

Hidroclimatologia ambiental

José C. Balasch
Ramon J. Batalla

Amb la col·laboració de
Jordi Tuset

PID_00237707

Temps mínim previst de lectura i comprensió: **4 hores**



Índex

Introducció	5
1. Recursos hídrics	7
1.1. Recursos hídrics mundials	7
1.2. Cicle hidrològic, pressions i fonts d'incertesa	8
1.2.1. Els factors de control del clima global i la variabilitat hidrològica	10
1.2.2. La vulnerabilitat de l'emmagatzematge natural a llarg termini	11
1.3. La qualitat de l'aigua	15
1.4. Demanda creixent d'aigua	16
1.5. La gestió sostenible dels recursos hídrics	17
1.6. El balanç dels recursos hídrics a la península Ibèrica	19
2. Riscos hidrològics	22
2.1. Introducció	22
2.2. Les inundacions	23
2.2.1. Definició	23
2.2.2. Tipus d'inundacions	23
2.2.3. Causes	27
2.2.4. Les inundacions a Catalunya	32
2.2.5. Prevenció i protecció contra les inundacions	34
2.3. Les sequeres	36
2.3.1. Definició	36
2.3.2. Caracterització d'una sequera (factors)	36
2.3.3. Tipus de sequera	37
2.3.4. Indicadors de sequera	39
2.3.5. Les sequeres a Catalunya	42
2.3.6. Conseqüències de la sequera	43
2.3.7. Gestió i planificació de sequeres	44
Bibliografia	47

Introducció

Aquest mòdul analitza els problemes ambientals des del punt de vista de la hidrologia i la climatologia i la seva incidència en les activitats humanes. En aquest sentit, es pretén que l'alumne adquireixi els coneixements necessaris per saber i entendre les interaccions entre el medi hidroclimàtic i l'home, així com el paper i la importància de l'aigua com a font de vida i desenvolupament socioeconòmic i també com a risc natural.

1. Recursos hídrics

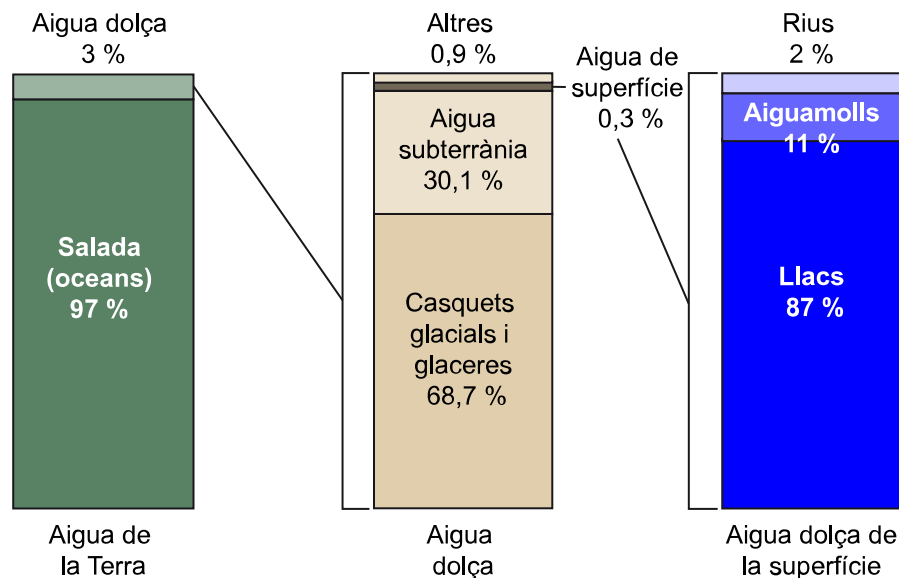
1.1. Recursos hídrics mundials

S'estima que al món hi ha uns 1.400 milions de km^3 d'aigua, dels quals un 3 per cent són d'aigua dolça (figura 1).

La gran quantitat d'aigua dolça de les capes polars, glaceres i aqüífers profunds no és utilitzable. L'aigua dolça que pot ser usada més directament procedeix sobretot de l'escolament superficial de l'aigua de pluja, generada en el cicle hidrològic. L'aigua es recicla contínuament per l'evaporació causada per l'energia solar. El cicle hidrològic consumeix diàriament més energia que la utilitzada en tota la història de la humanitat.

Nota
El contingut d'aquest subapartat ha estat extret de:
FAO (2002). *Agua y Cultivos*.
FAO.

Figura 1. Distribució de l'aigua a la terra



Font: USGS ha adaptat al català la figura d'Igor Shiklomanov (1993).

La mitjana anual de precipitació sobre la terra arriba als 119.000 km^3 , dels quals al voltant de 74.000 km^3 s'evaporen a l'atmosfera. Els 45.000 km^3 restants flueixen cap a llacs, embassaments i cursos d'aigua, o s'infilten al sòl alimentant els aqüífers. Aquest volum d'aigua s'anomena convencionalment **recursos hídrics**. No tots aquests recursos són utilitzables, perquè part de l'aigua flueix cap a rius remots i part durant inundacions periòdiques. S'estima que entre 9.000 i 14.000 km^3 són econòmicament utilitzables per l'home, una xifra molt baixa en comparació amb la quantitat total d'aigua a la terra.

Les **extraccions anuals d'aigua** per a ús humà pugen al voltant de **3.600 km³**. Part del cabal d'aigua superficial ha de seguir el seu curs natural per assegurar la dilució d'efluents i la conservació dels ecosistemes aquàtics. El cabal ecològic que ha de portar un riu depèn de l'època de l'any i d'altres factors específics de cada conca hidrogràfica. Els cabals mínims anuals dels rius s'estimen en uns 2.350 km³, tot i que cal conèixer millor els aspectes ecològics dels rius, que són complexos. Si a aquesta quantitat se li suma la que s'extreu per a ús humà, resulta que ja estan compromesos 5.950 km³ dels recursos d'aigua dolça fàcilment disponibles. Globalment, les xifres de recursos hídrics mostren que la situació és delicada, tenint en compte les projeccions demogràfiques i les demandes d'aigua. La situació ja és complicada en diversos països i regions, ja que tant la població com els recursos estan distribuïts irregularment. L'escassetat d'aigua dolça i la competència entre els usuaris està augmentant en cada vegada més zones del món, i el canvi global pot incrementar aquesta competència.

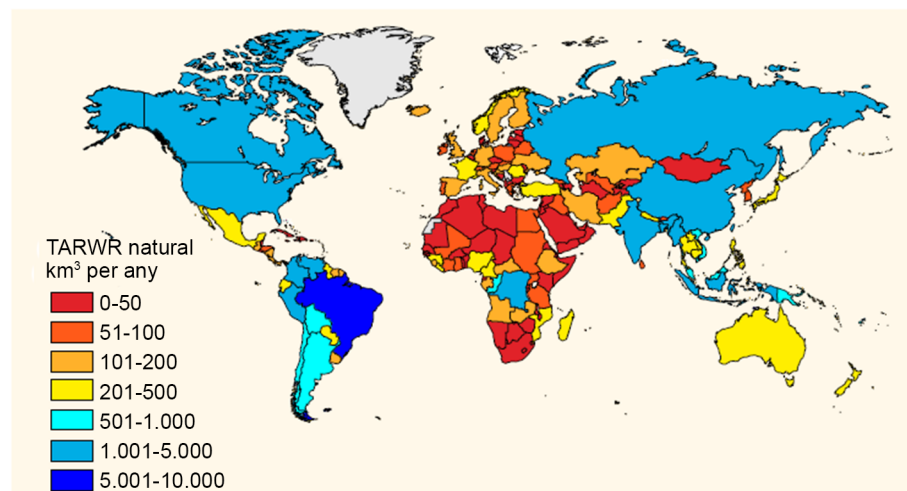
1.2. Cicle hidrològic, pressions i fonts d'incertesa

La precipitació proporciona aigua sobre el planeta d'un any a un altre de manera desigual. Aquesta desigualtat comporta una considerable variabilitat entre els climes àrids i els humits i entre les estacions seques i les humides. Com a resultat, la distribució del subministrament d'aigua dolça és molt erràtica entre diferents països i regions que reben quantitats de pluja molt desiguals al llarg de l'any. La mitjana dels recursos renovables d'aigua anuals totals (*The Average Total Annual Renewable Water Resources*, TARWR) disponibles per a cada país (figura 2) proporciona una visió d'aquesta variabilitat geogràfica.

Nota

El contingut d'aquest subapartat ha estat extret sobretot de: **United Nations** (2012). «Managing Water under Uncertainty and Risk». *The United Nations World Water Development* (informe 4, volum 1). París: United Nations Educational.

Figura 2. Recursos renovables d'aigua anuals totals per país (1985-2010)

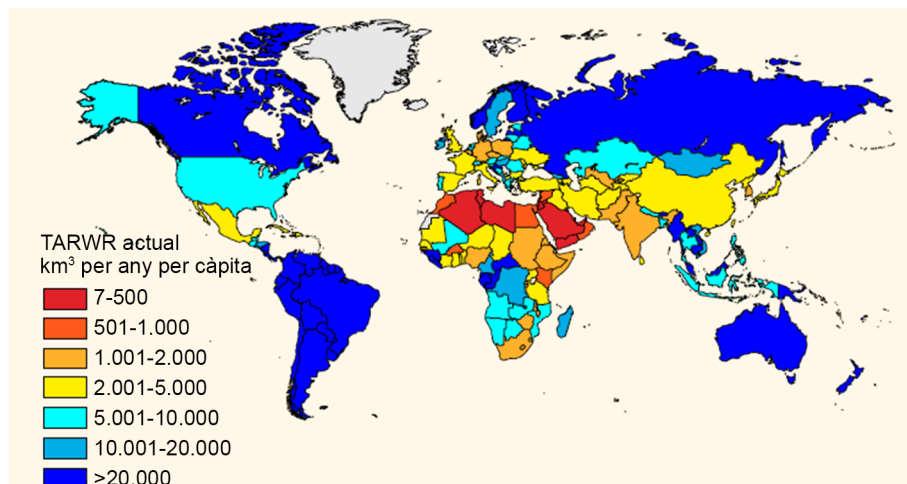


TARWR: *The Average Total Annual Renewable Water Resources*; mitjana dels recursos renovables d'aigua anuals totals. Font: Base de dades de la FAO AQUASTAT

Clarament, alguns països tenen més aigua que d'altres. No obstant això, aquesta mesura no és precisa, ja que la mida d'un país pot influir significativament en les diferències entre els països. Per aquest motiu, és més útil considerar el total d'aigua disponible per persona (figura 3), que pot proporcionar un

indicador més adequat de la disponibilitat d'aigua per a fins socials o econòmics. Cal assenyalar, però, que als països tropicals d'Àsia i Àfrica, on el nombre d'habitants és molt alt, la disponibilitat d'aigua dolça per persona és més reduïda. Això planteja un seriós desafiament per al futur de la **gestió i conservació dels recursos hídrics**, així com dels ecosistemes aquàtics associats.

Figura 3. Recursos d'aigua renovables anuals totals per càpita (TARWR) per país *versus* les dades de població del 2009



Font: Base de dades de la FAO AQUASTAT.

La comprensió de la distribució espacial i temporal i el moviment de l'aigua és crucial per a la gestió eficient dels recursos hídrics. La gestió dels plans i les polítiques de recursos hídrics ha de tenir en compte aquesta variabilitat i la distribució del subministrament d'aigua dolça.

