

EFECTES DE LES SEQUERES EXTREMES SOBRE LA BIODIVERSITAT

Aproximació al coneixement científic i expert
disponible en el context de Catalunya el 2025



OBSERVATORI DEL PATRIMONI
NATURAL I LA BIODIVERSITAT

COORDINACIÓ

Helena Ramírez, Lluís Brotons, Dani Villero i Alba Gimbert

EDICIÓ

José Luis Ordóñez, Helena Ramírez i Sergi Herrando

DISSENY

Nora Soler i José Luis Ordóñez

PORTADA I CONTRAPORTADA

José Luis Ordóñez

AGRAÏMENTS

Servei Meteorològic de Catalunya

CITACIÓ RECOMANADA

Observatori del Patrimoni Natural i la Biodiversitat de Catalunya (2026) *Efectes de les sequeres extremes sobre la biodiversitat*. Departament de Territori, Habitatge i Transició Ecològica. Generalitat de Catalunya. <https://doi.org/10.5281/zenodo.19068414>

Març de 2026

Aquest informe es publica sota una llicència Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0), que permet distribuir, mesclar, adaptar i crear nous materials a partir d'aquest document en qualsevol mitjà o format, també amb interès comercial, sempre que se'n faci referència a l'autoria.

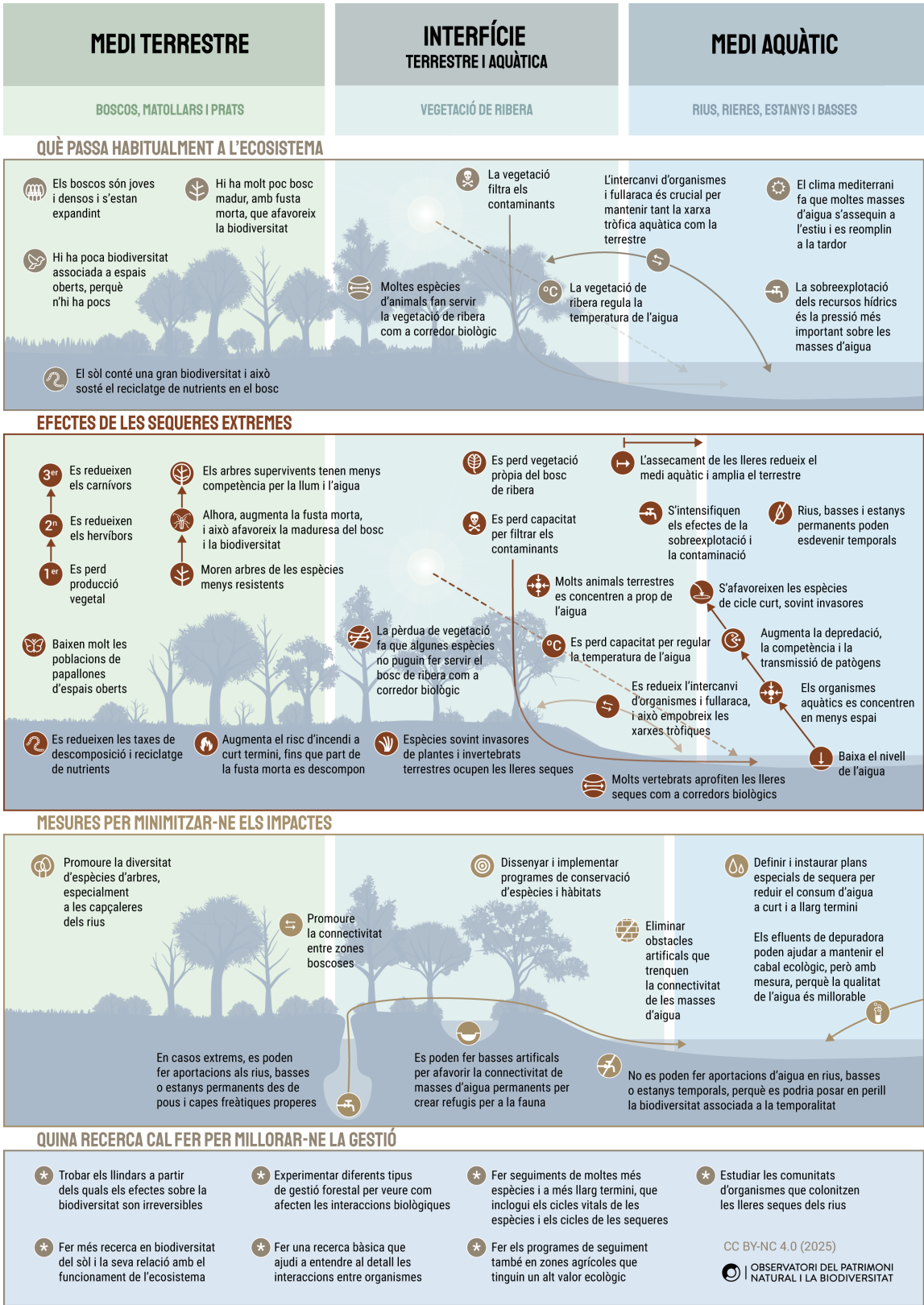
PARTICIPACIÓ DE LES PERSONES EXPERTES

Alberto Maceda	IRBIO-UB	Redacció
Albert Montori	CREAC	Redacció
Berta Caballero	MCNB	Revisió
Cesc Múrria	IRBIO-UB	Taller inicial i Redacció
Emili Garcia Berthou	UdG	Taller inicial i Redacció
Eudald Pujol-Buxó	SCH	Taller inicial i Redacció
Francisco Lloret	CREAF	Revisió
Frederic Casals	UdL i CTFC	Taller incial i Revisió
Gemma Piqué	CTFC	Taller inicial i Redacció
Georgina Alins	IRTA	Redacció
Guille Peguero	CREAF i IRBIO-UB	Taller inicial i Redacció
Irene Lobato	MCNB	Revisió
Joan Real	IRBIO-UB	Taller inicial i Redacció
Jofre Carnicer	CREAF i IRBIO-UB	Taller inicial i Redacció
Jordi Cristóbal	UAB	Taller inicial i Redacció
Josep Maria Espelta Morral	CREAF	Taller inicial i Redacció
Juli Mauri	Ajunt. SCG	Redacció
Júlia Valera	SCH	Taller inicial i Redacció
Marc Noguera	GENCAT	Redacció
Mireia Banqué Casanovas	CREAF	Taller inicial i Redacció
Néstor Pérez-Méndez	IRTA	Taller inicial i Redacció
Núria Bonada	IRBIO-UB	Redacció
Paula Martin	CTFC	Redacció
Roger Puig-Gironès	IRBIO-UB	Taller inicial i Redacció

ACRÒNIMS I ABREVIATURES DE LES ENTITATS PARTICIPANTS

Ajunt. SCG	Ajuntament de Santa Coloma de Gramanet
CREAC	Centre de Recerca i Educació Ambiental de Calafell
CREAF	Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals
CTFC	Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya
GENCAT	Generalitat de Catalunya
IRBIO-UB	Institut de Recerca de la Biodiversitat de la Universitat de Barcelona
IRTA	Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentària
MCNB	Museu de Ciències Naturals de Barcelona
SCH	Societat Catalana d'Herpetologia
UAB	Universitat Autònoma de Barcelona
UdG	Universitat de Girona
UdL	Universitat de Lleida

Síntesi visual dels efectes de les sequeres extremes sobre la biodiversitat



07
MISSATGES CLAU

METODOLOGIA D'AVALUACIÓ	3
INTRODUCCIÓ	4

MISSATGES CLAU	8
Bosc <i>os</i> i matollars	8
Ambients d'aigües continentals	9
Ambients de transició entre el medi aquàtic i el terrestre	10

10
BOSCOS I
MATOLLARS

EFFECTES DE LES SEQUERES EN BOSCOS I MATOLLARS	11
Com son els bosc <i>os</i> de Catalunya	11
La sequera, un potent factor de canvi de bosc <i>os</i> i matollars	11
