

Quina és la solució més sostenible des del punt de vista ambiental per fer front a la sequera?

Montserrat Termes
UB i CETAQUA

Maria Guerrero
CETAQUA

Desirée Marin
AGBAR

ABSTRACT

La sequera persistent a Catalunya, agreujada pel canvi climàtic, exigeix solucions sostenibles pel que fa a la gestió de l'aigua que equilibrin impactes econòmics i ambientals. Aquest article examina les diferents alternatives que el Govern de la Generalitat d'ERC va proposar per a reduir la vulnerabilitat de les Conques Internes de Catalunya (CIC) davant l'escassetat d'aigua, incloent-hi la dessalinització, la regeneració, les millores en la potabilització, el transvasament d'aigua i el transport d'aigua en vaixell. S'analitzen els costos econòmics associats i les petjades de carboni i hídrica de cada tecnologia, amb una comparació específica per disposar de informació sobre la seva viabilitat tècnica, econòmica i ambiental. Els resultats ofereixen una guia per a la presa de decisions en el disseny de polítiques públiques per una gestió hídrica més resiliència.

Introducció

Moltes regions del món s'enfronten a l'escassetat d'aigua, on la demanda d'aigua supera el subministrament disponible. Les raons de l'escassetat d'aigua inclouen diferents raons com el creixement de la població, el tipus d'urbanització o el canvi climàtic, entre d'altres, que fan que milers de milions de persones a tot el món siguin vulnerables a l'accés a aigua potable neta i segura. Tot i això, el problema no és tant de quantitat sinó de distribució desigual

i de gestió poc sostenible. Tot i que la demanda augmenta pels elements assenyalats, el recurs no està equitativament disponible o accessible a totes les regions.

La qualitat de l'aigua disponible també és una preocupació important, ja que la contaminació per abocaments industrials, l'escorrentia agrícola i la infraestructura de sanejament insuficient contribueixen a quantitats, de vegades incontrolables, de contaminació en les fonts d'aigua. La mala qualitat de l'aigua pot conduir

a malalties transmeses per l'aigua, degradació ambiental i més pressió sobre els recursos hídrics limitats.

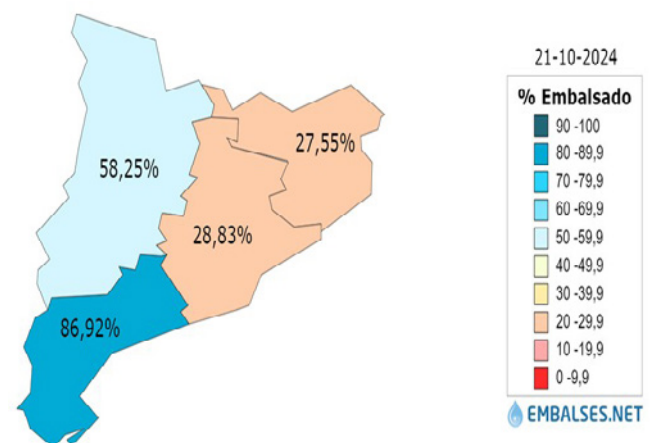
Cal fer la distinció entre sequera meteorològica i la sequera hidrològica. La primera respon a un descens considerable de pluja o una manca de la pluviometria durant un període prolongat i és la primera a manifestar-se. La sequera hidrològica es presenta quan els recursos disponibles, superficials i subterranis, es troben per sota els nivells normals durant un període llarg de temps i que poden impedir cobrir les demandes d'aigua (MITECO, 2024). Els patrons de precipitació estan canviant a causa del canvi climàtic i això comporta que les sequeres i les inundacions siguin més freqüents i posin a les persones, les empreses i l'ecosistema en problemes diversos.

Quan analitzem més a fons els reptes creixents de l'aigua, el que podem veure és que el seu subministrament no es pot dur a terme només a partir de polítiques i governança tradicionals, ja que requereix respostes més creatives i innovadores en l'era digital actual, que ajudin a fer front a la situació climàtica canviant, que genera esdeveniments extrems més freqüents.

Des del 2021 fins a l'actualitat, Catalunya ha experimentat una de les pitjors sequeres dels últims anys. La manca de pluges constants i la sobreexplotació dels recursos hídrics han portat els embassaments de les conques internes a nivells crítics, per sota del 20% de la seva capacitat. En conseqüència, el novembre de 2023, es va declarar la pre emergència per sequera a 202 municipis, afectant gairebé a sis milions de persones, especialment a l'àrea metropolitana de Barcelona. El 21 de novembre de 2023 els embassaments de les Conques Internes es trobaven al 18,5% (pitjor xifra de la història). Els nivells dels embassaments, com el de

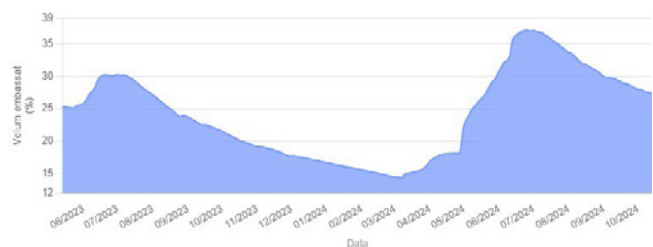
la Baells, van continuar disminuint durant tot l'any 2024, provocant restriccions severes en l'ús de l'aigua per a la indústria, l'agricultura, el consum domèstic i l'ambiental.

Gràfic 1. Estat de les reserves d'aigua a Catalunya



A continuació, el gràfic 2 il·lustra l'estat dels embassaments a les Conques Internes de Catalunya durant aquest període, que mostra una tendència clarament decreixent fins arribar a nivells històricament baixos.

Gràfic 2. Estat de les reserves d'aigua en les conques internes de Catalunya



Font: ACA. El visor de la sequera

De manera més concreta, des de el mes de febrer fins la setmana del 11 de maig del 2024, la situació va ser, segons qualificació del pla de sequera, d'emergència a les conques internes

de Catalunya encara que no a la conca catalana de l'Ebre. El dia 9 de març de 2024 es va arribar al mínim de reserves amb una dada de 14,33%. La situació era extrema i estava posant en risc la capacitat de subministrar aigua a curt termini. Tot i que a finals d'agost vàrem tenir un episodi de pluges que va portar a augmentar les reserves dels embassaments de les conques internes al 31,11 %, ara mateix (20 d'octubre de 2024) és del 27,61%. L'estat d'emergència i les restriccions aplicades en tots els usos de l'aigua des de l'1 de febrer de 2024 tenen conseqüències econòmiques en tots els sectors econòmics. La Cambra de Comerç (Cambra de Comerç de Barcelona, 2024) ens recorda que el 80,7% del Valor Afegit Brut de Catalunya es genera a les conques internes i, en conseqüència, l'exposició econòmica a la sequera és molt elevada. I no només això sinó que les pèrdues al sector agrícola també són rellevants.

En aquest context, la societat civil aporta propostes de solucions per tal de fer front a la situació de sequera no només a curt termini sinó també a llarg termini. De manera concreta, l'Observatori Intercol·legial de l'aigua sota el lema *Aigua Nova*, proposa diverses solucions per mitigar aquesta crisi i que passen per:

1. Impulsar l'aportació de noves fonts de subministrament d'aigua no dependents del cicle natural de l'aigua (pluges).
2. Apostar per la connexió de les xarxes regionals d'abastament per aportar resiliència i flexibilitat al sistema català en situacions d'emergència, seguint un anàlisi de viabilitat que valori avantatges i inconvenients, i sempre considerant el cabal ambiental dels rius de cada conca com a element essencial.
3. Abordar la millora de l'eficiència i la reducció de pèrdues al sistema, en es-

pecial als usos urbans i agrícoles (on s'utilitza la majoria d'aigua necessària per a produir aliments).

4. Construir un projecte transformador i de consens abordant el model de gestió, de governança i de finançament de l'aigua per aprofitar, entre d'altres, els recursos provinents dels fons europeus. Ha de quedar clar que el valor de l'aigua no és només econòmic.

El Govern de la Generalitat d'ERC no va considerar algunes d'aquestes propostes però en va proposar de noves. L'ampliació de la dessalinitzadora de Tordera II a Blanes (Girona) i la construcció de la dessalinitzadora de Foix (ubicada entre Cubelles i Cunit) són clares. Malgrat tot, aquesta solució, si bé té un suport molt ampli, no és a curt termini. L'administració d'aquell moment també va presentar dos projectes lligats a l'Ebre que passaven per aprofitar aigua d'aquest riu per tal d'assegurar el reg de suport a la comarca del Priorat a Tarragona. Així, un dels projectes proposava portar aigua des de García a la comarca de la Ribera d'Ebre fins el pantà de Guiamets i, posteriorment, al de Siurana (a data d'avui ambdós al 0%). L'altre proposta es basava en connectar el pantà de Margalef (conca de l'Ebre però sense aigua a dia d'avui) amb el canal Garrigues sud per portar aigua al Priorat. Aquests projectes implicaven una transferència indirecta entre conques. Altres solucions són l'ampliació de les potabilitzadores del Besòs per augmentar la producció d'aigua regenerada però tampoc és una solució a curt termini. El Govern de la Generalitat d'aquell moment, descartava la interconnexió amb el volum sobrant de la concessió de l'Ebre al Camp de Tarragona amb la xarxa metropolitana de Barcelona.