El **cicle hidrològic** és impulsat per un conjunt complex i interrelacionat dels processos naturals dinàmics, als quals els científics es refereixen com «forçaments climàtics». La inclinació i la rotació de la Terra al voltant del Sol es troben entre els principals impulsors de les variacions estacionals en la precipitació i la disponibilitat d'aigua. Els patrons de circulació atmosfèrica i oceànica i les seves interaccions són també importants factors de control del temps, del clima i del cicle hidrològic. Per aquest motiu, una millor comprensió d'aquests fenòmens climàtics (p. ex., ENSO: El Niño-Southern Oscillation, que en català seria 'El Niño-Oscil·lació del Sud'), així com les «teleconnexions» entre els diferents factors de control que poden millorar la capacitat de predicció en moltes regions.

Els éssers humans estan en procés d'alterar ràpidament el clima de la terra i, per extensió, els patrons globals en la circulació de la humitat. Un control significatiu sobre aquesta part del cicle hidrològic no és possible, però els éssers humans tenen un impacte significatiu sobre altres components del cicle. Algunes intervencions són deliberades, com la modificació de la dinàmica hidrològica a través de l'emmagatzematge i la transferència d'aigua entre conques: el primer afecta les inundacions, evitant o minimitzant els danys quan tenim un excés d'aigua, i a les sequeres, assegurant la disponibilitat d'aigua quan sigui necessari; i la segona serveix per portar-la allà a on es necessiti. Al-

tres intervencions, com el canvi dels usos del sòl (p. ex., assentaments urbans o l'agricultura), alteren notablement el cicle hidrològic a través de canvis en les taxes d'infiltració, escolament i evapotranspiració.

La situació dels recursos hídrics és un canvi constant, com a resultat de la variabilitat natural del sistema climàtic i l'alteració antropogènica d'aquest sistema i de la superfície de la terra a través de la qual es modula el cicle hidrològic. Els canvis específics als recursos hídrics i el cicle hidrològic inclouen:

- Els canvis en la mitjana dels fluxos superficials a causa de la variabilitat natural del clima en diferents escales de temps (p. ex., interanuals i multidesenals) i el canvi climàtic.
- L'augment potencial de fenòmens d'inundació a causa del canvi climàtic.
- L'augment en les pèrdues d'aigua per l'augment de la temperatura.
- Els canvis en l'estacionalitat (o temps) dels fluxos, especialment a la fosa de la neu en les conques.
- Els canvis en els fluxos de les glaceres a causa de la seva retirada.
- La disminució de la neu i el permafrost (capa gelada del sòl).
- L'esgotament de l'aigua subterrània (fet que redueix la possibilitat d'amortir els dèficits en contra de la variabilitat de les precipitacions).
- Els canvis en la humitat del sòl.

L'estat dels recursos hídrics també es veu influït per les demandes socioeconòmiques d'aigua. Aquestes estan, al seu torn, influenciades pel creixement demogràfic, el desenvolupament econòmic i els canvis en la dieta, així com per les mesures de control exercides per protegir a la població instal·lada a les planes d'inundació i a les regions propenses a la sequera. Aquestes fonts de canvi i les interaccions entre elles creen un nou nivell d'incertesa associat amb l'ús i la disponibilitat dels recursos hídrics. Incerteses que hem d'afegir a aquelles incerteses existents en relació amb el sistema climàtic de la terra i el cicle hidrològic. Com a resultat, ja no és possible assumir que l'evolució futura del registre hidrològic seguirà el mateix curs que el registre històric.

1.2.1. Els factors de control del clima global i la variabilitat hidrològica

El moviment de l'aigua en escales espacials i temporals sobre el món juga un paper crucial en la creació de zones d'abundància i escassetat. Cada vegada és més evident que alguns **factores de control del clima** a gran escala or-

questren aquest moviment, per exemple: El Niño-Oscil·lació del Sud (ENOS), l'Oscil·lació Decadal del Pacífic (PDO), l'Oscil·lació de l'Atlàntic Nord (NAO) i la Multidecadal Oscil·lació de l'Atlàntic (AMO).

Una més gran comprensió d'aquests controladors ha portat al seu ús en les prediccions interanuals de la hidrologia i el clima i la planificació eficient dels recursos.

1.2.2. La vulnerabilitat de l'emmagatzematge natural a llarg termini

Aigua subterrània: un recurs elàstic en transició

L'evolució del paper de les aigües subterrànies al món, a diferència de les aigües superficials que s'han desenvolupat intensament a moltes regions durant milers d'anys, s'ha mantingut com un recurs escassament explotat fins fa menys d'un segle. No obstant això, durant el segle XX, una «revolució silenciosa» sense precedents (Llamas i Martínez-Santos, 2005) en l'extracció d'aigua subterrània s'ha dut a terme a tot el món. Aquest increment va ser impulsat pel creixement de la població i la creixent demanda associada d'aigua, aliments i ingressos, i facilitat pel coneixement, la tecnologia i l'accés al finançament.

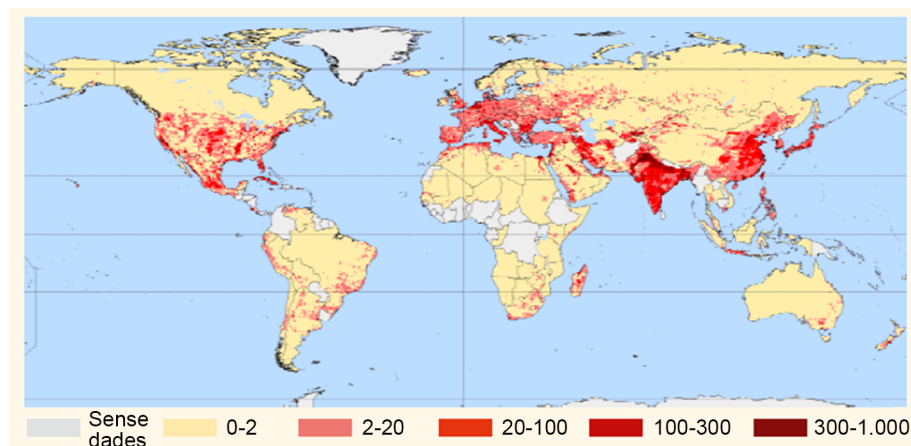
L'extracció intensiva d'aigua subterrània va començar en la primera meitat del segle XX a un nombre limitat de països, entre ells Itàlia, Mèxic, Espanya i els EE. UU., i després es va expandir a tot el món des dels anys seixanta (*Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*, 2007). Això va canviar de manera fonamental el paper de les aigües subterrànies en la societat humana, en particular en el sector de reg, on s'activà una «revolució agrícola de l'aigua subterrània» (Giordano i Villholth, 2007), augmentant significativament la producció d'aliments i el desenvolupament rural. L'ús de les aigües subterrànies també ha modificat considerablement els cicles d'aigua locals i globals, les condicions ambientals i dels ecosistemes.

A partir del 2010, l'extracció d'aigua subterrània a escala mundial s'estima en aproximadament 1.000 km³ per any, on aproximadament el 67 % dels quals s'utilitza per al reg, el 22 % per a consum domèstic i l'11 % per a fins industrials (Margate, 2008; IGRAC, 2010; Siebert i altres, 2010; AQUASTAT, 2011; EUROSTAT, 2011). La figura 4 mostra la distribució mundial d'extracció d'aigua subterrània l'any 2000.

Dues tercers parts de la quantitat total es van extreure a l'Àsia, essent l'Índia, la Xina, el Pakistan, l'Iran i Bangladesh els grans consumidors. La taxa d'extracció d'aigua subterrània mundial s'ha triplicat durant almenys els últims 50 anys i continua creixent a un ritme anual de l'1 al 2 %. En diversos països, però, les taxes d'extracció han tocat sostre i ara són estables o fins i tot estan decreixent (*Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*, 2007). Aquestes estimacions poden no ser precises, però suggereixen que

L'extracció d'aigua subterrània representa aproximadament el 26 % del total d'extracció d'aigua global, que equival al 8 % de la mitjana mundial de recàrrega de les aigües subterrànies. El terme *recàrrega* fa referència a la reposició i renovació de l'aigua dels aqüífers per infiltració de l'aigua de pluja i les aportacions fluvials.

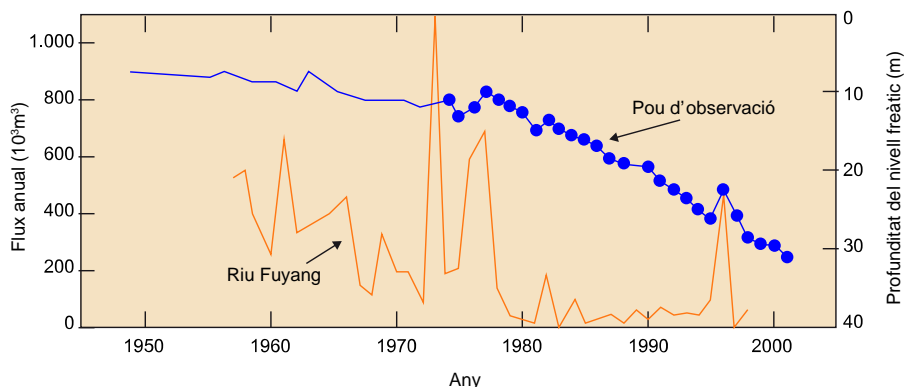
Figura 4. La intensitat de l'extracció d'aigua subterrània per a l'any 2000 (en mm per any), assignada a $0,5 \times 0,5$ cel·les de la graella pel model de PCR-GLOBWB



Font: Wada i altres (2010), AGU; extret de *The United Nations World Water Development* (informe 4, volum 1), UNESCO.

L'**aigua subterrània** és ara una font important d'aigua per al consum humà, subministrant gairebé la **meitat de tota l'aigua potable al món** (WWAP, 2009), i al voltant del 43 % de tota l'aigua consumida en el reg (Siebert i altres, 2010). La seva importància no només recau en els grans volums d'aigua que pot oferir, sinó en la seva estabilitat, fet que assegura la disponibilitat del recurs fins i tot durant llargs períodes sense precipitacions o sequera. Això permet a les persones a tenir accés segur a l'aigua a regions que, d'una altra manera, serien massa seques. Tot i això, alguns d'aquests aqüífers estan constituïts per emmagatzematges d'aigües subterrànies no renovables, o sigui, sense capacitat de recàrrega. Aquest fet comporta que amb el temps, poden ser explotats fins a l'esgotament o disminució de la qualitat (per exemple, per salinització a aqüífers costaners) si el seu ús no es gestiona adequadament. El mateix pot passar amb els emmagatzematges d'aigües subterrànies renovables si l'extracció és superior a la recàrrega (figura 5), tant natural com artificial.

Figura 5. Evolució anual del nivell piezomètric de les aigües subterrànies de la plana nord de la Xina i de l'hidrograma del riu Fuyang que la creua



A finals dels anys setanta, la captació i extracció de recursos és tan alta que impacta en el cabal mig anual i el nivell piezomètric de l'aqüífer. Si es manté la intensitat d'extracció, acabaran per esgotar els recursos. Font: Konikow i Kendy (2005); extret de *The United Nations World Water Development* (informe 4, volum 1), UNESCO.

A més, el canvi d'ús del sòl i l'emissió de substàncies contaminants afecten l'estat dels sistemes d'aigües subterrànies. El canvi climàtic i les mesures de gestió dels recursos hídrics també tenen un impacte sobre l'estat dels sistemes d'aigües subterrànies. Com a resultat, la majoria de sistemes mundials d'aigües subterrànies ja no està en equilibri dinàmic, sinó que mostren tendències significatives. Mentre que el gruix dels recursos d'aigües subterrànies a poca profunditat globals i intermedis tenen una qualitat adequada per a la majoria d'usos, els canvis graduals en la qualitat de les aigües subterrànies locals s'han observat en zones disperses a tot el món. Els canvis més presents són causats pels contaminants produïts pels éssers humans, com els residus líquids i sòlids, productes químics utilitzats en l'agricultura, fems del bestiar, els fluxos de retorn d'irrigació (nitrats), els residus de la mineria i la contaminació de l'aire. Una segona categoria, tal com apuntàvem anteriorment, es produeix per la migració d'aigua de mala qualitat a zones d'aqüífers, com intrusió d'aigua salada a les zones costaneres o migració ascendent de les aigües subterrànies salines profundes com a conseqüència d'extracció d'aigua subterrània. S'espera que el canvi climàtic i la pujada del nivell del mar associat poden constituir una altra amenaça per a la qualitat de l'aigua subterrània a les zones costaneres.