Efectes de les sequeres sobre els processos ecològics i les interaccions biològiques	13
Efectes de les sequeres sobre la biodiversitat del sòl	16

16
AMBIENTS
D'AIGÜES
CONTINENTALS

EFFECTES DE LES SEQUERES EN AMBIENTS D'AIGÜES CONTINENTALS	17
Dinàmica dels ecosistemes fluvials a Catalunya	17
Dinàmica dels ecosistemes d'aigües estagnants a Catalunya	18
Efectes de les sequeres extremes sobre la biodiversitat d'aigües continentals	19
Interaccions de les sequeres amb altres perturbacions que afecten els ecosistemes aquàtics	21
Experiències d'actuació i prioritats de coneixement	22

22
AMBIENTS DE
TRANSICIÓ ENTRE
MEDI AQUÀTIC I
TERRESTRE

EFFECTES DE LES SEQUERES EN AMBIENTS DE TRANSICIÓ ENTRE EL MEDI AQUÀTIC I EL TERRESTRE	23
Fluxos de materials i organismes entre el medi aquàtic i el terrestre	23
Efectes de les sequeres sobre els fluxos de materials i organismes	23

23
REPTES I
RECOMANACIONS

REPTES I RECOMANACIONS	24
Bosc <i>os</i> i matollars	24
Ambients d'aigües continentals	25
Ambients de transició entre el medi aquàtic i el terrestre	26
REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES	27

METODOLOGIA D'AVALUACIÓ

Les avaluacions de l'Observatori del Patrimoni Natural i la Biodiversitat tenen com a objectiu connectar l'evidència científica amb les necessitats polítiques i de gestió, i generar un coneixement útil per a la presa de decisions. La metodologia que s'ha implementat en aquesta primera avaluació, que s'ha fet com a prova pilot, s'inspira en experiències internacionals, com les del projecte europeu *BioAgora*, i en organitzacions internacionals, com l'IPBES, que elaboren avaluacions concretes relacionades amb la biodiversitat i les polítiques associades.

Aquesta primera avaluació té l'objectiu de mobilitzar de la manera més àgil possible el **coneixement científic interdisciplinari que hi ha a Catalunya** sobre com les sequeres afecten la biodiversitat, i especialment les sequeres extraordinàries pel que fa a intensitat i durada. L'avaluació pretén identificar els casos en què les sequeres excepcionals posin en perill espècies o hàbitats de manera important o irreversible, les mesures a implementar per reduir l'impacte de les sequeres en aquests casos, i l'efectivitat de les intervencions que ja s'han fet amb aquest mateix objectiu en la gestió d'hàbitats.

Un cop definits els objectius, s'ha realitzat una crida oberta a l'expertesa utilitzant la xarxa del projecte Prismàtic, vinculat a l'Observatori, per tal de recollir informació potencialment interessant per incloure a l'avaluació. Les persones expertes que han volgut participar-hi, han pogut escollir en quin grup preferien fer les seves aportacions: en el **grup de redacció**, encarregat de redactar la primera proposta de continguts, o en el **grup de revisió**, responsable de valorar críticament el text elaborat.

En una primera fase, es va realitzar un taller inicial presencial amb les persones expertes que hi van voler participar, per consensuar una estructura comuna de continguts i extreure'n els missatges clau. A partir d'aquí, el grup redactor ha elaborat els continguts que l'equip tècnic de l'Observatori ha integrat en una primera versió del document, amb l'objectiu de donar fluïdesa i coherència al conjunt de textos.