Com queda palès, aquestes solucions no són a

curt termini i, per aquest motiu, algunes altres solucions, que van aparèixer a més curt termini, van ser la de portar aigua amb vaixell al port de Barcelona. En concret, es va avançar un pla per portar aigua de la dessaladora de Sagunt, que hauria d'augmentar la seva producció (depèn de l'empresa pública ACUAMED). La planta va ser inaugurada l'any 2009 i té una capacitat de producció de $8,4 \text{ hm}^3$, no estava al 100% de la seva producció i no competia amb d'altres usos locals. L'aigua es portaria al Port de Barcelona i permetria transportar, com a mínim, un vaixell al dia amb fins a 20000 m^3 d'aigua atès que l'operació tardaria unes 12 hores entre la càrrega a Sagunt i la descàrrega a Barcelona. Segons la ministra de Transició Ecològica d'aquell moment, Teresa Ribera, a partir de juny de 2024 -quan podrien arrencar els trasllats- fins al desembre, els vaixells podrien portar un total de 7 hm^3 d'aigua a Barcelona. És una quantitat similar a la que contenia, en aquell moment, l'embassament de Darnius-Bodadella (Alt Empordà) i el de Sant Ponç (Solsonès). A nivell de consum, equival a l'11% de l'aigua que s'usa a la ciutat de Barcelona en l'àmbit domèstic en tot un any. Pel que fa a l'aigua portada en vaixell des de Tarragona, segons el director de l'ACA, Samuel Reyes, el volum podria arribar als 6 o 7 hm^3 d'aigua, però en aquest cas durant tot un any i no en set mesos.

Ateses les diferents propostes, aquest article analitza quins són els costos econòmics i ambientals, a partir de l'empremta de carboni i la petjada hídrica, d'algunes de les solucions proposades per fer front a la sequera. En particular de la dessalació, la regeneració, la interconnexió i la portada d'aigua potable en vaixell.

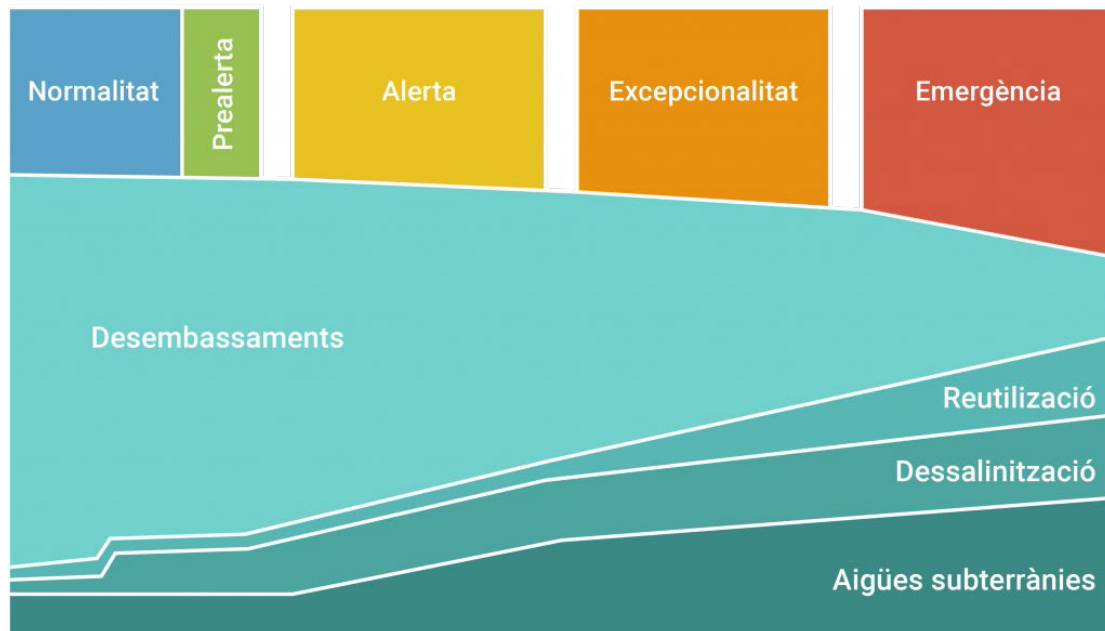
2. Marc Teòric

Per fer front a les situacions de sequera, l'administració pública de Catalunya disposa d'una de les eines de planificació, el Pla de Sequera (PES). Aquest pla es va aprovar per Acord GOV/1/2020, de 8 de gener i, en ser una eina de gestió de caràcter preventiu, manté una vigilància permanent sobre l'evolució de les reserves d'aigua i estableix, per a cada escenari i àmbit d'actuació, la progressivitat de les mesures que combinen la gestió de la demanda amb la disponibilitat del recurs. Així, el Pla especial de sequera és l'eina per a gestionar l'escassetat d'aigua amb antelació per tal de garantir l'abastament en qualsevol dels escenaris de sequera. Amb l'objectiu de preservar el màxim temps possible l'aigua que hi ha als embassaments (que depenen de les pluges), quan aquests se situen al 60% de la seva capacitat s'activen de manera progressiva mesures com l'increment de producció d'aigua procedent de fonts no convencionals (dessalinitzadores, estacions de regeneració d'aigües) o els canvis en el règim d'extracció d'aigua dels aqüífers i pous recuperats.

El Pla defineix els escenaris de normalitat i pre-alerta que no comporta limitacions en l'ús de l'aigua però posa en marxa mesures preparatòries bàsicament d'organització interna, informació i comunicació als diferents usuaris i usos. A partir del de pre-alerta els diferents escenaris són: Alerta, Excepcionalitat i Emergència¹ tal i com es pot veure a la figura 3.

¹ El fet d'entrar o sortir dels diferents escenaris en qualsevol dels 18 àmbits territorials de les conques internes es fa mitjançant una resolució del director de l'Agència Catalana de l'Aigua un cop assolits els líndars establerts per a cada zona i havent-se reunit prèviament la Comissió Permanent de

Figura 3. Escenaris o estats de sequera recollits en el Pla especial de sequera



Font: Agència Catalana de l'Aigua.

Per fer front a la sequera s'assenyalen diferents propostes, tant tradicionals com modernes, segons els diferents usos:

Agricultura: Tradicionalment, es feien servir canals de reg oberts i sistemes de reg a maneta. Actualment, la modernització ha de portar a l'ús del **reg per degoteig**, que permet una major eficiència en l'ús de l'aigua, especialment en zones de regadius (DARP, 2006)

Indústria: El sector industrial ha passat d'utilitzar grans volums d'aigua per a processos de refrigeració a ser capaç de implementar **tecnologies de reutilització d'aigua**. Això redueix la pressió sobre els recursos hídrics².

Usos públics: Els usos públics, com el reg de parcs i jardins, han adoptat tecnologies més sostenibles com l'ús d'**aigües regenerades** o

també les freàtiques.

Turisme: L'ús d'aigua en hotels i zones turístiques ha d'evolucionar cap a sistemes d'**estalvi d'aigua**, amb mesures com la limitació de canvi de tovalloles i la instal·lació de dispositius d'aigua eficients però també en la reutilització d'aigua també pel reg de jardins.

Usos residencials: En àmbits residencials, es promouen campanyes de conscienciació per reduir el consum d'aigua i l'adopció de dispositius de baix consum, com **aixetes amb airejadors** i **cisternes de doble descàrrega**. Darrerament, l'ús de sensors i la digitalització ja permeten disposar de informació en temps real del consum a la llar. De la mateixa manera, l'ús de diferents aplicacions que barregen entreteniment i conscienciació ajudaran a millorar els comportaments dels ciutadans respecte de l'ús eficient del recurs.

² El consum d'aigua a la indústria en el context de sequera. ACCIÓ - Agència per la Competitivitat de l'Empresa

Tot i les diferents accions i respostes que s'han anat implementant, l'augment de la població a Catalunya, de l'activitat econòmica i turística, entre d'altres, ha provocat l'existència d'un dèficit entre la disponibilitat del recurs i la seva demanda. Tot i que no cal oblidar que s'ha de millorar l'eficiència de les xarxes de distribució i que es pot avançar en les polítiques de gestió de demanda, la implementació d'algunes solucions tecnològiques sembla necessari. Així, ens focalitzem en les diferents solucions tecnològiques proposades encara que no totes tinguin un acord majoritari.