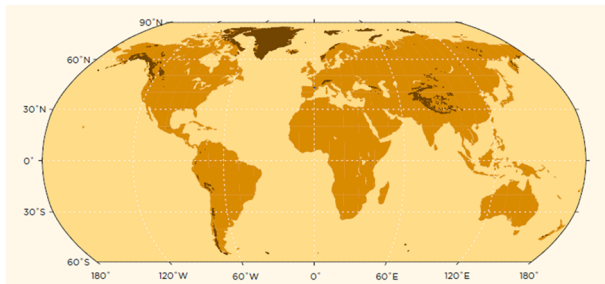
Les glaceres i el seu paper dins de la hidrologia de muntanya

Les muntanyes reben molta més precipitació que les terres baixes que les envolten. La seva contribució al subministrament d'aigua és de particular importància quan les terres baixes són àrides (Viviroli i altres, 2003).

El flux de corrent d'aigua de la muntanya es compon de tres elements principals: la pluja, la neu i l'aigua de fusió del desglaç de les glaceres. La importància relativa d'aquests elements, que varien en el temps i amb l'elevació, és controlada en gran part per la temperatura i l'estacionalitat de la precipitació. A moltes regions de latituds mitjanes existeix una ben marcada estacionalitat de les precipitacions; els hiverns es caracteritzen per les nevades i els estius, per la pluja. A la primavera, la neu es fon i pot dominar l'hidrograma, mentre que el desglaç de les glaceres es torna més important a finals de l'estiu. Durant els anys de baixa precipitació de neu, la contribució de l'aigua de fosa glacial

començarà a contribuir subministrant aigua als corrents a principis de temporada, sent més dominant a la fi de l'estiu; per tant, les glaceres actuen com a amortidores alliberant més recursos en anys d'escassetat de nevades i com emmagatzemadores en retenir importants volums d'aigua (en forma de gel) els anys amb fortes nevades.

Figura 6. Distribució mundial de les glaceres i capes de gel sense incloure l'Antàrtida



Font: Armstrong i altres (2005). «National Snow and Ice Data Center»; extret de *The United Nations World Water Development* (informe 4, volum 1), UNESCO.

L'augment de les temperatures globals té un efecte particular sobre la importància relativa de les pluges i les nevades, i en les taxes a què les glaceres s'estan fonent. En general, les glaceres de muntanya s'estan reduint a tot el món. Trobem algunes excepcions notables, per exemple, al Karakorum (Hewitt, 2005). A curt termini, la reducció de les glaceres comporta un subministrament més gran d'aigua al corrent fluvial, afegit a l'escolament originari de la precipitació anual, la qual cosa augmenta el subministrament d'aigua. A llarg termini (dècades o segles), aquestes fonts addicionals d'aigua disminuiran a mesura que les glaceres desapareixen (figura 7), i els efectes amortidors de les glaceres sobre el règim fluvial disminuiran.

Figura 7. El programa d'investigació Rius de Gel (GRIP) ha aconseguit determinar la pèrdua d'aigua dolça en forma de gel entre el 1921 i el 2009 a la glacera de Khumbu, Mont Everest, Himàlaia



La fotografia del 1921 va ser feta per George Mallory i la del 2009, per GRIP. Els resultats mostren que s'ha perdut una massa de gel d'1 km³. Font: Cooking Ideas.

1.3. La qualitat de l'aigua

La qualitat de l'aigua és un terme relatiu. La noció de qualitat alta o baixa de l'aigua (o d'aigua bona o dolenta) no és només una funció del seu estat i el que conté, sinó que també depèn de per a què s'utilitza. L'aigua «pura» no existeix a la naturalesa, sinó només al laboratori, i totes les **substàncies contaminants** ho són en funció de la seva concentració a l'aigua. Aquesta és una de les raons per les quals professionals de la salut sovint prefereixen utilitzar el terme aigua «segura» en lloc d'aigua «neta». El subministrament suficient d'aigua de qualitat adequada és un ingredient clau en la salut i el benestar dels éssers humans i els ecosistemes, i per al desenvolupament social i econòmic. La **qualitat de l'aigua** s'està convertint en una preocupació mundial de creixent importància, ja que els riscos de degradació es tradueixen directament en impactes econòmics i socials. Tot i que s'han verificat alguns èxits en la millora de la qualitat de l'aigua a escala regional, no hi ha dades que suggereixin una millora general de la qualitat de l'aigua a escala global. La qualitat de l'aigua està indissolublement unida a la quantitat d'aigua, ja que tots dos són els principals factors determinants de l'oferta. En comparació amb la qualitat de l'aigua, la quantitat d'aigua ha rebut molta més inversió, suport científic i atenció del públic en les últimes dècades. No obstant això, la qualitat de l'aigua és tan important com la quantitat d'aigua per satisfer les necessitats humanes i ambientals bàsiques. La **qualitat** es pot veure afectada (figura 8):

a) Per l'abocament de càrregues contaminants (p. ex., productes químics, aigües residuals, nutrients, agents patògens, etc.) sobre aqüífers i rius que no es puguin autodepurar de manera natural. Principalment per abocaments domèstics, industrials i per pràctiques agrícoles poc adequades.

b) Per l'augment de les concentracions de compostos d'origen natural que es tornen perillosos quan la quantitat d'aigua disminueix (p. ex., sediments, sal, etc.) o quan aquests entren en contacte amb l'aigua (petroli, etc.).

c) Per la temperatura.

La multitud de paràmetres de qualitat de l'aigua, incerteses i impactes fa que la gestió dels recursos hídrics sigui una qüestió complexa i multidimensional, en particular pel que fa als usos humans.

Figura 8. La qualitat de l'aigua es veu afectada per abocaments directes i puntuals (per exemple, efluent urbans o industrials)

com per contaminació difusa provinent de l'agricultura o la ramaderia



Font: <http://blogecologista.com/fotos-de-contaminacion-de-agua>.

1.4. Demanda creixent d'aigua

Satisfer una demanda d'aigua contínua i cada vegada més gran requereix esforços per compensar la variabilitat natural i millorar tant la qualitat com augmentar la quantitat de l'aigua disponible. Algunes **estratègies** que ja s'utilitzen per fer-hi front són:

- 1) **Recollir l'aigua de pluja**, ja que és una acció relativament econòmica i té l'avantatge de permetre que les comunitats locals desenvolupin i mantinguin elles mateixes les infraestructures necessàries.
- 2) **Reconduir les aigües superficials sota terra**, fet que permet reduir les pèrdues per evaporació, compensar les variacions al cabal i millorar la qualitat de l'aigua. Algunes regions de l'Orient Mitjà i del Mediterrani apliquen aquesta estratègia.
- 3) **Les preses** es construeixen a fi d'emmagatzemar aigua per al reg i el consum. A més, les preses poden proporcionar electricitat i ajudar a controlar les inundacions, encara que també tenen impactes socials i mediambientals coneguts i molt importants (figura 9).

Figura 9. Presa de l'embassament de El Atazar, riu Lozoya



És l'embassament més important de la regió de Madrid, té una capacitat de 425 hm³ i representa el 46 % del volum embassat de la regió. Va ser construït el 1972 i pertany a la xarxa del canal d'Isabel II. Font: Eadic

4) El **transvasament d'aigua entre conques fluvials** s'utilitza per mitigar els problemes d'escassetat d'aigua. La Xina, per exemple, disposa ja de grans connexions entre conques i planeja fer-ne més. S'ha de vigilar de prop l'impacte humà i mediambiental d'aquests projectes.

5) En molts països, especialment a l'Orient Mitjà, **es reutilitzen les aigües residuals** per a diferents propòsits i s'espera que aquesta pràctica arribi a popularitzar-se. A escala mundial, l'aigua no potable s'utilitza per al reg i la refrigeració industrial. Les ciutats també estan recorrent a la reutilització d'aigua per completar el proveïment d'aigua potable, aprofitant els avenços en el tractament de les aigües.

6) L'**aigua dessalada** (aigua de mar o salobre transformada en aigua dolça) s'usa en les ciutats i en la indústria, especialment a l'Orient Mitjà. El cost d'aquesta tècnica ha disminuït notablement, però depèn molt de l'energia produïda a partir de combustibles fòssils i, per tant, planteja la qüestió de la gestió dels residus i del canvi climàtic.

1.5. La gestió sostenible dels recursos hídrics

De manera general, la sostenibilitat fa referència a la forma de desenvolupament econòmic que considera la utilització dels recursos naturals i del medi ambient per al benefici tant de la generació actual com també de les generacions futures, i això depèn de la capacitat de càrrega del planeta. La capacitat de càrrega es refereix a la quantitat màxima d'organismes que un espai determinat pot suportar indefinidament. Aquest límit depèn d'una sèrie de factors:

- Nivell demogràfic i de consum.
- Recursos naturals emprats i impactes generats.
- Tecnologies emprades per manipular l'hàbitat.
- Organització social.

En el cas dels recursos hídrics, el seu **ús sostenible** suposa un repte a causa dels molts factors que hi intervenen, com els **canvis en el clima**, la **variabilitat natural** dels recursos i la **pressió per les activitats humanes** (figura 10).

Figura 10. Gestió sostenible dels recursos hídrics



Font: Gestión Sostenible del Agua.

En l'actualitat, la política de l'aigua encara es regeix sobretot per inquietuds polítiques i econòmiques a curt termini que sovint tenen poc en compte la ciència, l'experiència i la bona gestió. Calen solucions tecnològiques punteres i més finançament, així com més dades sobre els recursos hídrics, sobretot als països en desenvolupament. Per avaluar l'estat dels recursos hídrics, la societat ha de ser conscient de les funcions dels diferents components del cicle de l'aigua, com la pluja, l'aigua procedent del desglaç de les glaceres, etc. Altrament, serà difícil desenvolupar estratègies de protecció i mitigació adequades.

La mala qualitat de l'aigua i l'ús insostenible dels recursos hídrics poden limitar el desenvolupament econòmic d'un país, afectar la salut de la seva població i repercutir en els seus mitjans de subsistència. Afortunadament, s'estan començant a adoptar pràctiques més sostenibles, tot i que en combinació amb d'altres que no ho són tant:

- **Augmentar els recursos naturals existents** (p. ex., reutilització, dessalinització, recollida de l'aigua de pluja, explotar els recursos d'aigües subterrànies no renovables).

- **Reduir la demanda** (canvi d'hàbits que necessitaran una millora de la informació al públic i més compromís polític).
- **Reduir les pèrdues d'aigua** (p. ex., dels sistemes urbans de distribució).

Això ha d'anar acompanyat d'una gestió descentralitzada dels recursos hídrics, concentrant-se a les conques fluvials, fet que és cada vegada més habitual, fins i tot a escala internacional. L'intercanvi d'informació entre països que comparteixen conques fluvials generarà beneficis econòmics i mediambientals.

1.6. El balanç dels recursos hídrics a la península Ibèrica

L'avaluació dels recursos hídrics en règim natural és una tasca molt important per a la planificació hidrològica, i actualment encara pateix incertesa. Aquesta avaluació s'ha de recolzar en les dades registrades a les estacions d'aforament dels rius, que en la majoria de casos mesuren règims alterats (per exemple, per derivacions i embassaments). La figura 11 il·lustra la situació dels recursos hídrics a Espanya a la primera dècada del segle XXI.