En una segona fase, les persones expertes del grup revisor han aportat comentaris crítics sobre la primera versió. L'equip tècnic de l'Observatori ha valorat tots els suggeriments fets en la revisió i n'ha incorporat els que ha considerat rellevants. Aquest procés ha permès obtenir una avaluació revisada per parells (*peer review*, en anglès), per garantir un major rigor i qualitat en el document final.

Finalment, l'equip tècnic de l'Observatori ha elaborat una infografia que resumeix de manera visual les idees més rellevants que es desprenen de l'avaluació i ha anat recollint les opinions de totes les parts implicades, per identificar els aspectes a millorar en futures avaluacions.

Des del punt de vista metodològic, aquesta avaluació pilot no ha estat tan ràpida com es pretenia inicialment, però ha aconseguit una participació molt important i variada, sense arribar a l'exhaustivitat; el caràcter obert de la crida d'expertesa implica que no sempre es pot comptar amb especialistes en tots els camps rellevants. A més, l'avaluació ha permès també detectar els buits de coneixement en alguns àmbits específics, en els quals caldria continuar o expandir la recerca. Aquestes limitacions evidencien la necessitat de continuar treballant per identificar i suplir les mancances metodològiques i establir mecanismes més robustos que assegurin una cobertura més àmplia i representativa en futures avaluacions.

Malgrat les seves limitacions, l'avaluació ofereix informació i recomanacions valuoses per gestionar els impactes de la sequera sobre la biodiversitat i prendre decisions polítiques que ajudin a prevenir i a mitigar aquests impactes. L'experiència d'haver-la fet constitueix un pas fonamental cap a l'enfortiment del sistema d'avaluacions de l'Observatori i l'ampliació de la seva capacitat per generar recomanacions informades, que responguin de manera cada cop més adient a les necessitats de conservació de la biodiversitat.

INTRODUCCIÓ

En els últims anys, Catalunya ha patit períodes de sequera meteorològica cada vegada més recurrents i intensos (figura 1), l'últim dels quals ha situat les precipitacions per sota de la mitjana climàtica de manera persistent des de l'estiu de 2021 fins a la primavera de 2024. Durant aquests tres anys, la major part del país ha estat en situació de sequera extrema, a excepció de les Terres de l'Ebre i algunes zones del Pirineu central i occidental, que han estat en situació de sequera moderada. Les úniques zones on ha plogut o nevat amb normalitat han estat el massís dels Ports i algunes àrees del Pirineu més nord-occidental.

Aquesta sequera climàtica persistent i extrema a la major part del país ha coincidit amb estius especialment calorosos i episodis de calor extrema (figura 2). L'agost de 2021 va ser molt calorós, també des del maig fins al juliol de 2022, amb diverses onades de calor, i gairebé tot l'estiu de 2023; al juliol d'aquell any es va registrar la temperatura més alta mai enregistrada a la Xarxa d'Estacions Meteorològiques del Servei Meteorològic

de Catalunya, 45,1°C al pantà de Darnius-Boadella, i l'agost immediatament següent va concloure amb una de les onades de calor més persistents des que es tenen registres. L'absència de temporals de pluja durant les tres tardors de 2021 a 2023 i els hiverns anticiclònics han mantingut les condicions de sequera d'un any per l'altre, i tot plegat ha tingut un impacte directe en la capacitat del territori per renovar les provisions d'aigua per als ecosistemes i les activitats humanes. En conseqüència, Catalunya es troba encara en una situació alarmant de sequera hidrològica, arribant a nivells mínims històrics en la major part dels rius, embassaments i aqüífers del país, especialment de les Conques Internes. Aquesta situació s'ha vist alleugerida, només en part, per les darreres pluges torrencials que finalment sí han arribat amb la tardor de 2024, tot i que encara és massa aviat per saber si es tracta d'un punt d'inflexió o només un breu parèntesi en el context climàtic dels darrers anys.

La sequera hidrològica actual és el resultat, no només d'una sequera meteorològica persistent, sinó també d'un augment

continu dels usos humans de l'aigua en l'àmbit domèstic, agrícola, ramader, industrial i turístic. La baixa disponibilitat d'aigua ha obligat el Govern a imposar temporalment dràstiques reduccions del consum d'aigua, que han afectat especialment el reg agrícola, compromentent les collites i la supervivència d'alguns conreus. Però, aquest dèficit hídric no ha afectat només les activitats humanes, sinó que ha tingut un impacte important en diferents components dels ecosistemes naturals.

En primer lloc, els boscos de Catalunya han patit tres anys seguits de decoloracions, defoliacions o mortalitats d'arbres a gran escala per sequera, amb 66.482 hectàrees afectades el 2023, segons el darrer informe del DEBOSCAT. En segon lloc, associat a aquest dèficit hídric i a l'augment de temperatures, s'han detectat també afectacions importants de plagues i malalties en diferents formacions forestals, tant de zones àrides com humides, i en diferents cultius arreu del territori. En tercer lloc, la combinació de períodes de sequera, onades de calor més llargues i recurrents i l'abandonament progressiu de les activitats rurals, ha fet que la durada del període de risc d'incendi forestal hagi augmentat darrerament a Catalunya, i també la probabilitat que alguns focs esdevinguin grans incendis forestals; aquests focs

són especialment preocupants perquè es comporten de manera molt virulenta. I, per últim, els ecosistemes aquàtics continentals, que han patit una pèrdua de biodiversitat superior al 50% en els últims vint anys, han vist com s'alteraven fortament el seu funcionament i l'estat ecològic per la sequera, i molts rius i rieres s'han assecat completament durant períodes anuals més llargs de l'habitual. Totes aquestes afectacions promouen uns ambients que seran cada cop més àrids, i això té repercussions, no només en la vegetació, com acabem de veure, sinó també en les comunitats d'animals que hi viuen. Ja s'han observat canvis en la distribució d'algunes espècies pròpies d'ambients humits que es poden desplaçar amb certa facilitat (com ara rèptils, ocells i mamífers), situant-se cada cop més al nord i a més altitud, per trobar ambients més frescos. La previsió per a les espècies que també són pròpies d'ambients humits, però que no es poden desplaçar llargues distàncies (com ara molts amfibis i insectes), és que pateixin progressivament més extincions locals, si la tendència climàtica i hidrològica es mantenen.