2.1 Potabilització

La potabilització inclou diverses tècniques per netejar l'aigua tot i que depèn de la qualitat i origen de l'aigua que entra a la potabilitzadora. Un dels mètodes principals és la filtració combinada amb la desinfecció per diòxid de clor o llum ultraviolada, utilitzat per eliminar impureses i microorganismes. Aquest procés assegura que l'aigua sigui apta per al consum humà. En alguns casos i per millorar les qualitats organolèptiques es pot sotmetre l'aigua a tractament amb ozó que acaba de completar la desinfecció de l'aigua. Finalment, s'acostuma a aplicar la tècnica de osmosi inversa que consisteixen fer passar l'aigua per unes membranes d'osmosi inversa que permeten obtenir una aigua lliure de virus, bacteris i compostos orgànics i inorgànics. En el cas de la planta de Sant Joan Despí, per exemple, prèviament s'ha sotmès l'aigua a un procés d'ultraviolat, filtració de cartutxos i novament ultraviolat³.

2.2 Regeneració

³ [Sabies que l'estació de tractament d'aigua potable \(ETAP\) de Sant Joan Despí és una de les claus per portar a casa teva aigua de la màxima qualitat? En aquest article t'expliquem com funciona una de les plantes potabilitzadores més capdavanteres d'Euro-pa. - La planta potabilitzadora de Sant Joan Despí - Web oficial - La gestió responsable](#)

Aquesta tecnologia tracta l'aigua residual perquè es pugui reutilitzar en els diferents usos permesos per la llei, com el regadiu o, fins i tot, el consum humà de manera indirecta. És una opció molt prometedora per reduir la demanda sobre els recursos hídrics tradicionals i es veu com una alternativa més sostenible i eficient per pal·liar l'escassetat d'aigua (Grupo, 2021). Obtindre aigua regenerada que sigui apta per la seva reutilització requereix de tractaments addicionals per a millorar la qualitat dels efluents de la depuradora. Això es deu a que els tractaments de depuració redueixen la càrrega de contaminants de les aigües residuals de manera que es puguin abocar a les lleres dels rius però això no significa necessàriament que pugui tenir un ús posterior com a recurs alternatiu. Aquests tractaments de la depuradora s'anomenen terciaris i la elecció dels mateixos dependrà fonamentalment de dos factors: d'una banda, de la línia de tractament primari i secundari existent a l'EDAR (Estació de Depuració d'aigües Residuals) i de l'altra, de la qualitat requerida de l'aigua regenerada, per tal d'adaptar-se a les qualitats mínimes exigides per al seu ús en la legislació vigent. Els primers es duen a terme a les EDAR i a l'ERA (Estació Regeneradora d'Aigua) els tractaments per assegurar la qualitat sanitària de l'aigua. Així, els processos terciaris més utilitzats a Espanya i en funció de l'ús de l'aigua regenerada es basen en una combinació d'un conjunt de tecnologies que poden incloure micro-filtració, ultra-filtració (UF), nanofiltració (NF) o osmosi inversa (OI), en funció dels nivells de qualitat requerits per al seu ús final. Les tecnologies d'OI i NF retenen el pas de molècules relacionades amb la seva mida i, per tant, eliminen també les substàncies orgàniques, herbicides, bacteris i virus. L'OI és l'adequada quan la salinitat és elevada i es requereix un alt tall de sals, especialment monovalents. La NF posseeix una major taxa de flux

que l'OI i s'empraria quan els ions a eliminar fossin divalents. En els darrers anys, estan adquirint certa avantatge els Reactors Biològics de Membranes (MBR) que combinen els processos biològics i la tecnologia de membranes d'ultrafiltració o microfiltració⁴. Actualment, existeixen diferents processos basats en tractaments que varien en la seva complexitat, la qual cosa repercuteix en els costos d'inversió i explotació de les plantes de tractament i en el preu de l'aigua regenerada.

2.3 Dessalació

La dessalació d'aigua de mar o la de les aigües subterrànies salobres és una font de recursos hídrics per al consum humà. Es un recurs hídric alternatiu força necessari amb èpoques de sequera junt a l'aigua regenerada. El procés de dessalinització que elimina els ions de sal i contaminants, es fa a Catalunya a partir de l'osmosi inversa que consisteix a bombar l'aigua a alta pressió cap una membrana semipermeable que només permet el pas de les molècules d'aigua, retenint les sals i altres impureses. La osmosi inversa requereix un consum d'energia significatiu, ja que es necessita una alta pressió per separar l'aigua de la sal. És una tecnologia eficient i utilitzada àmpliament en països amb escassetat d'aigua, com Espanya, Israel i Aràbia Saudita. Cal assenyalar que no es pot aprofitar tota l'aigua bombada sinó que el rendiment és, aproximadament, d'un 45% i cal remineralitzar-la⁵. A banda de la OI, també es pot utilitzar la Electrodialísi Reversible (EDR) que és una tecnologia de purificació d'aigua que elimina els ions dissolts, com la sal i altres minerals, mitjançant l'ús de membranes i un camp elèctric. S'utilitza principalment per

dessalar aigua salobre encara que també per tractar aigües residuals, fent-la una tecnologia important en regions amb escassetat d'aigua. En el procés d'EDR, l'aigua flueix entre membranes alternades amb càrregues positives i negatives. Quan s'aplica un camp elèctric, els ions carregats positivament (cations) es desplacen cap a l'elèctrode negatiu, mentre que els ions carregats negativament (anions) es mouen cap a l'elèctrode positiu. Aquesta separació de ions permet obtenir aigua dolça. A diferència de l'electrodialísi tradicional, en l'EDR es canvia la polaritat dels elèctrodes periòdicament, la qual cosa evita la incrustació de sals a les membranes i actua com a sistema d'auto neteja. L'EDR és una tecnologia relativament eficient en termes de costos. Els sistemes EDR poden tenir un cost de capital fins a un 40% més baix que altres tecnologies anteriors de dessalació, segons informació de Veolia.

Pel que fa a la nanofiltració és una tecnologia de membrana similar a l'osmosi inversa, però amb una mida de porus més gran que permet eliminar una part significativa de contaminants orgànics, ions bivalents com el calci i el magnesi, així com altres sals. Tot i que no és tan eficient com l'osmosi inversa per a la dessalació completa, és una bona opció per a la purificació d'aigües amb menor concentració de sals o per a la reducció de la duresa de l'aigua. A més, la nanofiltració té avantatges importants en termes d'eficiència energètica, ja que requereix menys pressió que l'osmosi inversa, fent-la més econòmica en operacions de llarga durada. Aquesta tecnologia es pot utilitzar en el tractament d'aigües residuals i també per a la potabilització en contextos d'escassetat d'aigua

Com podem veure, no hi ha una tècnica exclusiva per a cada tecnologia sinó que les mateixes tècniques amb algunes diferències serveixen

⁴ [Tratamientos terciarios para la reutilización de agua](#)

⁵ [La dessalinització: d'aigua de mar a aigua potable – Compartim un Futur](#)

per tractar l'aigua ja sigui per potabilitzar-la com regenerar-la o dessalar-la. Això ens fa pensar que són tècniques molt establertes i acceptades que s'apliquen segons les diferents característiques de l'aigua, de localització i de costos.

2.4 Transvasament des del Consorci d'Aigües de Tarragona (CAT).

El transvasament consisteix a transferir aigua d'un riu o embassament d'una conca amb excés de recursos hídrics cap a una altra conca amb dèficit. El CAT, és un ens amb personalitat jurídica pròpia sense afany de lucre que capta, tracta i distribueix aigua potable a ajuntaments i indústries consorciades. Per la Llei 18/81 té una concessió administrativa d'un màxim de 4m^3 d'aigua procedents dels canals del marge esquerra i del marge dret del riu Ebre (captació Campredó). Una vegada captada, se sotmet al tractament de potabilització i es distribueix als diferents membres del consorci (69 ajuntaments i 27 empreses). La xarxa del Consorci té una allargada de 405 Km de canonada (d'Alcanar a Cunit). Cal assenyalar que el volum de concessió d'aigua ha anat variant a mesura que hi ha nous membres al consorci, així l'any 2019 es va acordar la darrera modificació que fixa la concessió en $3,0033\text{m}^3/\text{s}$ de mitjana que representen $94,71\text{Hm}^3/\text{any}$. Segons el CAT, presenta un màxim a l'estiu de $3,781\text{m}^3/\text{s}$ (quan es produeixen puntes de demanda) i un mínim de $2,633\text{m}^3/\text{s}$ al gener. La proposta realitzada es basa en aprofitar el volum no utilitzat de la concessió i transportar-lo a l'AMB.