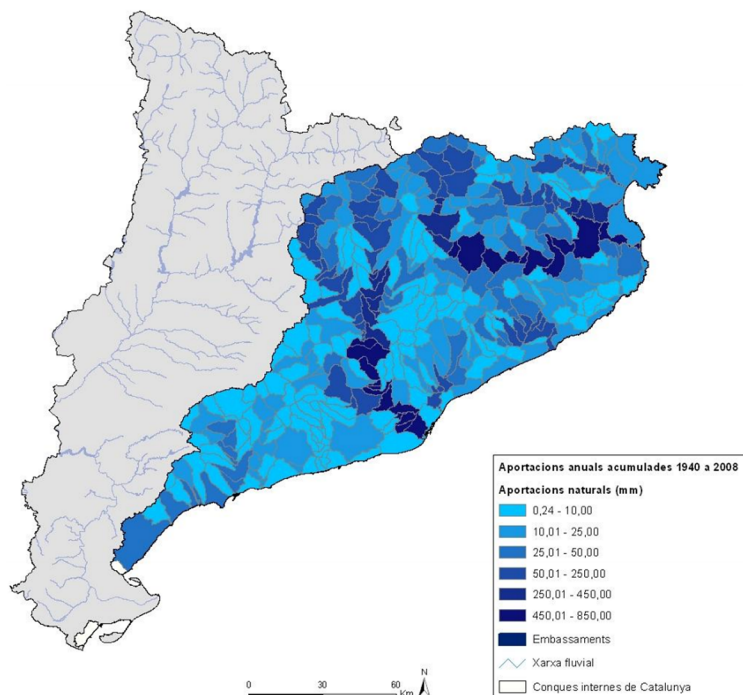
Figura 11. Mapa dels recursos hídrics a Espanya (previsió del balanç hídric 2012)



Font: M. C. Muñoz Delgado (2009); extret de Wiki-Chemageo.

El diagnòstic dels recursos hídrics complet a Catalunya es pot consultar a la pàgina web de l'Agència Catalana de l'Aigua, així com al Pla de gestió del districte de la conca fluvial de Catalunya 2016-2021 (figura 12).

Figura 12. Escolament total anual a les conques internes de Catalunya



Font: Pla de gestió del districte de la conca fluvial de Catalunya 2016-2021.

A grans trets:

1) **Les conques del Segura, Xúquer i les mediterrànies andaluses** presenten situacions de dèficit: els seus recursos són inferiors als consums. Si calculem el potencial desenvolupament demogràfic, urbà i econòmic d'aquestes zones, podem incloure en aquest grup la conca atlàntica andalusa, la del Guadalquivir.

A aquestes conques s'han fet importants obres en embassaments, transvasaments des d'altres conques i depuració. Tenen uns recursos relativament limitats a causa del volum de les precipitacions i de l'elevada evapotranspiració que es produeix en les mateixes. No obstant això, tenen una elevada demanda i consum, a causa d'una forta implantació del regadiu, del seu desenvolupament turístic i d'un extraordinari desenvolupament urbà. Aquesta situació de dèficit dóna lloc a una sobreexplotació de les aigües subterrànies, a una desatenció dels cabals mediambientals mínims i a una contaminació important de les aigües dels rius.

2) **La resta de les conques** presenten situacions de superàvit global: els seus recursos són superiors a les seves demandes i consums, encara que hi pugui haver zones concretes dins d'aquestes demarcacions que presentin problemes concrets de dèficit, o que aquest pugui donar-se de forma ocasional alguns anys o temporades.

Les conques amb superàvit porten prou cabal per abastir la demanda. La irregularitat en el repartiment de les precipitacions al llarg de l'any o al mateix territori se soluciona tradicionalment amb la construcció d'embassaments i ca-

nalitzacions que regulen els cabals i reparteixen l'aigua per la conca. A aquestes conques, les zones litorals (amb grans ciutats) i les limítrofes als rius (amb important desenvolupament del regadiu i importants nuclis urbans) és on majoritàriament es localitza la demanda. Les activitats industrials es localitzen a les grans vies de comunicació, a zones pròximes a les grans ciutats o bé comunicades amb elles. Aquestes vies de comunicació acostumen a seguir el curs dels rius. Un bon exemple d'això és la plana del Baix Llobregat, on trobem, a molt poc espai, importants nuclis urbans, regadius (al delta i a la plana al·luvial del riu Llobregat) i grans indústries a tocar de les grans vies de comunicació.

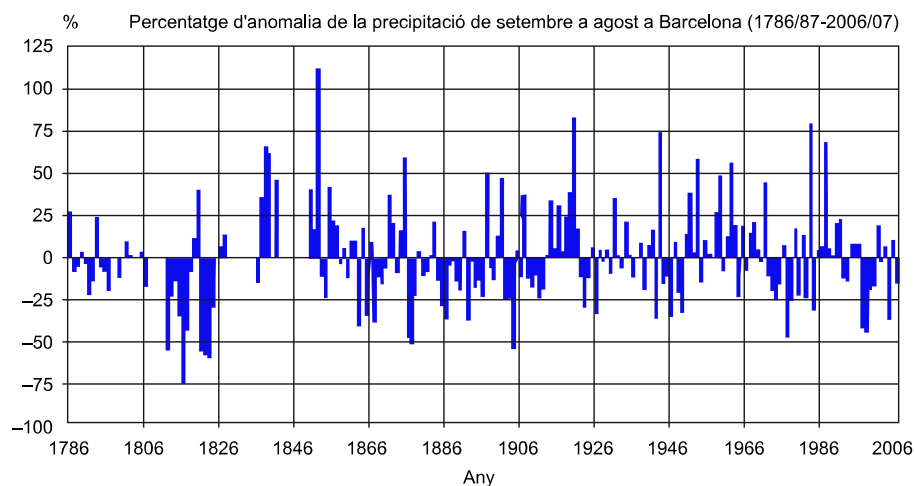
2. Riscos hidrològics

2.1. Introducció

Els **riscos hidrològics** són tots aquells causats per l'aigua, **tant per excés com per defecte**. En el primer cas, és a dir, per excés d'aigua, es poden produir **inundacions** costaneres causades pel mar i desbordaments de rius. En el cas de l'absència d'aigua, l'efecte principal és la **sequera**. Tant un tipus com l'altre es produeixen com a conseqüència d'esdeveniments atmosfèrics extrems i per això es comenten en conjunt. Tot i que els riscos hidrològics són diversos, en aquesta unitat només parlarem dels principals, les inundacions i les sequeres. Les inundacions i les sequeres es caracteritzen per ser extrems pluviomètrics i hidrològics, i són els dos perills naturals de major impacte socioeconòmic en el conjunt del planeta. El primer, les inundacions, és el fenomen natural que **més víctimes** origina i el segon, les sequeres, el que **més població acaba afectant** (sobre l'economia i sobre els individus amb fam i mortaldat).

En el cas de la península Ibèrica, la diversitat climàtica dóna lloc a un règim de precipitacions molt variable tant pel que fa a la intensitat com a distribució espacial i temporal, fet que produeix tant episodis d'inundacions com de sequera de manera recurrent (figura 13).

Figura 13. Evolució del percentatge respecte al valor mitjà de l'anomalia de la precipitació (valor mesurat menys valor mitjà del període 1786/87-2006/07) de setembre a agost (any hidrometeorològic) des de 1786 fins al 2007 a la ciutat de Barcelona



En aquesta figura, es pot observar la gran variabilitat interanual (d'un any a un altre) que presenta la precipitació, característica típica dels climes de latituds mitjanes i sobretot del clima mediterrani. Aquestes dades només són representatives de la costa central catalana, específicament de l'àrea de Barcelona. Font: Altava Ortiz i altres; Grup d'Anàlisi de Situacions Meteorològiques Adverses

2.2. Les inundacions

Les **inundacions** són un fenomen natural que es produeix de manera periòdica, per la qual cosa és d'esperar que les zones properes a les lleres fluvials s'inundin amb certa freqüència. El problema sorgeix quan l'home, a causa de la fertilitat, fàcil accés, adequació per la construcció d'habitatges i de vies de comunicació, etc. de la **plana d'inundació** s'hi estableix i competeix amb el riu pel seu domini (figura 14). El preu d'aquesta lluita entre l'home i el riu és alt, ja sigui en pèrdues humanes i econòmiques per inundació de zones poblades, com en inversions en obres per la regulació de la llera.

Figura 14. Imatge de la crescuda del riu Garona del 19 de juny del 2013 a la Vall d'Aran



L'ocupació de les zones inundables té un alt risc i aquest és fruit d'una errònia planificació i ordenació del territori fluvial.
Font: Bombers de la Generalitat de Catalunya.

2.2.1. Definició

Una **inundació** o **avinguda** es produeix quan un curs fluvial rep una quantitat d'aigua de la seva conca que supera la capacitat d'emmagatzematge, desguàs i infiltració de la llera de canal, també anomenada de llit major. Com a conseqüència, es produeix una pujada del nivell de les aigües, i aquestes desborden, inundant les àrees adjacents.

2.2.2. Tipus d'inundacions

Les inundacions es poden classificar segons l'origen, la precipitació responsable del fenomen i l'impacte de la crescuda.

Origen

Les inundacions segons el seu origen poden ser:

a) Inundacions per precipitacions *in situ*. Aquestes dependran fortament de l'estat de la xarxa de drenatge i de la presència d'infraestructures fàcilment susceptibles de ser inundades, com soterranis o passos subterranis (figura 15).

Nota

El material d'aquest subapartat ha estat extret del portal Edrina (Universitat de Barcelona) i del portal Rinamed.

Figura 15. Pas soterrani inundat per l'acumulació d'aigua posterior a un episodi de precipitació torrencial a la població de Castelldefels



L'acumulació de vegetació i sediments va taponant la xarxa de drenatge i impedeix el seu correcte funcionament. Font: Postales desde Castelldefels.

b) Inundacions per avingudes o desbordament dels rius (figura 16), rieres, llacs o marenys provocades o potenciades per precipitacions, desgel, obstrucció de les lleres dels rius o l'acció de mareas i vents. Aquesta categoria d'inundació es troba vinculada a la tipologia i distribució de la pluja, de l'orografia, la vegetació i el tipus de sòl de la conca, així com la mateixa configuració del riu, incloses les obres hidràuliques sobre el mateix (embassaments, canalitzacions). També hi influeixen les condicions d'humitat del terreny, que depenen de si ha plogut o no els dies anteriors. Una gran part d'aquests factors han de ser considerats en el càlcul que permet la transformació de la pluja a cabal, i que serà fonamental a l'hora de donar els avisos d'alerta.

Figura 16. Inundació per desbordament del riu Segre al seu pas per la població de Ponts, 7 de novembre de 1982



c) **Inundacions pel trencament** (figura 17) o pel funcionament incorrecte d'obres d'infraestructura hidràulica.

Figura 17. El 5 de juny del 1976, la presa de Teton (EE. UU.), es trencà i va provocar una important inundació



L'impacte aigua avall provocà la mort de 14 persones i un cost, entre les reconstruccions i les indemnitzacions, proper als 1.000 milions de dòlars. Font: US Department of the Interior, Bureau of Reclamation.

Classificació en funció de les característiques de la precipitació

Aquesta és una classificació vàlida per aquells esdeveniments d'inundació en els quals la causa ha estat meteorològica, concretament l'excés de precipitació.