Totes aquestes conseqüències sobre la vegetació i la fauna es veuran agreujades en les properes dècades a causa del canvi climàtic, que està provocant un increment de

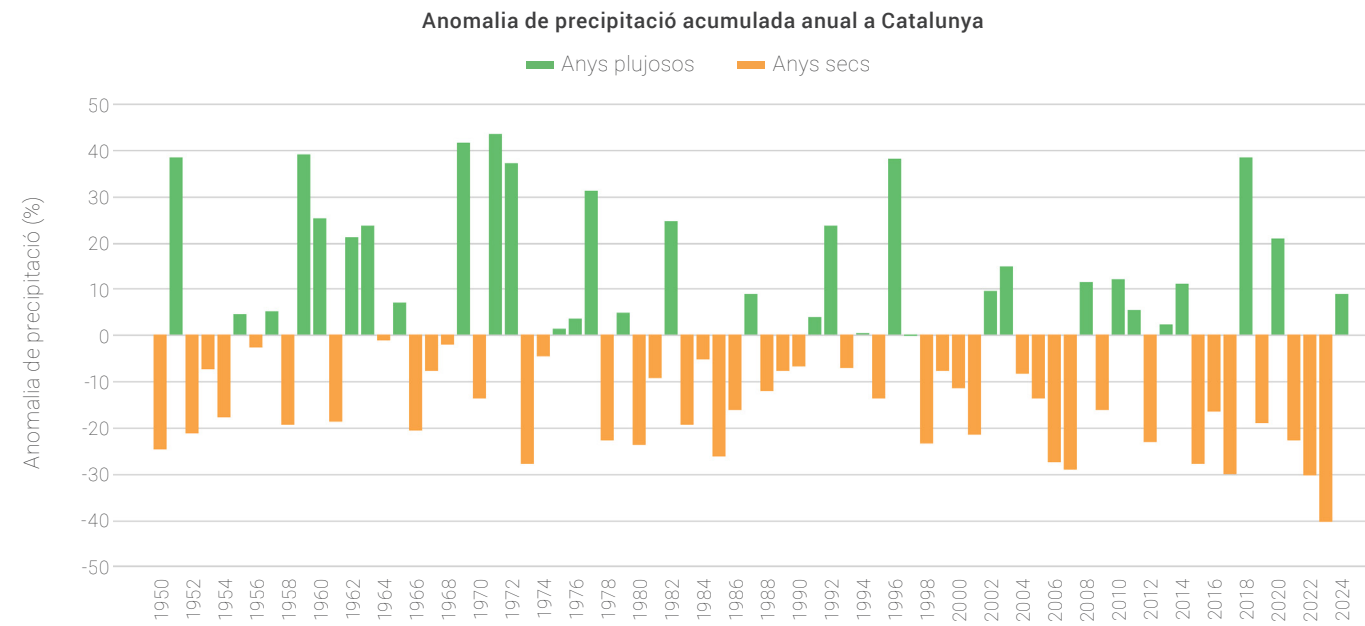


Figura 1. Anomalia de la precipitació acumulada anual a Catalunya respecte al període de referència 1961-1990. Font: *Butlletí anual d'indicadors climàtics 2024*. Servei Meteorològic de Catalunya.

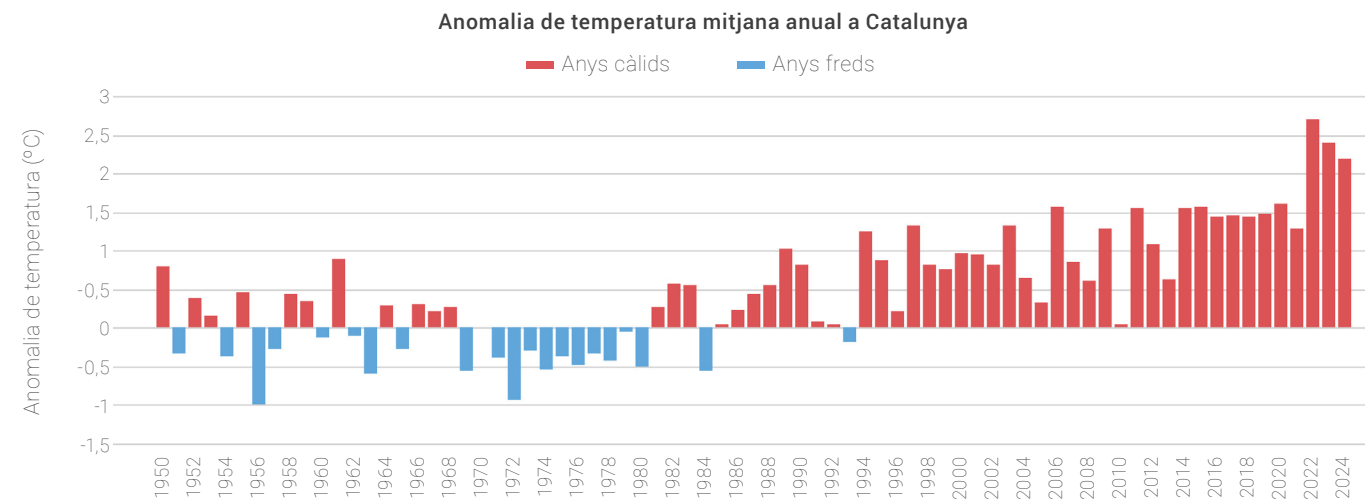


Figura 2. Anomalia de la temperatura mitjana anual a Catalunya respecte al període de referència 1961-1990. Font: *Butlletí anual d'indicadors climàtics 2024*. Servei Meteorològic de Catalunya.