2.5 Transport d'aigua amb vaixells

Aquesta és una alternativa d'emergència que s'ha utilitzat en casos extrems de sequera. Consisteix en transportar grans volums d'aigua potable amb vaixells cisterna des de regions amb excedents fins a les àrees afectades per la sequera. Aquesta solució s'ha utilitzat en llocs com les illes mediterrànies durant crisis hídriques i també l'any 1978 per portar aigua a Benidorm. L'únic precedent de portar aigua amb vaixell a Barcelona es remunta al maig del 2008, quan es va optar per aquesta solució d'emergència per la greu sequera que també patia aleshores Catalunya. En aquell cas es van contractar els vaixells a Tarragona i Marsella però en ploure va provocar que, finalment, només arribessin dos vaixells al port de Barcelona. El primer, el Southern Defender, va atracar al Port de Barcelona el 13 de maig d'aquell any i portava aigua de pous de l'entorn de Tarragona i Reus. El segon, el Norient Solar, ho va fer vuit dies més tard, provinent de Marsella amb aigua del Roine. En aquest interval els embassaments de les conques internes ja s'havien començat a omplir de manera significativa, un fet que va permetre superar l'episodi de sequera. L'operatiu, però, va tenir un preu de 17 milions, en gran part pel cost de la rescissió dels contractes amb les navilieres. Tot i que pot ser una solució efectiva a curt termini, té alts costos econòmics i un impacte ambiental significatiu per l'ús de combustibles fòssils pel seu transport.

Per tant, a més dels condicionants tècnics, els aspectes econòmics també s'han de considerar per a l'elecció del tipus de tractament.

3. Costos Econòmics

Per tal de poder analitzar quins costos econòmics tenen les diverses solucions plantejades així com de l'anomenada *aigua nova* en la Transició Hídrica és convenient saber l'origen de l'aigua. En funció de la seva qualitat, els costos econòmics dels tractaments varien. La qualitat de l'aigua d'origen és un aspecte essencial a tenir en compte a l'hora de comparar els costos de les diferents opcions. Així, en funció del origen o dels diferents orígens de l'aigua els costos finals de l'aigua seran diferents. Això comporta que cal ser curós amb les comparacions de costos econòmics però també ambientals.

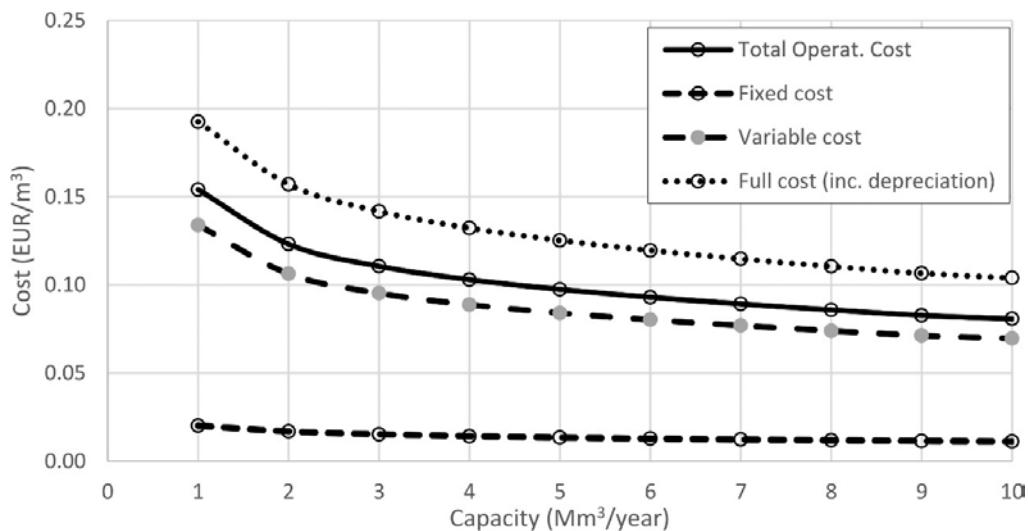
3.1 Cost de l'aigua regenerada:

El cost de l'aigua regenerada varia segons la capacitat, tecnologia i localització⁶ de la planta de tractament (ERA), de les tecnologies emprades i de la qualitat dels tractaments previs. Les plantes de regeneració d'aigües residuals impliquen una inversió inicial significativa i que cal tenir en compte per la seva amortització. Per a permetre la distribució d'aigua regenerada és necessari també construir una xarxa de distribució o un sistema de transport per aquesta aigua.

6 Si l'ERA es pot connectar amb estacions depuradores ja operatives, el cost inicial és menor

En el cas dels usos per regadiu i per la Demarcació Hidrogràfica de les Conques Mediterrànies d'Andalusia (DHCMA), s'han analitzat els costos d'operació dels tractaments terciaris i la desinfecció de sis EDAR per l'any 2022. Els costos d'inversió s'han obtingut dels pressupostos públics i de informació recollida a les pròpies EDAR. Els autors analitzen el cost fix, que inclou els costos associats a la potència energètica instal·lada i al manteniment de la inversió, i el cost variable que inclou la mà d'obra, el consum energètic i els químics i consumibles. A partir d'un conjunt de supòsits i de l'escala de la planta, els autors (Expósito, Lorenzo, & Berbel, 2024) han realitzat una anàlisi exhaustiva de l'evolució dels costos en funció de l'escala (de 1 a 10 hm³) i amb hipòtesi de costos màxims (gràfic 1) i costos mínims. Hem optat per presentar els costos màxims atès que inclouen l'amortització de la inversió. Sota aquest supòsit, els costos totals de l'aigua regenerada per a reg varien entre 0,09 €/m³ per a una planta de tractament de 10 hm³ fins a 0,19 €/m³ per una planta d'1 hm³, naturalment per la presència d'economies d'escala. No hi estan inclosos els costos de transport i emmagatzematge posteriors.

Gràfic 1. Evolució dels costos segons la capacitat de l'EDAR Font: Expósito, Lorenzo y Berbel, 2024



També cal assenyalar que el cost operatiu depèn principalment del consum energètic necessari per al procés de tractament. El preu de l'aigua regenerada pot variar segons l'eficiència de la planta, però generalment els costos operatius representen una part significativa del total.

3.2 Cost de l'aigua dessalada:

L'Acord de Govern de 8 d'octubre de 2024 de la Generalitat de Catalunya, preveu la posada en funcionament de les dessalinitzadores mòbils de Roses i d'Empuriabrava l'any 2025. Amés llarg termini, s'espera que l'any 2029 s'hagi ampliat la dessalinitzadora de la Tordera amb un cost de 290 milions d'euros i amb un augment de 20 a 80 hm³ tractats i la nova planta dessalinitzadora a la conca del Foix amb un cost de 280 milions d'euros i una capacitat de 30 hm³. Finalment, la dessalinitzadora prevista a la Costa Brava nord (Figueres) no estaria operativa fins l'any 2032.

Els costos de producció d'aigua per a les grans

dessalinitzadores d'aigua de mar són, aproximadament, per osmosi inversa, de 0,8-1,2 €/m³ incloent la depreciació de la inversió (Zarzo & Prats, 2018). Segons dades de l'Associació Espanyola de Dessalinització i Reutilització (AEDyR, 2024) els preus mitjans actuals de dessalinització d'aigua de mar a Espanya se situen entre 0,5 i 1,0 €/m³. En aigua salobre, els costos són molt més baixos a causa del menor consum d'energia, amb valors molt variables en funció de la salinitat tot i que, segons les mateixes fonts, oscil·len entre 0,3 i 0,5 €/m³. En tots els casos, s'inclou l'amortització de la infraestructura, l'operació, el manteniment i els costos energètics que són els que presenten una proporció més elevada. Recordem que l'aigua dessalada s'utilitza a l'agricultura, indústria i també com aigua potable.

En el cas de Catalunya i segons es va presentar al Col·legi d'Economistes, el 55% de l'aigua que s'ha estat utilitzant durant aquest període de sequera a l'AMB prové de la dessalinització d'aigua de mar i de la regeneració d'aigües residuals. La tecnologia de dessalació és més

cara que la potabilització perquè utilitza més energia. L'aigua dessalinitzada a l'àmbit metropolità (0,8-0,7 €/m³) pot multiplicar per dos o tres el cost de producció amb recursos convencionals (0,4-0,3 €/m³), mentre que l'aigua regenerada pot tenir un cost semblant a aquesta última si no es consideren els costos previs de depuració de les aigües residuals.

Recordem que una de les solucions proposades com alternativa a curt termini han estat les dessalinitzadores flotants, aquestes són una solució temporal en un escenari d'emergència. El seu cost unitari resulta molt alt comparat amb les solucions convencionals ja que s'han d'amortitzar instal·lacions noves en un termini molt més curt.