1) Inundacions molt ràpides, produïdes per pluges d'alta intensitat (p. ex., superiors a 180 mm/h) però molt curtes (p. ex., menys d'una hora). La quantitat de pluja totalitzada no acostuma a superar els 80 mm. Normalment, produeixen inundacions locals a les ciutats i pobles (inundacions de places, garatges, soterranis, etc. a causa de problemes de drenatge) o a petites conques amb molt pendent, on es produeixen les anomenades *inundacions sobtades* o *flash-floods*. Aquestes últimes són perilloses per als practicants d'esports de risc (barranquisme, ràfting, etc.), així com als pobles costaners i zones turístiques pròximes a les muntanyes del litoral i dels Pirineus. La predicció meteorològica a curt termini de la quantitat, intensitat i lloc afectat per les pluges és pràcticament impossible. El radar meteorològic i els models de mesoescala (mitja escala) podran ser bones eines per a la seva previsió a molt curt termini. Malgrat aquesta possibilitat, la millor previsió davant aquests episodis és l'educació de la població. Aquest tipus d'inundacions tenen lloc principalment a l'estiu i a principis de la tardor.

2) Les inundacions produïdes per pluja d'intensitat forta o moderada (superior a 60 mm/h) i duració inferior a 72 hores (alta quantitat de precipitació). Aquestes inundacions tenen lloc principalment a la tardor, tot i que en

alguns casos històrics s'han produït durant la primavera. Quan aquestes pluges afecten rius amb molt pendent o amb molt de transport sòlid (sediments), les inundacions poden ser catastròfiques. Es poden distingir dues categories:

a) Inundacions catastròfiques produïdes per pluges de forta intensitat durant dues o tres hores, i una duració total de l'**episodi inferior a 24 hores**. Encara que la zona més afectada pugui no ser molt gran (conques compreses entre 100 km² i 2.000 km²), les pluges o el mal temps afecten àrees superiors al 2.000 km². En aquest cas, el temps de resposta és molt curt i poden produir-se víctimes.

b) Les inundacions catastròfiques produïdes per pluges d'intensitat forta i moderada **durant dos o tres dies**. La zona afectada acostuma a ser molt més gran (més de 2.000 km²), i les pluges o el mal temps afecten una gran part del país o, fins i tot, de les regions occidentals del Mediterrani. En aquest cas, el temps de resposta pot ser molt curt per a la part alta dels rius, però el valor màxim de la crescuda del riu pot arribar un dia després que s'hagin produït les màximes intensitats pluviomètriques. En aquest cas, el nombre de víctimes és generalment inferior al cas anterior i al contrari, els danys materials són molt grans.

3) Les inundacions extraordinàries produïdes per **pluges d'intensitat dèbil amb valors forts però molt curtes i locals, i d'una duració superior a 3 dies**. Es disposa d'un temps de resposta suficient per laminar la crescuda utilitzant els embassaments, i per desplegar els sistemes de protecció i socors necessaris. En general, no hi ha morts i els danys materials són inferiors als casos anteriors. Aquestes inundacions no són freqüents i es donen normalment a l'hivern.

Impacte

Aquesta classificació és útil principalment per integrar estudis d'inundacions històriques a escala secular. La pèrdua de vides es troba molt vinculada al tipus de resposta de la població, tant individual com social, que ha anat evolucionant al llarg del temps. Per tant, el nombre de víctimes no es pot considerar com un indicador objectiu de l'abast del desbordament.

1) **Inundació ordinària**: és la que es produeix quan el cabal del riu augmenta de tal forma que pot alterar el ritme de vida quotidià, afectar infraestructures no permanents situades al riu (p. ex., passarel·les) o envair passos per a l'encreuament dels rius. No obstant això, no produeix danys materials més grans.

2) **Inundació extraordinària**: es produeix quan el riu es desborda i encara que afecta el desenvolupament de la vida ordinària i produeix alguns danys, no genera destrucció completa d'infraestructures. Aquestes inundacions poden ser des de locals a molt extenses.

3) Inundació catastròfica: aquella que produeix pèrdues materials greus, com ara destrucció total o parcial de ponts, molins o altres infraestructures, pèrdues de bestiar i collites.

2.2.3. Causes

Les causes més freqüents que ocasionen inundacions al nostre medi són naturals, no naturals (antròpiques) o mixtes.

Naturals

Les grans pluges són la causa principal de les inundacions d'origen natural, però a més hi ha altres causes no relacionades amb la meteorologia.

1) Meteorològiques

a) Fluvial

- **Excés de pluja:** quan la capacitat d'infiltració es veu superada pel volum o la intensitat d'aigua precipitada, generant un tipus d'escolament anomenat *superficial* o *hortonià*. Un bon exemple ho són les tempestes d'estiu, caracteritzades per descarregar importants quantitats d'aigua en molt poca estona, és a dir, amb altes intensitats. Els episodis de tardor, pel contrari, acostumen a registrar volums més importants d'aigua però amb intensitats més petites. En aquest grup tindriem les típiques llevantades al litoral i prelitoral, i els episodis de sud que afecten el vessant sud del Pirineu i Prepirineu.
- **Fusió de neus:** l'arribada del bon temps (finals de primavera), després d'un hivern amb acumulació de neu a les muntanyes, combinat amb un episodi amb pluges importants, produeix una fusió accelerada de les neus que es pot produir amb inundacions. La crescuda del 19 de juny del 2013 a la Garona n'és un bon exemple, tot i que aquests esdeveniments són poc freqüents a les nostres latituds (figura 14).

b) Marines: invasió del mar. Quan un fort temporal marítim (produït per un cicló o huracà, figura 18) hi incideix perquè les aigües del mar envaeixen algunes zones costaneres en alguns països tropicals.

Figura 18. Ruptura d'un dic provocada per l'huracà Katrina a Nova Orleans, Louisiana, EE. UU., el 2005



Font: Jocelyn Augustino, FEMA; COMET.

c) **Locals:** inundacions produïdes per **falta de drenatge efectiu** quan plou a terres baixes o endorreiques.

d) **Lacustres:** motivades pel **desbordament de llacs**, a Catalunya correspondria al cas de l'entorn del llac de Banyoles, que de tant en tant queda inundat (figura 19).

Figura 19. L'estany desbordat inunda el Passeig del Doctor Dalmau de Banyoles l'any 1932



Segons algunes estimacions de testimonis presencials, l'aigua de l'estany va pujar 75 centímetres per sobre de la línia màxima de contenció. Font: Meteorologia de Banyoles.

2) No meteorològiques

a) **Lliscaments de vessants:** correspon a les inundacions produïdes aigua amunt d'un curs fluvial per l'obstrucció del flux pel material dipositat a causa d'un lliscament de vessant (figura 20). Aquest material, quan col·lapsa, pot originar greus inundacions aigua avall. El trencament de morrenes o murs de gel que conformen llacs també formaria part d'aquesta categoria. Aquests esdeveniments són molt difícils de predir i agafen la població desprevinguda a zones inesperades.

Figura 20. A l'abril i maig del 1991, dos desprendiments de roques consecutius es van produir sobre el poble de Randa, Suïssa



a) Les carreteres i el tren van quedar interromputs en quedar sota la runa. No hi va haver morts, encara que van desaparèixer bestiar, granges i algunes cases. b) L'esllavissada va taponar el riu Matternvispa, causant la inundació de la població de Randa. Font: National Platform for Natural Hazards

b) **Sísmiques:** localitzades principalment a prop del mar o a la vora d'obres hidràuliques.

No naturals (antròpiques)

1) Grans

a) **Ruptura de preses o rescloses.** Un exemple va ser el trencament de la presa de Vega de Tera el 9 de gener del 1959, que va inundar i arrasar el poble de Ribadelago (Zamora), causant la mort a 144 habitants (figura 21). Es considera la segona tragèdia més gran a Espanya quant a nombre de víctimes mortals pel trencament d'un embassament. Les causes del trencament de la presa van ser les greus deficiències estructurals de les instal·lacions, com a conseqüència d'una mala construcció.

Figura 21. Runes després de la inundació de Ribadelago



Font: *El Norte de Castilla*.

b) **Desviació o obturació de cursos fluvials.**

c) **Desforestació i pràctiques deficientes de cultius.**

2) **Petites:** trencament de canonades, clavegueres, etc.

Causes mixtes

En algunes ocasions, es pot produir una inundació per la ruptura d'una obra hidràulica.

1) **Per causes meteorològiques:** un exemple va ser *La Pantanada* de Tous, el nom amb què es coneix la gran inundació ocorreguda el 20 d'octubre del 1982 com a conseqüència del trencament de la presa de Tous a causa de les pluges torrencials, que arribaren als 700 mm/dia a algunes zones de la Vall d'Aiora i la Canal de Navarrés, i originà una avinguda de 16.000 m³/s que arrasà la ribera del Xúquer (figura 22). *La Pantanada* de Tous ha estat la catàstrofe més gran en la història moderna del País Valencià, només comparable, potser, amb la Gran Riuada de València (14 d'octubre del 1957, conca del riu Túria).

Figura 22. Imatge de l'estat de la presa de Tous després de trencar-se l'octubre del 1982

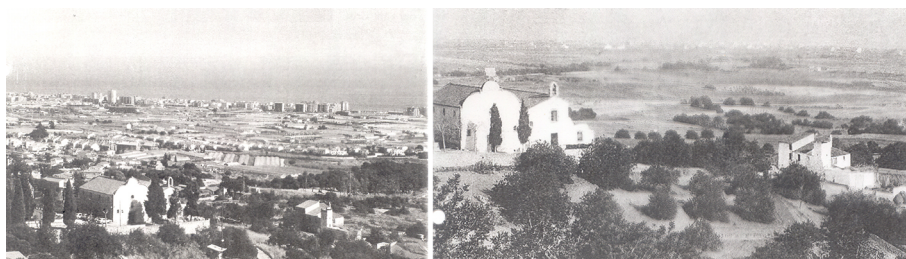


Font: ABC.

2) **Per causes no meteorològiques:** hi ha una sèrie de factors que poden maximitzar la magnitud de la inundació o els seus efectes.

a) **Una insuficient capacitat d'infiltració del sòl,** és a dir, que l'aigua trobi dificultats per a la infiltració, i com a conseqüència s'acumuli en superfície. Aquest seria el cas, si l'estat inicial del sòl fos de saturació o la permeabilitat del sòl hagués canviat per la modificació del seu ús. Per exemple, l'asfalt o la desforestació dels boscos minven la capacitat d'infiltració del sòl i redueixen els temps de resposta de la conca davant de les precipitacions, incrementant la magnitud de la crescuda i reduint el temps de resposta de la conca (figura 23).

Figura 23. Evolució del canvi dels usos del sòl des de l'Ermida de la Cisa, Premià de Mar



b) La combinació de diferents situacions meteorològiques adverses. Molt sovint, pot passar que greus inundacions s'accentuin per la dificultat de desguàs davant importants temporals marítics que dificulten la sortida al mar de l'escolament.

c) Una mala gestió de les infraestructures hidràuliques. Generalment, el control d'avingudes no és la funció principal per la qual es construeix una presa, però la majoria d'elles reserven una part de la seva capacitat a la reducció dels cabals elevats que poden rebre durant les tempestes. La laminació de les crescudes és un aspecte molt rellevant en la gestió de recursos hídrics i planificació del territori, doncs, d'una banda, permet un ràpid ompliment de l'embassament (malgrat que també captura els sediments arrossegats per la riuada) i, d'altra, redueix el risc d'inundació als sectors localitzats aigües avall de la presa. Una gestió incorrecta no només pot inhibir la capacitat de laminació de la infraestructura, sinó que també pot obligar a incrementar la magnitud de la crescuda.

d) La mala ordenació del territori urbà dins el sistema fluvial o zones inundables (figures 24 i 25).

Figura 24. Ajuntament de la Pobla de Lillet construït sobre un pont que travessa el riu Llobregat



Font: Enfo.