l'ocurrència, la intensitat i la duració dels fenòmens climàtics extrems, com les onades de calor o els llargs períodes sense precipitació. Això porta a un escenari de major aridesa, on cada vegada hi haurà menys aigua disponible pels diferents usos, mentre que la vegetació demandarà més aigua per compensar una atmosfera més calenta i seca. El règim futur de sequeres al Mediterrani és incert i dependrà entre altres factors del balanç entre l'augment regional de l'aridesa, l'augment de precipitacions molt extremes (fenòmens extrems) i els canvis en la circulació atmosfèrica de la conca nord del Mediterrani induïts pel canvi climàtic.

La gestió de l'aigua en aquest context és una tasca difícil i complexa. A Catalunya, aquesta gestió està dividida en dues zones administratives diferenciades; d'una banda, les Conques Internes que són regulades per l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA) i, de l'altra, les Conques Catalanes de l'Ebre, que són regulades per la Confederació Hidrogràfica de l'Ebre (CHE). Si bé en aquesta segona zona les competències administratives corresponen únicament a la CHE (que depèn del Ministeri de Transició Ecològica), la Generalitat té competències sobre la gestió dels regadius i altres aspectes mediambientals, com ara el sanejament de pobles i ciutats, la conservació del medi natural o la planificació territorial. Això fa que, sovint, les aproximacions sobre la gestió de l'aigua entre les dues zones siguin desiguals i fins i tot puguin semblar incoherents. A més, existeix una gran diferència territorial d'usos de l'aigua i del sòl i també de densitat de població, i això fa encara més complicada la regulació coordinada dels diferents patrons de demanda, com són l'abastament urbà, agrícola, ramader, industrial o els usos turístics i recreatius de l'aigua.

Per gestionar tota aquesta complexitat, resulta fonamental fer una planificació integral de l'ús de l'aigua a escala de conca, i en aquest sentit, els boscos hi juguen un paper important, sobretot els de capçalera, com a reguladors del cicle hidrològic. En el passat, moltes aforestacions s'havien justificat amb l'objectiu de protegir el sòl contra l'erosió i protegir també els recursos hídrics, especialment a les capçaleres dels rius. Però, en la situació actual de canvi climàtic, hi ha un debat al voltant

del paper d'aquestes aforestacions, perquè els boscos necessiten cada cop més aigua pel seu funcionament (l'anomenada *aigua verda*) i, per tant, la composició, l'estructura i l'estat dels boscos de capçalera poden condicionar la quantitat d'aigua que arriba als rius i als aqüífers (l'anomenada *aigua blava*). A Catalunya s'estima que els boscos consumeixen (i, per tant, retornen cap a l'atmosfera) aproximadament un 70% de l'aigua rebuda per precipitació, i diverses fonts apunten que l'aigua blava s'està reduint en els darrers anys, almenys a les Conques Internes. En aquest sentit, l'ACA calcula una disminució d'un 5-10% per dècada d'aigua blava al llarg dels darrers 40 o 60 anys i l'informe *Forestime* estima una reducció del 29% entre 1990 i 2014. Aquesta disminució està associada en part al canvi climàtic, per canvis en el règim de precipitacions i de demanda evaporativa, però també a l'expansió i densificació del bosc en les darreres dècades. En els últims vint-i-cinc anys, la superfície total de boscos ha augmentat al voltant d'un 10% i la densitat d'arbres aproximadament un 24%. Aquests boscos nous solen presentar una baixa diversitat d'espècies arbòries i densitats elevades, característiques que els fan molt vulnerables als efectes adversos de diferents pertorbacions com les sequeres, els incendis, o les plagues. L'augment d'aquestes masses forestals en un context cada cop més àrid i calorós pot afavorir, a més, l'aparició de grans incendis, que provoquin el rebliment d'embassaments per erosió de les superfícies cremades, afectant a la qualitat de l'aigua.

Una planificació acurada de la gestió forestal a escala local i regional reduiria la competència dels arbres per l'aigua i faria els boscos menys vulnerables a l'estrès hídric (i de retruc, als incendis forestals i les plagues). Però hi ha un debat sobre si aquesta planificació a escala de cada conca podria ajudar a gestionar millor els recursos hídrics del país. Alguns estudis fets amb models de simulació indiquen que una extracció d'arbres intensa en determina- des capçaleres podria augmentar la provisió d'aigua blava, i que aquest augment podria variar en funció del tipus de vegetació i de sòl que hi hagi i de l'extensió, la intensitat i la continuïtat dels tractaments silvícoles. Altres estudis adverteixen que això només passaria a curt termini, ja que

els arbres no tallats creixen ràpidament cap a l'espai obert generat per l'extracció i, en només quatre anys, poden produir fulles suficients perquè el consum d'aigua verda sigui el mateix que abans de l'actuació. Això implica que, per millorar de manera efectiva la quantitat d'aigua disponible als rius i embassaments caldria fer una gestió forestal realment intensa, extensa i continuada, i això és poc realista des del punt de vista tècnic i econòmic. De fet, s'estima que a Catalunya es gestiona actualment entre un 20% i un 25% de la superfície forestal total. D'altra banda, cal tenir en compte que l'aigua evapotranspirada també té un paper important en el cicle hidrològic, ja que retorna a l'atmosfera i això pot afavorir el règim de precipitacions a diferents escales. A més, cal recordar que la provisió d'aigua és només un dels serveis que ofereixen els ecosistemes i que buscar el màxim rendiment d'un d'aquests serveis sol anar en detriment d'altres igualment necessaris, com la capacitat d'embornal de carboni, la incorporació de la fullaraca al cicle de nutrients, la capacitat del sistema per evitar l'erosió o el manteniment de la biodiversitat que fa possible que tot això passi. Per tant, la planificació de la gestió forestal hauria de valorar i integrar els possibles beneficis i les limitacions del sistema en conjunt, atenent a la necessària multifuncionalitat dels boscos.