3.3 Cost aigua en vaixell

La informació disponible sobre aquesta solució es que l'estat assumiria el cost de producció de l'aigua i la Generalitat el transport que es va xifrar entre 20 i 30 milions d'euros⁷. Cal tenir en compte que aquest cost estava en funció dels mesos que la mesura s'hagués d'aplicar i que també hi havia algunes inversions al Port de Barcelona. De fet, el conseller d'aquell moment va assenyalar un cost entre 4 i 10 euros per metre cúbic, una xifra molt més elevada que la captació d'aigua del Ter -uns 0,05 euros- o del Llobregat -al voltant de 0,20-, però que també es dispara si es compara amb la regeneració d'aigua a la depuradora del Prat de Llobregat (0,60€/m³) i supera el de la dessaladora de Barcelona (uns tres euros)⁸.

Aquests costos fan que el transport marítim

d'aigua sigui una solució d'emergència però difícilment sostenible econòmicament a llarg termini.

3.4 Comparativa econòmica:

Aquests costos fan que l'aigua regenerada sigui una font molt competitiva en comparació amb fonts alternatives no convencionals, com l'aigua dessalada, tot i que l'aigua regenerada segueix sent significativament més cara que els recursos hídrics convencionals. El problema sorgeix quan no hi ha una font d'aigua alternativa a causa de la plena explotació (i sovint la sobreexplotació) dels recursos convencionals disponibles. En general, la sobreexplotació és més difícil en el cas dels recursos de superfície perquè són més fàcils de controlar i l'assignació es basa en recursos gestionats segons la planificació en actiu. En canvi, els recursos d'aigua subterrània són més incerts i difícils de controlar, el que sol conduir a respostes tardanes de l'administració quan l'aqüífer ja ha estat sobreexplotat. En conseqüència, quan s'esgota l'opció més barata, si no hi ha alternatives per augmentar el subministrament (per exemple, nous embassaments), l'aigua regenerada pot entrar al sistema amb l'objectiu d'augmentar el subministrament o substituir fonts convencionals (és a dir, estalvi d'aigua quan sigui possible). Per facilitar aquesta substitució, s'ha de proporcionar informació sobre els costos de recuperació als usuaris potencials (Expósito, Lorenzo, & Berbel, 2024).

Així, a banda dels costos econòmics a partir de fons més generals presentats en els apartats anteriors, el següent quadre mostra els costos de producció de les diferents solucions pel cas de l'AMB segons les diferents solucions. Aquests costos inclouen l'amortització de les instal·lacions, el cost de l'energia, despeses generals, personal, operació, manteniment, impostos i cànon.

⁷ <https://www.regio7.cat/arreu/catalunya/2024/02/08/portar-aigua-amb-vaixell-costara-97909914.html>

⁸ <https://www.publico.es/public/preguntas-i-respuestas-possible-transport-d-aigua-vaixell-barcelona.html>

Quadre 1.

Tecnologies ⁹	Cost (€/m ³)
Potabilització convencional de recursos hídrics de bona qualitat	0,25 – 0,35
Potabilització convencional de recursos hídrics de qualitat mitjana	0,55 – 0,60
Dessalinització aigua de mar (osmosi inversa)	0,85 – 0,70
Dessalinització aigua de mar (instal·lació flotant)	6,50 – 7,50
Transport d'aigua en vaixell	8,00 – 10,00

L'aspecte que cal tenir en compte és com es finança aquest encariment en la producció. Sembla clar que hauria de tenir una translació a les tarifes per tal de garantir la viabilitat del servei (essencial) de l'abastament d'aigua potable a la població. En el cas de la construcció de noves plantes dessaladores (Tordera i Foix) o de rehabilitació i ampliació de plantes de potabilització (Ter i Llobregat), amb un import aproximat de 800 milions d'euros, es requerirà d'un finançament extraordinari. S'ha assenyalat que el finançament d'aquestes noves infraestructures podria ser a través de fons europeus i de préstecs amb el BEI (Banc Europeu d'Inversions). Tot i això, cal aclarir si la recuperació dels costos d'aquestes noves inversions es durà a terme a través de la tarifa del servei o amb una aportació dels pressupostos de la Generalitat.

⁹ Quadre elaborat amb informació de José Miquel Dièguez (Gerent d'ATL).

4. Costos Ambientals

Tot i que darrerament hi ha una consciència més gran sobre els costos ambientals de les nostres accions i de l'ús de les tecnologies, no és menys cert que no sempre és clar qui i com compensa les externalitats ambientals que es generen. Una vegada hem analitzat els costos econòmics de les diferents solucions tecnològiques per fer front a la sequera, també en cal veure els impactes ambientals. Per això, ens hi aproximem a partir de la petjada de carboni i de la petjada hídrica de les diferents alternatives. Cal dir que aquests impactes són força generals i que caldria realitzar un estudi més detallat dels diferents processos involucrats.

4.1 Impacte ambiental de l'aigua regenerada:

Tal i com hem assenyalat, les aigües regenerades provenen del reciclatge de les aigües que surten de les depuradores i que es fan servir per a usos industrials, municipals, agrícoles o per la recàrrega artificial d'aqüífers¹⁰ i altres usos ambientals. Pel que fa a l'aigua regenerada cal tenir en compte que, a banda del cost del

¹⁰ Permès amb l'aprovació del [RD 1085/2024 de 22 d'octubre pel que s'aprova el Reglament de reutilització de l'aigua \(BOE 256\)](#)

tractament en sí mateix, es genera un impacte ambiental que fa que no es pugui regenerar aigua a gran escala.

Aquella aigua que no regenerem, torna al riu, alimenta els cabals que estan en circulació i contribueixen a recuperar l'ecosistema fluvial. Si posem com exemple el cas del riu Besòs sabem que sobretot en la seva part final conté una gran proporció d'aigües depurades. Si fóssim capaços de reutilitzar tota l'aigua regenerada ens trobaríem que disminuirien els cabals i perdriem la vida i el funcionament normal d'alguns rius. Aquesta no és la situació que es contempla atès que l'aigua regenerada només serà un percentatge del total d'aigua pels usos assenyalats incloent-hi la potabilització indirecta i que hauria de disminuir la pressió sobre l'aigua subterrània.

Alguns dels principals costos ambientals inclouen:

- Consum energètic. Els processos per regenerar aigua requereixen energia, especialment en les fases de filtració (ultrafiltració, osmosi inversa). El consum d'energia pot variar en funció de la tecnologia utilitzada i de l'eficiència de la planta, amb rangs que poden variar entre 0,4 i 1,2 kWh/m³ d'aigua regenerada, depenent de la tecnologia emprada i la qualitat de l'aigua a tractar (Xueqing Zhang, 2015).
- Emissions de gasos d'efecte hivernacle La dependència de fonts energètiques convencionals (combustibles fòssils) durant el procés de regeneració contribueix a l'emissió de CO₂, fent augmentar l'impacte ambiental. Si es substitueixen per energies renovables, aquestes emissions són més baixes.
- Generació de residus: El procés de tractament genera fangs i residus sòlids que han de ser

gestionats de manera adequada. Aquests residus poden contenir productes químics i altres contaminants, amb riscos associats si no es tracten correctament.

- Impacte en la biodiversitat: Si no es gestionen correctament, els residus líquids o els productes químics utilitzats poden afectar els ecosistemes aquàtics locals. Els impactes són menors en comparació amb la dessalació, però encara rellevants. Cal tenir en compte l'impacte sobre els ecosistemes per la reducció d'abocaments d'aigües residuals.

La regeneració d'aigua té un impacte ambiental més baix en comparació amb la dessalació, ja que requereix menys energia. Tot i això, depèn de la tecnologia emprada i del tractament químic necessari per aconseguir els estàndards adequats¹¹.

4.2 Impacte ambiental de l'aigua dessalada:

Tot i que la dessalació és una solució que pot garantir un subministrament estable en situacions d'escassetat, té un alt cost energètic i un impacte ambiental significatiu. Això inclou les emissions de CO₂ derivades del consum d'energia i els efectes sobre els ecosistemes marins a causa de la salmorra residual. Tot i això, els consums d'energia han baixat molt des de les primeres plantes dels anys 70, des d'uns 8 kWh/m³ als 2,3 kWh/m³ en els sistemes més optimitzats, de mitjana es consumeix encara avui dia uns 4 kWh/m³ (Noredine Ghaffour, 2013).

Un altre aspecte important que cal considerar és que, a banda de la construcció de la planta de tractament, calen infraestructures noves i costoses per poder traslladar l'aigua dessalada a les zones on és necessària i que les infraes-

¹¹ <https://www.asersagua.es/los-costes-del-agua-desalada-y-regenerada-con-red-de-distribucion-propia-a-examen/>

tructures tenen una vida tècnica limitada i requereixen manteniment. La dessalinització ha crescut extraordinàriament en els últims anys a causa de la millora de les tecnologies i la reducció de costos, però sembla que encara hi ha límits en l'optimització de l'ús de l'energia. Alhora, es una solució per a les zones properes al mar però sembla no ser una bona solució per les zones allunyades per la dificultat i cost econòmic del transport de l'aigua dessalada (Zhou, 2005).