Figura 25. Avinguda del 7 de novembre de 1982 al riu Llobregat al seu pas per la població de la pobla de Lillet



La làmina d'aigua arribà fins al tauler del pont i puntualment el superà.

2.2.4. Les inundacions a Catalunya

Al llarg del segle XX, en comparació amb els segles anteriors, el nombre de víctimes per inundació a Catalunya no ha deixat de créixer, fet que encara té més relleu si es considera que disposem de constància històrica d'inundacions molt més fortes que les actuals.

De fet, l'episodi d'inundacions més extens i llarg que coneixem tingué lloc l'any 1617 i ha passat a la història del clima de Catalunya com «lo any del diluvi». Es tracta de l'episodi de precipitacions que va tenir lloc entre els últims dies d'octubre i els primers deu dies de novembre a bona part del país, així com a València i àrees de l'Aragó (Barriandos, 2005).

L'anàlisi de l'evolució de les inundacions a Catalunya des del segle XIV permet constatar una sèrie d'oscil·lacions més o menys marcades, amb una tendència durant el segle XX a l'augment de les inundacions extraordinàries, conseqüència, principalment, del canvi dels usos del sòl i l'ocupació de les zones inundables i les lleres.

Durant el passat segle XX, cal destacar les següents inundacions catastròfiques a Catalunya¹:

- 1902, 11 de desembre: desbordament del Ter, l'Onyar i el Güell amb inundacions a Girona.
- 1907, 7-12 d'octubre: inundacions generalitzades, de les quals destaca l'avinguda del Ter, amb forts estralls al seu curs baix i inundacions a Girona; l'avinguda del Llobregat, amb 1.500 m³/s a Martorell, i el desbordament de l'Ebre.

⁽¹⁾ Informe extraordinari del Síndic de Greuges (2000).

- 1919, 7 d'octubre: desbordament del Ter (1.320,8 m³/s), l'Onyar, el Güell i el Galligants, a Girona; avinguda del Llobregat (1.500 m³/s).
- 1937, 26, 27 i 28 d'octubre, inundacions generalitzades a l'Alt Pirineu, de les quals destaca l'avinguda del Segre (Fontseré i Galceran, 1938).
- 1940, 17-20 d'octubre, «aiguat de Sant Lluç»: es considera una de les inundacions catastròfiques més greus del segle XX. Va afectar tant el nord com el sud de Catalunya. A Girona, les aigües del Ter van assolir set metres per damunt del nivell ordinari; el Llobregat també es va desbordar, amb un cabal a Martorell de 2.200 m³/s. En total, es van produir més de 300 morts i desapareguts i prop de 120 milions de pessetes en pèrdues a Catalunya.
- 1962, 25 de setembre: és la pitjor inundació que s'ha registrat a Catalunya i a tot l'Estat espanyol durant aquest segle, amb un balanç de 441 morts, 374 desapareguts, 213 ferits i 2.650 milions de pessetes en pèrdues materials. Es va tractar d'una inundació sobtada, de grans proporcions, conseqüència d'una pluja de més de 250 mm en menys de tres hores que va provocar el desbordament del Besòs, del Llobregat (1.550 m³/s a Martorell) i de gran part de rieres. Entre el 19 i 12 d'octubre d'aquell mateix any es va produir una inundació a Girona amb pèrdues econòmiques valorades en uns 150 milions de pessetes, i el dia 8 de novembre, una avinguda del Llobregat.
- 1970, 11 i 12 d'octubre: l'Onyar, el Güell, la riera de la Maçana i el Galligants provoquen tres inundacions en una sola nit, que afecten tres quartes parts de la ciutat de Girona amb pèrdues valorades en uns 500 milions de pessetes.
- 1971, 20 de setembre: pluges molt fortes a gran part de Catalunya amb inundacions a les comarques de Girona i Barcelona. A més de la Tordera, el Güell i altres rius, es va produir el desbordament del Llobregat, que va enregistrar el màxim cabal del segle, amb 3.080 m³/s. El balanç va ser de 7.000 milions de pessetes de pèrdues i 19 víctimes mortals.
- 1982, 6-8 de novembre: les inundacions van afectar principalment el Pirineu oriental i central. A més de Catalunya i Aragó, en van patir conseqüències molt greus Andorra i el sud de França (on també van ser afectades altres zones muntanyoses i del litoral). En moltes ocasions, s'han comparat amb les inundacions del 1940. Les pluges van superar els 500 mm en 48 h a diversos indrets i es van desbordar molts rius, com el Segre (1886 m³/s a Oliana) o el Llobregat (1250 m³/s a la Baells), a la part alta, conseqüència que les pluges més fortes s'haguessin produït als Pirineus. A Catalunya, el balanç va ser de 14 morts i uns 45.000 milions de pessetes en pèrdues.
- 1983, 6-8 de novembre: aquest episodi, produït un any després de les inundacions catastròfiques del 1982, va afectar principalment les comarques

litorals (sobretot el Baix Llobregat) i llocs on encara es treballava per reconstruir o protegir les àrees afectades l'any anterior.

- 1986, 28 de setembre a 2 d'octubre: les inundacions van afectar València i Catalunya.
- 1987, 28 de setembre a 5 d'octubre: les pluges, que es van iniciar a terres valencianes, van avançar cap al nord i van produir inundacions també a Catalunya i al sud de França. Va ser l'episodi en què va ploure més a la ciutat de Barcelona, on van caure més de 400 mm. En aquest episodi van morir 10 persones.
- 1988, 12 de novembre: es van produir inundacions a les comarques del litoral (desbordaments del Llobregat i del Fluvià) que van arribar a afectar també el sud de França.
- 1994, 9-10 d'octubre: van ser les inundacions més catastròfiques de la dècada dels noranta, sobretot pels estralls causats a Tarragona, si bé també va haver-hi inundacions al Vallès i a punts diversos de la Costa Brava. Hi van morir nou persones i les pèrdues econòmiques van passar de 25.000 milions de pessetes.

La dècada dels noranta ha estat molt més marcada per les inundacions sobtades i de poc abast geogràfic, principalment torrentades, amb víctimes mortals i forts danys econòmics, com va ser el cas de la tempesta del 3 de setembre del 1996, que va causar pèrdues per més de 2.000 milions de pessetes al Maresme.

2.2.5. Previsió i protecció contra les inundacions

El risc

El risc és una condició inherent a l'ésser humà des de l'inici de la història de la humanitat. El desconeixement del funcionament de la natura i la por davant els seus fenòmens extrems en els primers moments, i la pèrdua del respecte cap a tot l'ambiental en temps més recents (les societats associem tecnologia a seguretat davant la natura), han convertit l'espera de la catàstrofe en un element comú de la vida quotidiana.

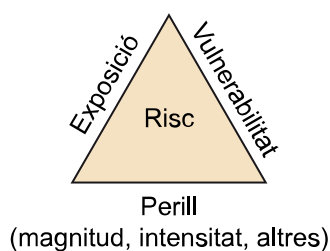
L'anàlisi de risc ha introduït tres conceptes que formen part del risc: **perill** (perillositat), **vulnerabilitat** i **exposició**. Cada un d'ells es relaciona amb els tres components de l'espai geogràfic: la natura, l'home i el territori. Per perill s'entén el fenomen o procés de caràcter natural que pot originar danys a una comunitat, a les seves activitats o al mateix medi ambient. La vulnerabilitat és la pèrdua esperable d'un determinat bé exposat, pot tractar-se de vulnerabilitat humana, estructural, econòmica o ecològica, d'acord amb el tipus de risc que cal avaluar. El bé vulnerable més apreciat és la vida humana, i per

això el grau de risc és més elevat quan pot córrer perill la vida de les persones. Finalment, l'exposició és la disposició sobre el territori d'un conjunt de béns que cal preservar i que poden ser danyats per un perill natural.

El producte d'aquests tres factors que formen el risc es completa amb la **severitat** o grau d'intensitat d'un fenomen natural de **rang extraordinari** (magnitud) i la **frequència** o interval de temps de desenvolupament d'un episodi natural extrem (figura 26).

Figura 26. Components del risc

$$\text{Risc} = \text{Perill} * \text{Vulnerabilitat} * \text{Exposició}$$



Font: Agència Catalana de l'Aigua.

Sigui com sigui, el cert és que a la superfície terrestre hi ha territoris de risc i fins i tot es pot parlar de paisatges de risc, és a dir, espais la característica geogràfica principal dels quals és la inadequada ocupació d'un espai que suporta freqüents esdeveniments naturals de rang extraordinari.

Estudis de planificació d'espais fluvials (PEF)

L'Agència Catalana de l'Aigua (ACA) és l'ens públic adscrit al Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat amb competències plenes en el cicle integral de l'aigua a les conques internes de Catalunya i en el marc de la Directiva europea de l'aigua.

D'acord amb les seves competències, ha elaborat els **estudis d'inundabilitat** (geomorfològics i hidràulics) de lleres públiques, per posar-los a disposició dels organismes competents en la **planificació del territori**. Aquesta informació és integrada i se'n fa difusió mitjançant els estudis de **planificació dels espais fluvials (PEF)**.

Les PEF constitueixen un dels projectes més ambiciosos de l'Agència Catalana de l'Aigua per a l'anàlisi detallada dels rius a Catalunya, tenint en compte tots els agents socials. Un dels seus objectius és el disseny i l'establiment de mesures de protecció de les persones i els seus béns.

Les PEF ordenen espacialment els cursos fluvials per consensuar l'aprofitament sostenible dels seus recursos, la recuperació i la conservació ambiental i paisatgística amb els usos històrics i la valorització social i econòmica, tenint en compte el fenomen de la **inundabilitat** i el **risc** que pot comportar envers les persones, els béns i el medi i els hàbitats existents.

2.3. Les sequeres

2.3.1. Definició

La sequera és un fenomen hidrològic extrem que pot definir-se com una disminució conjuntural significativa dels recursos hídrics durant un període prou perllongat i que afecta una àrea extensa amb conseqüències socioeconòmiques adverses.

La sequera és un fenomen normal i recurrent del clima, però molts consideren erròniament que es tracta d'un fenomen estrany. Passa a totes les regions climàtiques, però les seves característiques varien d'unes regions a unes altres.

La sequera té un caràcter lent i progressiu, així que, quan es manifesta de manera evident, és que ja s'hi està immers.

L'Organització Meteorològica Mundial va proposar definir la sequera com la seqüència atmosfèrica caracteritzada pel desenvolupament de precipitacions inferiors a les normals en un 60 % durant més de 2 anys consecutius. Per a la península Ibèrica, el professor Morales Gil va proposar una reducció del 40 % del total per al sud-est i costa Mediterrània i un 25 % per a les àrees del cantàbric.

2.3.2. Caracterització d'una sequera (factors)

Els factors que caracteritzen una sequera són:

- Temps necessari perquè pugui parlar-se de sequera.
- Proporció de reducció de la precipitació.
- Efectes.
- Grau d'afectació.

La sequera no és únicament un fenomen físic o un esdeveniment de la natura. La sequera té seriosos efectes sobre la població a causa de problemes d'abastament d'aigua. A més, té efectes econòmics i mediambientals importants tant a països en via de desenvolupament com a països desenvolupats que fan palesa la vulnerabilitat de les societats davant aquest fenomen de la naturalesa.