Dit això, i admetent que l'aforestació pugui tenir un paper rellevant en la reducció de l'aigua que arriba als rius, els embassaments i els aqüífers, les dades indiquen que la pròpia construcció d'embassaments (que provoquen l'assecamment de molts rius aigües avall) i la sobreexplo- tació dels recursos hídrics són els principals factors que determinen la disponibilitat d'aigua a Catalunya. En general, en el conjunt del territori català les demandes d'aigua sovint no s'ajusten a la renovació d'aquest recurs, i això provoca una situació d'escassetat hídrica que es cronifica cada vegada que es produeix una reducció de la precipitació. L'ACA considera que a les Conques Internes hi ha un dèficit anual de 160 hm³, aproximadament el volum de l'embassament de Sau a la seva màxima capacitat, i caldria esperar un dèficit encara major si al canvi climàtic

s'hi afegeix el creixement demogràfic continu dels darrers anys i l'augment de la demanda d'aigua pera a les activitats industrials i agrícoles. A més, encara que en l'actualitat les administracions hidràuliques tenen establerts uns cabals ecològics per mantenir els hàbitats i la connectivitat entre masses d'aigua i posen uns límits a l'explotació dels aqüífers, sovint aquests límits no són suficients des del punt de vista ecològic i ni tan sols es respecten. En les zones litorals, on es concentren moltes de les grans demandes d'aigua, la disminució dels cabals dels rius en els últims anys ha fet que els aqüífers siguin més vulnerables a la contaminació per intrusió salina, a més d'haver de fer front als contaminants provinents d'alguns usos industrials, agro-ramaders i domèstics, que també tenen un paper clau en la baixa qualitat dels recursos hídrics.

Per tant, manca encara incorporar adequadament els riscos i efectes associats al canvi climàtic en la planificació habitual de la gestió de l'aigua. A més, falta connectar aquesta planificació amb la d'altres polítiques importants, com les de l'agricultura, els boscos, l'urbanisme, el turisme o la indústria, i establir de forma clara quins han de ser els usos prioritaris de l'aigua, per garantir-los especialment en moments d'escassetat d'aigua.

En aquest sentit, els Plans Especials de Sequera poden ser una eina útil per gestionar una emergència puntual. Concretament, el *Pla Especial de sequera de Catalunya* elaborat per l'ACA pot considerar-se un avenç, especialment, comparat amb el *Plan especial de sequías de la demarcación hidrográfica del Ebro*, elaborat per la CHE, que únicament determina uns índexs de sequera i no inclou una proposició d'eines de gestió concretes. No obstant això, si aquests plans de sequera no van acompanyats d'adaptacions en els models de producció agrícola, ramader i forestal, així com de plans urbanístics i de regulació d'usos industrials o turístics que siguin compatibles tant amb els recursos hídrics disponibles com amb l'activitat econòmica al territori, no seran suficients per generar resiliència a llarg termini enfront d'un clima canviant.

MISSATGES CLAU

Bosc*os* i matollars

- La sobreexplotació dels recursos hídrics comporta un augment de l'estrès hídric per a moltes parts del territori, especialment durant l'estiu i en períodes de sequeres continuades.
- En els darrers anys els efectes de la sequera s'aprecien arreu de Catalunya, però no són homogenis. Alguns ecosistemes, algunes espècies i alguns individus suporten les sequeres millor que altres.
- Els boscos i els matollars són sensibles a les sequeres llargues i intenses. Els arbres i els arbustos es debiliten i poden acabar morint, sovint per l'impacte afegit de diferents plagues.
- La mortalitat i la defoliació d'arbres fan que el bosc tendeixi a ser més obert i que el nombre d'arbres o arbustos de les espècies menys resistents vagi minvant de manera progressiva. En conseqüència, sovint no s'observa una recuperació total de l'estat previ a la sequera.
- La mortalitat d'alguns arbres i arbustos genera espais oberts i fusta morta. Això crea una major disponibilitat de recursos per als supervivents i per a l'establiment de noves espècies, així que la sequera no provoca necessàriament una pèrdua neta de biodiversitat.
- En el moment de planificar la gestió del bosc, cal tenir en compte la conveniència d'accions com promoure la diversitat d'espècies, sobretot les més resistents a la sequera, reduir la densitat d'arbres o augmentar la connectivitat entre ecosistemes.
- Les sequeres solen afectar primer la vegetació i, a partir d'aquí, es desencadenen canvis en la disponibilitat d'aliment a tots els nivells de la xarxa tròfica (frugívors, herbívors, carnívors, detritívors i descomponedors).
- Els riscos de les sequeres sobre les espècies animals està subestimat. Això és particularment cert per a grups sensibles a l'aigua, com els amfibis.
- Les afectacions locals a la fauna per sequera poden tenir repercussions a escala regional o global, per exemple, en la quantitat d'espècies migradores que poden arribar després a altres regions o continents.
- En temps de sequera, els microambients més humits actuen com a refugis climàtics per a diverses espècies i, per això, cal preservar-los.
- Malgrat que es coneix molt poc encara sobre la biodiversitat dels sòls agrícoles i forestals i el seu paper en l'ecosistema, se sap que les sequeres redueixen molt ràpidament l'abundància dels microorganismes i animals que viuen al sòl.
- En conseqüència, les sequeres redueixen les taxes de descomposició i reciclatge de nutrients.
- Tanmateix, en general, les poblacions d'aquests organismes tenen una capacitat de recuperació alta.
- Si la sequera s'allarga, la pèrdua de fertilitat del sòl pot comprometre encara més la producció vegetal i, en darrer terme, la capacitat d'embornal de carboni dels ecosistemes.
- Resulta difícil predir la resposta de la biodiversitat del sòl en un escenari de sequeres cada cop més llargues, intenses i freqüents.