Així, de manera més concreta, els costos ambientals inclouen:

- Emissions de CO₂: La dessalació és molt intensiva en energia. Els sistemes tradicionals de dessalació, com l'osmosi inversa, poden generar grans quantitats d'emissions de CO₂, especialment si es basen en fonts d'energia no renovable. Això contribueix al canvi climàtic (Saleh, 2021)
- Impacte sobre els ecosistemes marins: La salmorra produïda durant el procés de dessalació es descarrega de nou al mar, amb altes concentracions de sal i productes químics

utilitzats durant el procés. Per cada litre d'aigua dolça es produeixen, aproximadament, 1,5 litres de salmorra¹². Això pot afectar la vida marina, alterant la salinitat de les També hi ha un possible impacte en els corrents i la química de l'aigua marina.

4.3 Impacte ambiental de l'aigua en vaixell

Transportar aigua en vaixell també presenta un cost ambiental elevat fruit de multiplicar els costos i les emissions del transport (amb combustibles fòssil) en comparació amb altres mètodes de subministrament.

4.4 Petjada de carboni i Petjada hídrica

Per avaluar els impactes ambientals assenyalats utilitzarem dos indicadors: la petjada de carboni i la petjada hídrica. En el quadre següent presentarem la comparativa entre la petjada de carboni i el cost de la tecnologia per disposar de més informació. Tot i que assenyallem que aquests ratis s'han elaborat amb informació general i caldria realitzar un estudi més detallat dels diferents processos involucrats.

¹² [Desalination - European Commission](#)

Quadre 2. Resum cost econòmic i petjada de carboni de diferents tecnologies.

Tecnologia	Aplicació	Cost Econòmic	Petjada de Carboni
Osmosi inversa (Dessalació)	Dessalació d'aigua	1,00 - 3,00 €/m ³	Alta, 541.31 kt CO ₂ per 400.000 m ³ /dia
Electrodiàlisi reversible (EDR)	Potabilització/Regeneració	0,50 - 2,00 €/m ³	Moderada, menor que osmosi inversa pel menor consum energètic
Nanofiltració (NF)	Potabilització/Regeneració	0,50 - 2,00 €/m ³	Moderada, depèn del tipus de membrana i energia usada
Ultrafiltració (UF)	Potabilització/Regeneració	0,30 - 1,00 €/m ³	Baixa, però genera residus sòlids en filtres
Dessalació Fotovoltaica (FV)	Dessalació	1,66 €/m ³	Baixa, gràcies a l'ús d'energia solar

Font: Elaboració pròpia.

A partir de l'anàlisi general podem assenyalar que:

- Les tecnologies amb **major consum energètic** (com l'osmosi inversa) tenen una petjada de carboni superior. Osmosi inversa és efectiva però té un cost econòmic elevat i una petjada de carboni significativa degut al consum energètic.
- L'**electrodiàlisi reversible** té un cost més baix en termes de consum d'energia, per tant, una petjada de carboni moderada. L'EDR i la nanofiltració ofereixen una solució amb menor impacte ambiental i cost més reduït.
- Les tecnologies de **cloració i filtració** tenen un impacte ambiental baix però generen subproductes que poden afectar l'entorn.
- La **dessalació fotovoltaica** és una tecnologia emergent amb un menor impacte

gràcies a l'ús d'energia renovable, encara que amb costos econòmics comparables a altres tecnologies

Tot i aquesta informació general, volem incloure dades que es van presentar a [la jornada del Col·legi d'Economistes](#) sobre el cost de no patir sequera en relació als impactes ambientals associats a les diferents alternatives per obtenir aigua potable durant la sequera a Catalunya.

Petjada de carboni :

- La producció i transport d'aigua potable està al voltant de 0,160 kg CO₂eq./m³
- L'aigua dessalada està al voltant de 0,9-1 kg CO₂ eq./m³ tot i la millora en l'eficiència energètica.
- Per a la producció d'aigua regenerada la petjada està sobre 0,3 kg CO₂ eq./m³ en mitjana. Son processos semblants a la potabilització però en funció de l'ús de

l'aigua regenerada pot necessitar més tractament amb membranes que tenen un consum energètic més elevat.

- Aigua dessalada en vaixell pot estar entre 2 a 3,5 CO₂ eq./m³ tot i que depèn del combustible utilitzat i la distància a recórrer.
- Les dessaladores portàtils emeten al voltant de 1.5-2 kg CO₂ eq./m³, cal tenir en compte que les dessaladores s'han de transportar a la seva ubicació i suposem que és connecten a la xarxa elèctrica de combustibles fòssils.
- Per la possible interconnexió de xarxes d'aigua suposaria uns 0,5 kg CO₂ eq./m³.

Pel que fa a **la petjada hídrica**, cal tenir en compte que no fa referència només al volum d'aigua. S'ha de tenir en compte la perspectiva de conca, per tant, considerar el volum que utilitzem i els efluents que retornem a la mateixa. En d'altres paraules, incloure tant la part directa com la part indirecta (consum energètic i, per tant, l'aigua que incorpora aquesta energia).

En aquest càlcul només considerem intercanvis d'aigua dolça i tractament d'altres aigües però cal incloure tota la part indirecta dels processos. En l'intercanvi entre conques retornes recurs a una conca diferent i, si tens estrès hídric a la de destí, significa una petjada hídrica positiva. És molt rellevant avaluar molt bé el balanç, tot i això, caldria incorporar l'índex d'escassetat hídric de cada conca. Cal veure el balanç net de petjada hídrica entre la conca origen i la conca de destí. Per a les solucions que no utilitzen aigua dolça, com són la regeneració i la dessalació, la petjada hídrica és mínima.

Cal considerar la temporalitat de les solucions, portar vaixells és a curt termini però construir infraestructures és una solució a llarg termini. En definitiva, l'aplicació de l'anàlisi del cicle de vida i la comparació sota aquesta perspectiva és molt rellevant.

5. Anàlisi Comparativa

Una de les eines de les que disposem per fer una anàlisi comparativa és l'anomenat DAFO (Debilitats, Amenaces, Fortaleses, Oportuni-

tats,) per a les diferents solucions generals que han anat apareixen. En el quadre següent podem trobar la comparació

Quadre 3. Anàlisi DAFO de les solucions proposades

Tecnologia	Fortaleses	Debilitats	Oportunitats	Amenaces
Regeneració d'aigua	Menor impacte ambiental; estalvi d'aigua	No apte per a consum directe	Expansió a més sectors	Inversió inicial alta
Dessalació	Font fiable, essencial en zones costaneres	Alt cost energètic, impacte ambiental	Desenvolupament d'energies renovables	Efecte sobre la vida marina
Transport d'aigua en vaixell	Solució viable en emergències	Costos elevats i emissions	Útil en situacions d'emergència	No sostenible a llarg termini
Interconnexió de conques	Distribució eficient de l'aigua	Obres i costos elevats	Millora la resiliència hídrica	Problemes ambientals per la modificació dels cursos naturals

Font: Elaboració pròpia

Per una anàlisi més completa i d'un abast territorial global i comparant l'aigua regenerada i l'aigua dessalada es pot consultar l'article de (Ricart, 2021) que analitza amb molta profunditat ambdós casos. S'assenyala que, sigui quina sigui la solució específica des d'un punt de vista tècnic, és molt rellevant proposar nous

enfocaments de governança i de gestió de l'aigua per evitar conflictes d'interessos entre usuaris a diferents escales. Aquest és un aspecte que no hem tractat i que requerirà d'innovació i noves aproximacions que cal treballar i que no han estat incloses en aquest document.

5.1 Escenaris futurs:

Factors **com el canvi climàtic, el cost de l'energia i les innovacions tecnològiques** jugaran un paper crucial en la viabilitat futura de les solucions d'aigua que s'han discutit en la primera fase d'emergència a Catalunya, com la regeneració, la dessalació, el transport d'aigua en vaixell i la interconnexió de conques.

Canvi climàtic:

El canvi climàtic està augmentant la freqüència de sequeres i escassetat d'aigua, això fa que les tecnologies de regeneració i dessalació semblin imprescindibles per garantir el subministrament d'aigua. La dessalació, tot i ser una solució fiable en àrees costaneres, ha de superar els seus alts costos energètics i l'impacte ambiental associat. El canvi climàtic també afecta la disponibilitat de recursos hídrics a les conques, fent que la interconnexió sigui més difícil d'implementar en el futur, en funció de la situació hídrica de la conca i la solució de la interconnexió depèn de fonts d'aigua estables. Les solucions de transport d'aigua en vaixell poden ser útils en casos d'emergència, però la seva viabilitat a llarg termini queda limitada pel cost econòmic i les elevades emissions de CO₂ associades. Sembla oportú no oblidar les polítiques de gestió de la demanda.