Nota

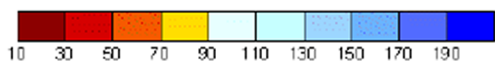
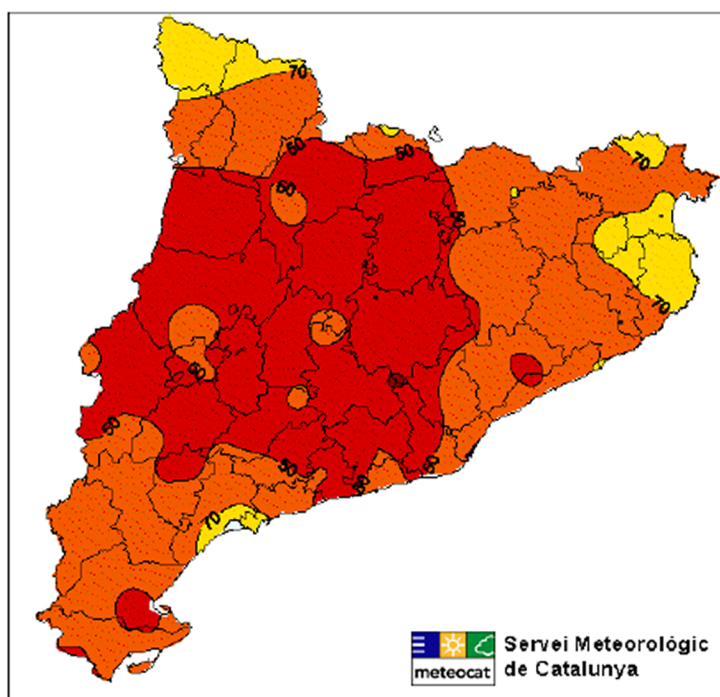
El material sobre les sequeres s'ha extret i modificat d'Hispagua, Sistema Español de Información sobre el Agua.

2.3.3. Tipus de sequera

La península Ibèrica pateix amb certa regularitat i intensitat, segons les regions, períodes de sequera. El caràcter més o menys habitual d'aquest fenomen es deu al fet que la península Ibèrica pertany al domini climàtic mediterrani i al fet que es troba pròxima a l'àmbit de subsidència subtropical de l'anticicló de les Açores. A més, factors de naturalesa geogràfica i hidrogràfica expliquen la freqüència més gran d'aquest fenomen als arxipèlags de les Balears i Canàries, així com al centre, sud i sud-est peninsular. Per definir els tipus de sequera, cal atendre a aspectes meteorològics, hidrològics i agrícoles.

1) **La sequera, des del punt de vista de la meteorologia**, és la disminució de precipitacions a una regió en relació amb el valor normal en un termini de temps determinat (figura 27). Es tracta d'un fenomen que s'implanta de manera gradual i pot arribar a durar anys en els casos més extrems.

Figura 27. Mapa elaborat amb dades d'estacions automàtiques del Servei Meteorològic de Catalunya pel període comprès entre l'1 setembre del 2004 i el 31 d'agost del 2005



El mapa es va elaborar amb disponibilitat superior al 90 % de la informació, comparada amb la mitjana climàtica extreta de l'Atlas Climàtic Digital de Catalunya (Ninyerola i altres, 2000). Aquest mètode s'anomena *percentatge de precipitació normal (PPN)*. Font: Servei Meteorològic de Catalunya.

2) **La sequera hidrològica** es produeix quan hi ha, a escala regional, un total de precipitació més petit que la mitjana estacional, fet que es tradueix en un nivell d'aprovisionament anormal dels cursos d'aigua i dels reservoris d'aigua superficial (figura 28) o subterrània.

Figura 28. Estat de l'embassament de Sau, a la conca del Ter, al març del 2008

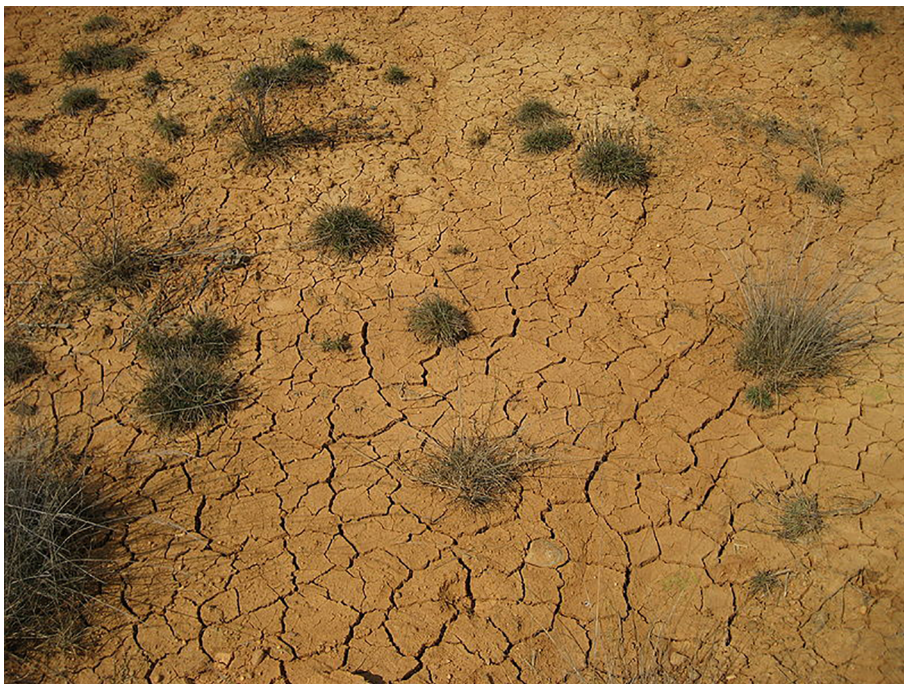


Font: Viquipèdia.

Tot i que el clima és el principal factor que contribueix a la sequera hidrològica, altres factors com el canvi en els usos del sòl (per exemple, canvis a la coberta vegetal), degradació de les terres o la construcció de preses poden afectar les característiques hidrològiques de les conques dels rius.

3) La sequera agrícola es defineix com un dèficit marcat i permanent de pluja que redueix significativament la disponibilitat d'aigua a terra per satisfer les necessitats de creixement d'un cultiu determinat en un moment donat. Quan es produeix un període de sequera, normalment l'agricultura és el sector que es veu en primer lloc afectat, a causa de la gran dependència d'aquest sector de l'aigua emmagatzemada al sòl (figura 29).

Figura 29. Esquerdes de dessecació



Font: Viquipèdia.

4) **La sequera socioeconòmica** és l'afectació de l'escassetat d'aigua a les persones i a l'activitat econòmica com a conseqüència de la sequera.

Exemple

La gestió de l'episodi de sequera 2007-2008 a Catalunya va comportar l'avançament i l'agilització d'actuacions previstes per a horitzons més llunyans (mesures estructurals avançades), però que en avançar-se van significar un augment de la garantia de subministrament a curt termini. En aquest sentit, el 17 d'abril del 2007 es va activar el Decret 84/2007, de 3 d'abril, d'adopció de mesures excepcionals i d'emergència en relació amb la utilització dels recursos hídrics. El Decret establia la reducció del 15 % de les dotacions de rec a sistemes regulats, l'anul·lació dels desembassaments (soltes d'aigua des de les preses) per a ús exclusivament elèctric, la intensificació dels controls d'usuaris i les restriccions d'abocaments i sistemes no fluents. En una situació més extrema, les restriccions poden ser més agudes.

2.3.4. Indicadors de sequera

Els indicadors de sequera relacionen les dades disponibles de precipitació, neu, cabals dels rius i indicadors de subministrament d'aigua. En general, no s'utilitza un únic indicador per caracteritzar la sequera a una zona.

1) Índex de la severitat de la sequera de Palmer (PDSI)

És un algorisme que permet mesurar la pèrdua d'humitat del sòl. És adequat per a la seva aplicació a zones amb topografia uniforme. Aquest índex va ser desenvolupat el 1965 per Palmer i es basa en el concepte de subministrament d'aigua. L'objectiu de l'índex de severitat de sequera de Palmer és proporcionar mesures estandarditzades de condicions d'humitat, de manera que permeti fer comparacions entre condicions locals i entre durades. Palmer va desenvolupar criteris per determinar quan una sequera o un període humit s'iniciïn i acaben.

2) Percentatge de precipitació normal (PPN)

El percentatge de precipitació normal es refereix a la relació entre la precipitació acumulada en un any i la precipitació mitjana anual, per a una regió i en un període donat, expressat de manera percentual. La precipitació mitjana anual és coneguda com a precipitació normal, i s'obté a partir del valor mitjà de les precipitacions anuals ocorregudes en un període no més petit de 30 anys.

Els valors percentuals estimats per cada any indiquen el dèficit (valors negatius) i l'excedent (valors positius) en la precipitació anual. Per la seva banda, valors percentuals pròxims a zero corresponen a valors propers a la mitjana històrica (taula 1).

Taula 1. Classificació del grau de sequera d'acord amb valors del PPN

Categoria de sequera	Rang de valors percentuals
Lleugera	-20,0 % a -30 %
Moderada	-30,1 % a -40 %
Forta	-40,1 % a -49 %
Aguda	-49,1 % a -59 %
Intensa	-59 % <

Font: Medio Ambiente de Castilla y León.

Exemple

L'any 2015, a l'Observatori Fabra, situat a 408 m d'altitud en mig de la serra de Collserola (Barcelona), va registrar una pluviometria anual (acumulada) de 332 mm.

La precipitació mitjana anual (o normal) de l'Observatori Fabra entre el 1981 i el 2010 és de 621 mm.

$$\text{PPN} = (332/621) * 100 - 100 = -47 \%$$

El PPN per a l'Observatori Fabra de Barcelona per l'any 2015 ha estat de -47 %. Segons la taula 1, l'any 2015 Barcelona va patir un episodi de sequera forta, però al llindar de ser considerada aguda.

Cal tenir present que el PPN no té en consideració les característiques climàtiques de cada regió, on la variabilitat pluviomètrica interanual pot ser molt diferent (p. ex., baixa al vessant atlàntic o més alta a la regió mediterrània de la península Ibèrica).

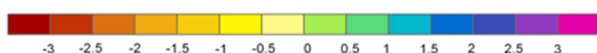
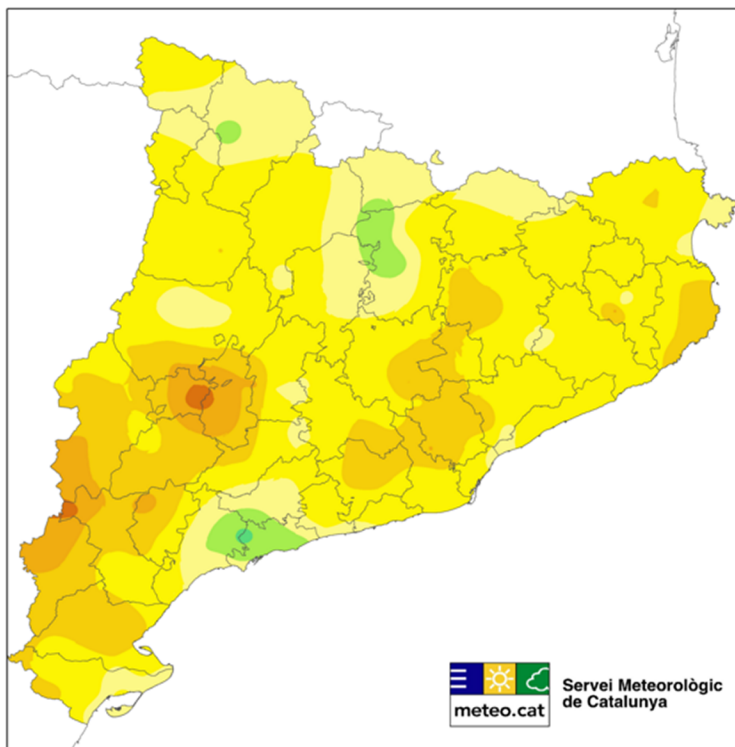
3) Índex de precipitació estandarditzada (IPE o ESPI)

Va ser desenvolupat per Edwards i Mc Kee el 1997. Aquest índex normalitzat permet estudiar diferents escales de temps i es recomana per a registres de llarg termini. També permet fer una avaluació del dèficit o excés de precipitació al territori i per a una varietat d'escales temporals. Els intervals més llargs (superiors a 12 mesos) aporten informació sobre l'estat de les aigües subterrànies, dels cursos d'aigua i de l'emmagatzematge d'aigua als embassaments. Per con-

tra, els intervals més curts (inferiors a 9 mesos) són útils per estimar la humitat del sòl, aspecte molt important per a l'agricultura i els boscos, i responen de manera immediata a la presència o absència de precipitacions.