Ambients d'aigües continentals

- La reducció i la pèrdua de cabal a causa de la sequera provoca una major desconexió de les masses d'aigua en els rius i canvis en el temps de permanència de l'aigua en estanys i basses.
- Les sequeres llargues o intenses poden fer que alguns rius permanents esdevinguin temporals, i que alguns rius temporals allarguin el temps que romanen sense aigua. Aquest efecte és molt evident també en estanys i basses d'ambients mediterranis.
- Tots aquests efectes solen implicar una davallada de la diversitat i de l'abundància de peixos, amfibis i macroinvertebrats aquàtics, tant en aigües corrents com en estagnants.
- L'impacte sobre cada espècie d'aquesta desconexió i reducció de les masses d'aigua depèn de les característiques particulars de cada espècie.
- Les poblacions d'espècies que es troben als marges de la seva distribució natural solen ser les més vulnerables als episodis extrems de sequera.
- La sequera redueix la disponibilitat d'hàbitats aquàtics i concentra les poblacions de diferents espècies en espais més limitats i aïllats.
- Això, afavoreix la concentració de contaminants i de les interaccions biològiques, com ara la depredació, la competència i la transmissió de malalties.
- La sobreexplotació dels aquífers és capaç d'intensificar molt els efectes de la sequera en la biodiversitat aquàtica, especialment si la sequera és intensa, duradora o reiterada.
- L'efecte combinat de les sequeres i altres alteracions de la dinàmica fluvial causades per les activitats humanes afavoreix les espècies generalistes de cicles de vida curts i poc singulars, que prefereixen llacs i embassaments i que no toleren cabals forts, com és el cas de la majoria d'espècies invasores.
- Les espècies invasores afegeixen un altre factor d'estrès a l'augment de les interaccions biològiques i poden condicionar la resiliència de la fauna autòctona.
- Els períodes d'extrema sequera afecten especialment les basses permanents, ja que les espècies que hi viuen solen tenir un cicle de vida llarg i no hi poden sobreviure. D'altra banda, aquests punts són un refugi clau per espècies de cicle més curt en les fases més dures de la sequera.
- Els hàbitats d'aigües corrents, i especialment els situats en les capçaleres de rius petits mediterranis, són també molt vulnerables als episodis de sequera, perquè han estat ambients molt estables durant milers d'anys i les espècies que hi viuen no han desenvolupat mecanismes potents de dispersió.
- Les basses i estanys de mida petita també són vulnerables en els períodes de sequera, ja que depenen gairebé exclusivament de l'aigua de pluja a escala local.
- L'acció combinada dels diferents factors d'estrès causats per la sequera pot eclipsar l'efectivitat de les adaptacions de les espècies i posar en risc la resiliència de les poblacions locals de peixos, amfibis i macroinvertebrats aquàtics en els rius, rieres, basses i estanys de Catalunya.

- És fonamental promoure mesures que mantinguin la connectivitat espacial i respectar el règim natural dels cabals.
- Cal trobar els llindars a partir dels quals els efectes de la sequera sobre la biodiversitat són irreversibles, com és el cas de moltes lleres seques, després de sequeres recurrents, perden l'hàbitat aquàtic i amb ell les espècies associades.
- En condicions de sequera, els efluents de depuradora poden contribuir al mantenir els cabals ecològics en rius permanents, tot i que cal aplicar-los amb mesura, perquè la qualitat de les aigües dels efluents encara és molt millorable.
- Cal limitar molt les aportacions d'aigua als rius temporals, per no empitjorar la situació de la fauna adaptada a l'alternança de fases hidrològiques seques i humides.

Ambients de transició entre el medi aquàtic i el terrestre

- Les sequeres provoquen canvis en la disposició dels hàbitats i microhàbitats tant aquàtics com terrestres, i això pot tenir conseqüències en cascada en tots tipus d'ambients.
- Les sequeres provoquen una baixada del nivell de l'aigua en molts ambients aquàtics. Això comporta una reducció de les poblacions d'insectes semiaquàtics que, alhora, impliquen una reducció de la disponibilitat de preses per a diferents animals insectívors terrestres.
- La retirada de l'aigua deixa al descobert moltes lleres seques que afavoreixen l'arribada d'invertebrats i plantes terrestres i el pas de diferents vertebrats que les fan servir com a corredors biològics.
- La reducció del cabal i del nivell freàtic pot tenir efectes en la supervivència i la regeneració de la vegetació del bosc de ribera, acostumada a viure amb molta aigua i molta humitat.
- És important fer una bona gestió de l'aigua en cultius d'alta demanda hídrica, com els arrossars, per esmor-teir l'impacte de la sequera en la biodiversitat aquàtica i terrestre. El reg intermitent limita l'èxit reproductiu de diferents organismes terrestres (com ara algunes aranyes, libèl·lules i ocells insectívors).
- Moltes basses properes a les xarxes fluvials seques o parcialment seques son reservoris de biodiversitat, perquè diferents espècies d'animals les utilitzen com a refugis en temps de sequera. Aquesta funcionalitat depèn de que hi hagi una connexió lateral freqüent entre el riu i aquestes basses.