Cost de l'energia:

El cost de l'energia és un factor determinant, especialment per a tecnologies com la dessalació i el transport d'aigua. La dessalació és

molt depenent de l'energia, i els seus preus poden augmentar dràsticament els costos de producció d'aigua potable. Les solucions com el transport d'aigua en vaixell també es veuen afectades directament per les fluctuacions dels preus del combustible, fent que aquesta opció sigui menys viable. Per tant, una transició a fonts d'energia renovable pot millorar la viabilitat econòmica i ambiental d'aquestes tecnologies (Grzegorzek, 2023)

Innovacions tecnològiques:

Les innovacions tecnològiques són clau per millorar l'eficiència i reduir costos. Els avenços **en filtració per membranes i osmosi inversa** poden fer que la regeneració i la dessalació siguin més econòmiques i sostenibles. A més, l'ús de **tecnologies renovables** com l'energia solar i eòlica en el procés de dessalació o la regeneració d'aigua pot reduir la petjada de carboni i fer que aquestes tecnologies siguin més competitives en termes de cost (Cojocar, Onofrei, & Firtescu, 2024).

En resum, la viabilitat de cada solució està estretament lligada, entre d'altres, a la capacitat d'adaptar-se a les condicions canviants del clima, a gestionar de manera eficient els costos energètics, i a adoptar noves tecnologies que millorin l'eficiència i redueixin l'impacte ambiental.

El quadre següent es presenta una anàlisi DAFO de les diferents tecnologies sota els elements esmentats.

Quadre 4. DAFO tecnologies segons canvi climàtic, cost d'energia i innovacions tecnològiques.

Tecnologia	Fortaleses	Debilitats	Oportunitats	Amenaces
Regeneració d'aigua	Menor impacte ambiental; possibilitat d'ús agrícola	No apte per a consum directe; depèn de la contaminació per CC	Millores amb energia renovable i filtres	Reglamentació estricta; inversió inicial alta
Dessalació	Solució fiable en zones costaneres; energia renovable	Alt cost energètic i ambiental	Innovació tecnològica per a fonts d'energia sostenibles	Preu de l'energia alt; impacte en la biodiversitat marina
Transport d'aigua en vaixell	Solució immediata per emergències	Costos energètics i emissions elevades	Millores en vaixells més eficients	Volatilitat del preu de l'energia, no sostenible a llarg termini
Interconnexió de conques	Solució equitativa a gran escala	Costos elevats i pèrdues en el transport	Gestió intel·ligent de xarxes d'aigua per optimitzar fluxos	Disponibilitat d'aigua disminuïda per canvi climàtic

Font: Elaboració pròpia

6. Factors Tecnològics i Regulatoris

Pel que fa als avenços més rellevants en tecnologia de tractament d'aigua, aquests estan enfocats en reduir costos i minimitzar l'impacte ambiental. Tot i això, hi ha algunes iniciatives que, tot i ser conegudes, necessitarien avançar per fer-les més populars i apreciades. També hem de tenir en compte les noves tendències, com l'ús d'energies renovables en plantes dessalinitzadores o la millora en els processos de filtratge per a l'aigua regenerada però també innovacions que encara tenen molt recorregut. Algunes d'elles són¹³:

Tecnologies emergents de la dessalinització:

- Destil·lació per membrana: Utilitza calor i membranes semipermeables per separar l'aigua dolça de l'aigua de mar. Es mostra prometedora per a un menor ús d'energia.
- Osmosi directa: Es basa en un gradient de pressió osmòtica per atraure aigua a través d'una membrana, deixant contaminants enrere. Encara en els primers anys de recerca i desenvolupament.
- Desionització capacitiva: Utilitza un camp elèctric per eliminar partícules ionitzades de l'aigua. Proporciona un enfocament d'eficiència energètica, però requereix més refinament.

Tecnologies de regeneració i reutilització d'aigua:

- Reutilització d'aigües grises i aigües industrials: Les aigües grises es refereixen a les aigües residuals de dutxes, lavabos, rentadores i altres fonts. Els sistemes d'aigües grises recullen, tracten i reutilitzen aquesta aigua per a finalitats no potables com el reg, els sistemes de refrigeració i el rentat del

vàter. Redueixen fins a un 50% el volum d'aigües residuals que entren a clavegueres o sistemes sèptics. Els sistemes senzills filtren i desinfecten l'aigua abans de reutilitzar-la, mentre que els sistemes més avançats també inclouen components com tancs d'equalització, bombes i controls. S'han desenvolupat nous sistemes per a la reutilització d'efluents tractats d'aigües residuals industrials, que redueixen l'impacte ambiental mitjançant processos més eficients. Cal millorar el cost d'aquests sistemes per ser aplicats de manera més general. Recentment, l'Ajuntament de Barcelona ha anunciat que obligarà als edificis nous a implantar sistemes d'aprofitament de l'aigua de la dutxa per omplir les cisternes del vàter.

- Recollida d'aigua de pluja: Els sistemes de recollida d'aigua de pluja recullen i emmagatzemen l'aigua de pluja de les teulades per al seu ús posterior. L'aigua es filtra i pot subministrar demandes d'aigua no potable com el reg, la bugaderia i el vàter. Aquests sistemes són fàcils d'implementar i proporcionen una font d'aigua sostenible, especialment en zones amb precipitacions estacionals. També ajuden a recarregar els nivells de les aigües subterrànies i reduir les inundacions i l'erosió.

Els dos sistemes anteriors redueixen el consum d'aigua potable i, al mateix temps, disminueix el cost de tractament d'aigües¹⁴.

- Reutilització de l'aigua en l'agricultura: Les aigües residuals tractades es poden utilitzar per al reg agrícola, especialment en zones on l'aigua dolça és escassa. El tractament primari i secundari d'aigües residuals pot eliminar els contaminants a nivells adequats per al reg de determinats cultius. El tractament

¹³ <https://tigernix.com.au/blog/water-management-7-technologies-clean-water-crisis>

¹⁴ Sistemes d'edificació eficients en aigua: des de la recollida d'aigua de pluja fins a la reutilització d'aigües grises

terciari mitjançant filtració i desinfecció produeix aigua recuperada adequada per regar la majoria dels cultius. L'ús d'aigües residuals per al reg també proporciona nutrients als cultius i ajuda a estalviar aigua potable.

A banda d'aquestes innovacions, podem trobar¹⁵ algunes tecnologies que no sabem com evolucionaran però que s'estan treballant en l'actualitat. Així, la conservació de l'aigua a través de **la tecnologia de nanotubs acústics o la filtració variable automàtica** que és un dels principals sistemes de reciclatge d'aigua amb algunes aplicacions que inclouen el tractament d'aigües residuals, l'aigua potable municipal i la prefiltració per a la dessalinització. També podem esmentar **la purificació d'aigua mitjançant bioaugment** com una de les principals tecnologies de tractament d'aigües residuals que es basa en el poder transformador dels microorganismes. D'altres són els **sistemes dessalinitzadors per a projectes comunitaris d'aigua basats** en augmentar la mida de les membranes (de 8 a 16 polzades) de les plantes dessalinitzadores, per disminuir la quantitat d'energia utilitzada. Aquesta innovació no només optimitza el processament de l'aigua, sinó que també redueix significativament els costos operatius. La **gestió de l'aigua basada en el núvol juntament amb nanotecnologia per a la purificació d'aigua** es una àrea de recerca. Operant a nivell molecular, la nanotecnologia ajuda a eliminar les impureses, el que millora la disponibilitat d'aigua com a sistema intel·ligent de gestió de l'aigua. Aquest invent polivalent ajuda amb la filtració, la dessalinització, la remediació i el tractament general de l'aigua. Entre les aplicacions més notables de la nanotecnologia hi ha els sistemes de filtració basats en nanotubs de carboni (CNT), que eliminen eficaçment les impureses orgàniques, inorgàniques i biològiques de l'aigua per garantir la seva seguretat per al consum humà. També trobem la **depuració fotocatalítica d'aigües** que utilitza fo-

tocatalitzadors i raigs ultraviolats per eliminar ràpidament els elements tòxics i les impureses de l'aigua. La fotocatalisi és coneguda per la seva rapidesa i eficiència i pel seu funcionament en condicions suaus, demostrant la seva capacitat per contribuir com a tecnologia verda i ambientalment sostenible. La seva senzillesa contribueix a la rendibilitat, marcant un enfocament pràctic per a la purificació de l'aigua. El mètode recentment desenvolupat és altament eficaç per eliminar una gran varietat de contaminants, com ara pesticides, bacteris, virus, colorants i petroli cru. Finalment, els **sistemes d'aigua sensibles al clima amb filtració d'aigua amb energia solar**. La combinació de filtració solar i tecnologia sensible al clima millora l'eficiència i redueix la dependència de les fonts d'energia tradicionals. Aquesta estratègia funciona especialment bé en zones on hi ha risc d'escassetat d'aigua i canvi climàtic. El component d'energia solar fa que el tractament de l'aigua sigui més assequible alhora que promou la sostenibilitat.

