua (FNCA). *Aigua i canvi climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya*. Barcelona. (Aquest volum.)
- ORTUÑO, F.; JÓDAR, J.; CARRERA, J. (2008). «Canvi climàtic i recàrrega d'aqüífers a Catalunya». A: Agència Catalana de l'Aigua (ACA) - Nova Cultura de l'Aigua (FNCA). *Aigua i canvi climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya*. Barcelona. (Aquest volum.)
- SABATÉ, S. (2008). «Balanç hídric, els boscos i l'evapotranspiració». A: Agència Catalana de l'Aigua (ACA) - Nova Cultura de l'Aigua (FNCA). *Aigua i canvi climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya*. Barcelona. (Aquest volum.)



- SOPHOCLEOS, M. (2002). «Interactions between groundwater and surface water: the state of science». *Hydrogeology Journal*, núm. 10, pàg. 52-76.
- SULLIVAN, C. A.; MEIGH, J. R. (2005). «Targeting attention on local vulnerabilities using an integrated indicator approach: The example of the Climate Vulnerability Index». *Water Science and Technology, Special Issue on Climate Change*, núm. 51(5), pàg. 69-78.
- TANAKA, S. K.; ZHU, T.; LUND, J. R.; HOWITT, R. E. [et al.] (2006). «Climate Warming and Water Management Adaptation for California». *Climatic Change*, núm. 76 (3-4), 367-381.
- VÖRÖSMARTY, C. J.; LETTENMAIER, D.; LEVEQUE, C.; MEYBECK, M. [et al.] (2004). «Humans transforming the global water system». *AGU Eos Transactions*, núm. 85, pàg. 509-514.