Les àrees de recerca i modelització i de climatologia (Servei Meteorològic de Catalunya, SMC) elaboren mensualment els mapes d'IPE per a Catalunya per als intervals de 6, 9, 12 i 24 mesos (figura 30).

Figura 30. Mapes d'IPE per a Catalunya per a un interval de 6 mesos (agost 2015 - gener 2016)



Font: Servei Meteorològic de Catalunya.

Per a la correcta interpretació de la cartografia, es pot seguir la taula 2:

Taula 2. Classificació del grau de sequera d'acord amb valors de l'ESPI

Rang	Condicions d'humitat
> 2,5	Excepcional
2,0 a 2,5	Extrema
1,2 a 2,0	Forta
1,0 a 1,5	Moderada
1,0 a -1,0	Normalitat
-1,0 a -1,5	Sequera moderada
-1,5 a -2,0	Sequera forta

Font: Servei Meteorològic de Catalunya.

Rang	Condicions d'humitat
-2,0 a -2,5	Sequera extrema
< -2,5	Sequera excepcional

Font: Servei Meteorològic de Catalunya.

4) Índex de risc de sequera (IRS)

L'IRS està format per quatre components: precipitació mitjana anual corregida en funció de la temperatura mitjana anual, estacionalitat pluviomètrica, variabilitat i persistència de la sequera. Aquest índex es va definir per poder determinar la severitat i durada de la sequera i per predir l'inici i el final d'aquest període.

2.3.5. Les sequeres a Catalunya

Les sequeres són un dels fenòmens amb més repercussió al nostre territori; no obstant això, no hem d'oblidar que, fins i tot en condicions de normalitat, el règim pluviomètric de Catalunya es caracteritza per la irregularitat general i, en particular, per una variabilitat interanual elevada.

Lectura recomanada

En el següent document, trobareu un recull dels darrers episodis de sequera viscuts a Catalunya fins el 2003:

Agència Catalana de l'Aigua (2007). *Les sequeres a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Agència Catalana de l'Aigua.

Les darreres sequeres registrades a terres catalanes són la primera l'any 2005 i la segona durant els anys 2007-2008. La combinació de les mateixes va portar el país a un estat d'emergència que va motivar un canvi en la gestió d'aquests fenòmens, tal i com veurem més endavant.

L'any 2005 es va viure una situació d'extrema sequera generada per una persistent manca de precipitacions a totes les conques de Catalunya. El dèficit pluviomètric va ser d'entre el 35 % i el 40 % de la mitjana respecte a un període sec ordinari.

L'any 2008 va estar marcat per la pitjor sequera ocorreguda a Catalunya en els darrers setanta anys, un episodi que es va iniciar l'abril del 2007 i que no va acabar fins a la segona quinzena de gener del 2009. Algunes dades, entre moltes de les generades durant aquells mesos, són indicatives de l'excepcionalitat d'aquest període. Quinze mesos seguits sense precipitacions a les capçaleres dels rius, unes reserves d'aigua als embassaments del Ter i el Llobregat que arribaren al 20 % de la seva capacitat i amb els principals aquífers catalans amb mínims històrics.

Nota

El material sobre les sequeres a Catalunya s'ha extret majoritàriament del portal web de l'Agència Catalana de l'Aigua i de l'Observatori de Projectes i Debats de Catalunya.

Catalunya va haver d'enfrontar-se, doncs, a la gestió d'un episodi de sequera extraordinari. Aquests problemes es caracteritzen perquè presenten un elevat nivell de complexitat i d'incerteses, perillèn múltiples valors i interessos (els ecosistemes fluvials, l'economia del país, la salubritat pública, la credibilitat de les institucions) i, sobretot, la urgència de la presa de decisions.

2.3.6. Conseqüències de la sequera

Atès que les sequeres són fenòmens impredecibles (tant en la seva ocurrència com en la seva durada), la previsió i la preparació són els elements clau per reduir el seu impacte.

Aquestes circumstàncies i els elevats costos (econòmics, socials i mediambientals) causats per l'impacte de la sequera han activat a tot el món l'interès per l'elaboració de plans de gestió davant les sequeres.

La sequera és un desastre natural que pot tenir impacte en la societat molt gran. De fet, s'estima que els impactes de la sequera són més grans que els de cap altre desastre natural. Per exemple, als Estats Units (segons el National Drought Mitigation Center) s'estima que la sequera suposa unes pèrdues d'entre 6.000 i 8.000 milions de dòlars anuals, afectant principalment els sectors agrícola, silvícola, transport, oci i turisme i energia. Els impactes socials i mediambientals són també significants, tot i que és difícil precisar els seus costos.

Històricament la sequera es pot considerar com un esdeveniment natural d'enorme transcendència, ja que per la seva causa s'han vist delmades les poblacions per fam, s'han impulsat moviments migratoris massius i s'han provocat gravíssimes crisis econòmiques, socials i polítiques. Però també pot advertir-se, en l'actualitat, que la qüestió sembla haver assolit un important salt quantitatiu i qualitatiu.

Això ha conduït al fet que es dediqui un important esforç investigador a l'estudi de mitjans alternatius no convencionals per a l'obtenció d'aigua en previsió de períodes de sequera, com ara el tractament d'aigües residuals, la dessalinització o l'explotació d'aqüífers profunds, així com el desenvolupament d'eines i estratègies de gestió conjunta i estalvi d'aigua que permeten optimitzar la gestió dels recursos i prevenir els períodes d'escassetat.

Classificació d'efectes de la sequera:

1) Efectes directes:

- Impactes econòmics.
- Agricultura i ramaderia.
- Gestió de l'aigua i proveïment.
- Indústria.
- Impactes mediambientals.

- Aigua, terra, l'aire i els organismes (flora i fauna).
- Zones naturals protegides i parcs naturals.
- Efectes mediambientals combinats: contaminació.
- Augment d'incendis forestals.

2) Efectes indirectes:

a) Economia:

- Energia: generació d'energia hidroelèctrica.
- Comerç, especialment en les relacions d'exportació i importació.
- Assumptes financers: pujada de preus, inflació.

b) Impactes socials:

- Salut pública.
- Ocupació o atur.
- Política i els afers exteriors.
- Altres: oci i turisme.

Nota

La classificació dels efectes de la sequera està basada en la Guia para la mitigación de los efectos de la sequía.

2.3.7. Gestió i planificació de sequeres

La guia per a la mitigació dels efectes de la sequera de la ICID² (1998) indica que a la majoria de països en què la sequera es dona amb més freqüència, s'han utilitzat diversos mètodes i mesures per a defensar-se però, avaluant aquestes mesures, es pot afirmar que, en la major part dels casos, o han mancat de fonament o no han estat ben consolidades.

Majoritàriament s'ha actuat més *a posteriori*, per emergència, que amb caràcter preventiu.

En el cas de **Catalunya**, l'Administració competent (Agència Catalana de l'Aigua) treballa en la redacció del **Pla de gestió de sequeres**, l'objectiu del qual és donar continuïtat a la gestió dels dos últims episodis de sequera, el del 2005 i el del 2007-08, però substituint la reglamentació mitjançant **decrets** (93/2005 i 84/2007; permetien l'adopció de mesures excepcionals i d'emergència en relació amb la utilització de recursos hídrics) per un instrument més estable, debatut públicament abans de la situació de sequera i que, un cop aprovat, permeti als usuaris conèixer les mesures que cal aplicar amb més anticipació i amb més seguretat.

El Pla de gestió de sequeres donarà compliment al mandat del Pla hidrològic nacional (Llei 10/2001, de 5 de juliol), que estableix que tots els organismes de conca han d'elaborar un Pla per enfrontar-se a les situacions de sequera, i hi inclourà les determinacions següents:

⁽²⁾Comissió Internacional de Regs i Drenatges.

- La definició d'**índexs de sequera particularitzats** en les diferents unitats d'explotació del territori, que permetin una gestió diferenciada en funció de la situació hidrològica.
- L'establiment de les **normes d'explotació** que permetin un ús òptim dels recursos no convencionals (dessalinització i reutilització) i l'**aprofitament coordinat de les aigües subterrànies i superficials**.
- Les mesures que cal aplicar en relació amb l'**ús de l'aigua** en cada estat de sequera (restriccions).

Bibliografia

Altava, V.; Llasat, M.; Barrera, A.; Prat, M. A.; Llasat, M. C. (2007). «La sequía en Catalunya en el año 2007». Grup d'Anàlisi de Situacions Meteorològiques. Barcelona: Universitat de Barcelona [document en línia]. [Data de consulta: 30 de setembre del 2015.] <<http://gama.am.ub.es/documentos/sequia/2007/informe%20sequia%202007.pdf>>

Armstrong, R.; Raup, B.; Khalsa, S. J. S.; Barry, R.; Kargel, J.; Helm, C.; Kieffer, H. (2005). *GLIMS Glacier Database*. National Snow and Ice Data Center [document en línia]. <<http://nsidc.org/glims/>> i <<http://nsidc.org/glims/glaciernmelt/index.html>>.

Barriendos, M. (2005). «Variabilidad climática y riesgos climáticos en perspectiva histórica: el caso de Catalunya en los siglos XVIII y XIX». *Revista de historia moderna: Anales de la Universidad de Alicante* (núm. 23).

Fontserè, E.; Galceran, F. (1938). *Les inundacions d'octubre de 1937 a l'Alt Pirineu*. Barcelona: Memòries del Servei Meteorològic de Catalunya.

Giordano, M.; Vilholth, K. (ed.) (2007). *The Agricultural Groundwater Revolution*. Wallingford, UK: Centre for Agricultural Bioscience International (CABI).

Hewitt, K. (1982). *Natural Dams and Outburst Floods of the Karakoram Himalaya*. Proceedings of the Symposium on Hydrological Aspects of Alpine and High Mountain Areas. International Association of Hydrological Sciences (IAHS). Publicació núm. 138. Wallingford, UK: IAHS Press.

Konikow, L.; Kendy, L. (2005). «Groundwater depletion: A global problem». *Hydrogeology Journal*.

Llamas, M. R.; Martínez-Santos, P. (2005). «Intensive groundwater use: a silent revolution that cannot be ignored». *Water Science and Technology Series* (vol. 51, núm. 8, pàg. 167-74). Londres: IWA Publishing.

Ninyerola, M.; Pons, X.; Roure, J. M. (2000). «A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques». *International Journal of Climatology* (núm. 20, pàg. 1823-1841).

Shiklomanov, I. (1993). «World Fresh Water». A: P. H. Gleick (ed.). *Water in crisis: A guide to the World's Fresh Water Resources*. Nova York: Oxford University Press.

Viviroli, D.; Weingartner, R.; Messerli, B. (2003). «Assessing the hydrological significance of the world's mountains». *Mountain Research and Development* (vol. 23, núm. 1, pàg. 32-40).

Wada, Y.; Van Beek, L. P. H.; Van Kempen, C. M.; Reckman, J. W. T. M.; Vasak, S.; Bierkens, M. F. P. (2010). «Global depletion of groundwater resources». *Geophysical Research Letters* (vol. 37, L20402).

World Water Assessment Programme (WWAP) (2009). *Water in a Changing World*. World Water Development Report 3. París/Londres: UNESCO Publishing/Earthscan.