7. Conclusions

Si tenim en compte les quatre grans solucions que s'han discutit en aquest article, la regeneració, dessalació, aigua en vaixells i interconnexió d'exarxes, podem assenyalar que la dessalació és força adequada per a zones costaneres amb gran escassetat d'aigua dolça. Amb el suport de les energies renovables com la solar o la eòlica es pot reduir el seu alt cost energètic i, en conseqüència, el seu impacte ambiental pel que és una solució adequada per escenaris de canvi climàtic i de creixement de la demanda en regions semiàrides. La dessalació té els avantatges que no depèn de la climatologia, ja que s'alimenta de l'aigua dels mars i oceans, i es pot instal·lar on es produeix el dèficit.

Tot i això s'ha de fer una gestió adequada de les salmorres per evitar impactes ambientals i per fomentar circularitats.

La regeneració d'aigües residuals és molt eficient en zones urbanes que disposen d'infraestructures de tractament d'aigües i amb demanda d'aigua no potable (per a reg agrícola o usos industrials) o també per potabilització indirecta. És oportú en escenaris on l'economia circular és prioritària i la legislació incentiva l'ús sostenible dels recursos hídrics. El progrés de la regeneració i la reutilització planificada de l'aigua no depèn únicament dels avenços tecnològics. L'existència d'un marc legal i reglamentari sòlid i d'una voluntat política decidida són factors determinants del desenvolupament de la reutilització. En aquest sentit s'ha aprovat el Reial Decret 1085/2024 de 22 d'octubre que aprova el Reglament de reutilització d'aigua i modifica diversos que regulen la gestió de l'aigua. Entre les novetats més importants hi trobem l'ampliació dels usos permesos d'aigua regenerada, incloent la recàrrega artificial d'aqüífers i noves aplicacions industrials així

com un reforçament dels criteris de qualitat per controlar contaminants emergents.. Dero-ga el RD 1620/2007 que regulava la reutilització d'aigües depurades a Espanya.

El transport d'aigua amb vaixells és una solució temporal per a situacions d'emergència i sequera extrema en regions que no tenen accés immediat a altres fonts d'aigua. Aquest enfocament pot ser útil en escenaris d'urgència, on els embassaments locals estan per sota del llindar crític i altres opcions d'abastament encara no estan disponibles, instal·lades o construïdes i posades en funcionament.

La interconnexió és especialment útil en regions amb múltiples fonts d'aigua que poden ser redistribuïdes segons la demanda i la disponibilitat. És una opció robusta per assegurar un subministrament estable a llarg termini, especialment en escenaris on el canvi climàtic afecta la regularitat de les pluges i on els recursos es poden equilibrar entre zones excedentàries i deficitàries. Cal pensar en la viabilitat tècnica però també amb la viabilitat social de la interconnexió.

No podem oblidar que aquestes solucions tecnològiques han de venir acompanyades de mesures com l'estalvi d'aigua, la reducció de pèrdues en xarxes i la conscienciació dels ciutadans sobre l'ús del recurs. També hem de tenir en compte l'estructura de les tarifes i el seu nivell com instrument de gestió de la demanda.

S'ha arribat a un consens en la indústria sobre la necessitat d'utilitzar energies renovables en la dessalinització i la regeneració. No obstant això, hi ha algunes dificultats, com la capacitat, la producció intermitent o el marc legal, que limiten aquesta aplicació.

Tot i que la solució tecnològica de la regeneració i la dessalació són les que s'implementen, cal re-

flexionar sobre el nostre model agrícola, urbànic, turístic, industrial i de gestió dels boscos per tal que es redueixi la quantitat total d'aigua que fem servir. La sostenibilitat assenyala que hem de fer servir aquella aigua que ens permeti mantenir els cicles naturals i mantenir la salut de les masses d'aigua i els ecosistemes naturals. Només així reduïrem la vulnerabilitat de l'aigua i els seus usos al canvi global. No podem oblidar que, en alguns casos, es produeix l'anomenada paradoxa de Jevons que ens suggereix que millorar l'eficiència en l'ús de l'aigua pot, paradoxalment, augmentar el consum total d'aigua, ja que els costos més baixos i l'accessibilitat incrementen la demanda global del recurs. Així doncs, produïm més per cada gota d'aigua, som més eficients, però estem reduint la disponibilitat de l'aigua a nivell de tota la conca.

Hi ha un progrés significatiu en el desenvolupament de solucions innovadores per fer front a la crisi mundial de l'aigua. Des dels avenços en tecnologies de dessalinització i filtració d'aigua fins als avenços en l'estalvi i reutilització de l'aigua, els investigadors de tot el món estan treballant en aquesta direcció. Tot i que els reptes futurs segueixen sent enormes, si donem suport a organitzacions a l'avantguarda en el desenvolupament de solucions d'aigua escalables i sostenibles i fem canvis en la nostra vida diària per reduir l'ús d'aigua, cadascun de nosaltres pot tenir un paper per garantir l'accés a l'aigua neta per a tothom. El futur podria millorar si fem una prioritat l'adoptar i invertir en les tecnologies i polítiques que marquin la diferència en aquesta situació.

Hem de tenir en compte que els costos mediambientals, per a complir amb la Directiva Marc de l'Aigua, s'han de internalitzar i, en conseqüència, afegir-los als costos econòmics, en aquest context, de producció i transport d'ai-

gua. En definitiva i per finalitzar, no podem oblidar que aquests nous esquemes porten implícits noves formes de governança que cal desenvolupar correctament i que inclouen els sistemes de finançament. Cal definir molt bé el marc institucional de referència incloent els sistemes de recuperació de costos.

Bibliografia

- AEDyR. (2024). 10 certezas sobre desalación de agua. <https://aedyr.com/wp-content/uploads/2024/04/10-Certezas-Desalacion-Agua-AEDyR.pdf>.
- Cambra de Comerç de Barcelona. (2024). *De la Sequera a la Transició Hídrica*. Barcelona. Cojocaru, D., Onofrei, M., & Firtescu, B. (2024). Effects of Technological Innovations on Climate Change. *International Paris Congress on Social Sciences and Humanities*. Paris. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/379449336_EFFECTS_OF_TECHNOLOGICAL_INNOVATIONS_ON_CLIMATE_CHANGE
- DARP. (2006). *Gestió Eficient de l'Aigua de Reg (II)*. Dossier Tècnic.
- Echevarría, C. P. (2022). Techno-economic assessment of decentralized polishing schemes for municipal water reclamation and reuse in the industrial sector in coastal semiarid regions: The case of Barcelona (Spain). *Science of The Total Environment*, 815(152842). doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152842>
- Expósito, A., Lorenzo, A. M., & Berbel, J. (2024). How much does reclaimed wastewater cost? A comprehensive analysis for irrigation uses in the European Mediterranean context. *Water Reuse*, 14(3), 434-447. doi:<https://doi.org/10.2166/wrd.2024.040>
- Grupo, E. d. (2021). *Estudi de la viabilitat econòmica i de la rendibilitat social i ambiental d'una nova instal·lació de tractament d'aigües residuals*. Obtenido de <https://mediambient.gva.es/documents/163005665/175172551/Memoria+conveni+amb+la+Universitat+de+Valencia/f03805d4-0e3a-423c-8af5-7123e98fa233>
- Grzegorzek, M. W. (2023). Review of water treatment methods with a focus on energy consumption. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 143(106674). doi:<https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2023.106674>
- Mujeriego, R. (2009). La reutilització planificada de l'aigua: de l'eficiència a l'autosuficiència. *Nota d'Economia* 93-94, 165-182. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/41091634_La_reutilitzacio_planificada_de_l_aigua_de_l_eficiencia_a_l_autosuficiencia
- Noredine Ghaffour, T. M. (2013). Technical review and evaluation of the economics of water desalination: Current and future challenges for better water supply sustainability. *Desalination*, 309, 197-207. doi:<https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.10.015>
- Ricart, S. V.-N.-H.-A.-C.-M. (2021). Extending Natural Limits to Address Water Scarcity? The Role of Non-Conventional Water Fluxes in Climate Change Adaptation Capacity: A Review. *Sustainability*, 13(5), 2473. doi:<https://doi.org/10.3390/su13052473>
- Saleh, L. &. (2021). Techno-economic analysis of sustainability and externality costs of water desalination production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 150(111465). doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111465>
- Xueqing Zhang, G. Y. (2015). Life cycle energy consumption and greenhouse gas emissions of urban wastewater reclamation and reuse: A case study in China. *Water Research*, 80, 246-254. doi:<https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.04.031>
- Zarzo, d., & Prats, D. (2018). Desalination and energy consumption. What can we expect in the near future? *Desalination*, 427, 1-9. doi:<https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.10.046>
- Zhou, Y. &. (2005). Evaluating the costs of desalination and water transport. *Water Resources Research*, 41(3). doi:<https://doi.org/10.1029/2004WR003749>