EFFECTES DE LES SEQUERES EN BOSCOS I MATOLLARS

Com son els boscos de Catalunya

A l'inici del segle XX, l'extensió i la intensitat de les activitats agrícoles, ramaderes i d'explotació forestal havia fet que les muntanyes de Catalunya tinguessin una baixa cobertura vegetal. A partir de la segona meitat del segle, amb la industrialització del país, l'ús de nous materials de construcció i de noves fonts d'energia, la tecnificació de l'agricultura i els moviments demogràfics de les zones rurals a les urbanes, la major part d'aquestes activitats i els conreus marginals es van anar abandonant progressivament i el bosc va tornar a ocupar el territori de manera massiva. Des de la dècada de 1950, la superfície arbrada de Catalunya ha crescut aproximadament un 25%. Aquests canvis han fet que aproximadament la meitat del país estigui ocupada per matollars arbrats i per boscos joves i densos, amb una forta competència per l'aigua. Així doncs, una gran part dels boscos de Catalunya no han

tingut temps encara per assolir una estructura de bosc madur i no compten amb prou arbres de diferents mides i edats, amb clarianes, ni amb una presència suficient de fusta morta, en peu i caiguda, elements que són molt importants per afavorir la biodiversitat i la resiliència del bosc davant els canvis ambientals.

A tot aquest context cal afegir que, des del final del segle XX, l'augment de la temperatura associada al canvi climàtic està fent que les plantes necessitin més aigua i també que se succeeixin onades de calor i episodis de sequera cada cop més intensos i més llargs. Tot plegat fa que els boscos actuals siguin més vulnerables a les sequeres que fa unes dècades i que els paisatges forestals comencin a patir canvis en la composició d'espècies i en el tipus de comunitats vegetals que formen.

La sequera, un potent factor de canvi de boscos i matollars

L'impacte de la sequera sobre la biodiversitat dels boscos i matollars es pot abordar des de diferents punts de vista, però els arbres són les plantes que mostren aquest impacte de manera més evident, com es pot veure en els seus anells de creixement. En períodes de sequera, els arbres tendeixen a tancar els porus de les fulles pels quals absorbeixen carboni (els estomes) per evitar la pèrdua d'aigua. Tancar bona part dels estomes fa que gairebé no es pugui fer la fotosíntesi i, per tant, l'arbre alenteix o inclús atura el seu creixement. Això es reflecteix directament en la mida dels anells de creixement, de manera que els anells més fins indiquen que aquell any l'arbre probablement va patir una manca d'aigua important. Quan la manca d'aigua comença a ser intensa, els efectes es fan cada cop més evidents. Les sequeres poden provocar des d'una simple decoloració o pèrdua de fulles en la vegetació fins a una mortalitat considerable d'algunes espècies. Com més intenses, més llargues i més freqüents siguin les sequeres,

major seran els efectes sobre la vegetació i la mortalitat d'arbres. És important remarcar que aquests processos són complexos i que hi intervenen diversos factors. Sovint, a més, la manca d'aigua i l'increment de les temperatures debiliten les plantes i alhora afavoreixen l'acció i la multiplicació d'alguns insectes i altres organismes patògens, que poden acabar esdevenint plagues i contribuir decisivament a la mortalitat d'arbres i arbusts.

Cal dir que no totes les espècies sensibles a la sequera reaccionen igual davant dels diferents episodis. Si les sequeres són curtes o de baixa intensitat, les coníferes (com ara pins, xiprers o càdec) les suporten millor que els planifolis, perquè tanquen de seguida els estomes i així perden l'aigua més lentament. En canvi, els planifolis (com ara alzines, roures i faigs), tot i ser més sensibles a les sequeres a curt termini, sovint tenen una major capacitat que les coníferes de resistir sequeres llargues i intenses, perquè poden

rebrotar encara que s’hagi defoliat o mort la part visible de l’arbre. D’altra banda, no tots els arbres tenen les mateixes possibilitats de morir per sequera, i els que resisteixen acaben alliberant-se d’una part de la competència per l’aigua que abans els feien els arbres veïns.

De sequeres n’hi ha hagut moltes a Catalunya al llarg de la història, perquè són un tipus de pertorbació força habitual en les zones de clima mediterrani. Tant és així que moltes espècies de plantes hi estan adaptades, sobretot en els ecosistemes més àrids del país. Però la seva freqüència i intensitat està augmentant en les darreres dècades i totes les previsions climàtiques indiquen que les sequeres seran cada cop més intenses i recurrents. En aquestes condicions, els mecanismes d’adaptació poden no ser suficients perquè les plantes puguin superar la manca d’aigua present i futura.

El programa de seguiment de l’estat de salut dels boscos de Catalunya (DEBOSCAT) constata que durant la darrera sequera de llarga durada que ha patit la major part del país, que va començar el 2021 i ha durat fins a la primavera de 2024, en molts boscos s’ha enregistrat una alta mortalitat d’arbres. A mitjà i llarg termini, la repetició d’episodis similars pot provocar canvis dràstics en la distribució de les espècies d’arbres i arbustos i en la composició del paisatge, en favor de les espècies més resilients a la baixa disponibilitat d’aigua. La situació és especialment compromesa per a les espècies com el pi roig o el faig, que són pròpies de zones més humides a Europa i que a la península Ibèrica es troben en el seu límit sud de distribució. En moltes àrees de muntanya, aquestes espècies estan començant a ser substituïdes per alzines i carrasques, més resistents a les sequeres, o per matollars i brolles, formacions vegetals que són més típiques del clima mediterrani. A les zones més seques del litoral i del sud del país, sovint és precisament l’alzina l’espècie que resulta més afectada per les sequeres, mentre que falsos aladerns, ullastres o llentiscles mostren una major resiliència. Amb molta probabilitat, aquestes dinàmiques de substitució d’espècies seran la tònica general en els paisatges de Catalunya durant les pròximes dècades.

Cal aclarir, però, que en ocasions les sequeres poden afavorir els espais oberts i ambients marcadament mediterranis, i de retruc, també tota la fauna associada que hi viu. En aquests casos, el declivi d’algunes espècies per la pèrdua de cobertura arbòria podria compensar-se amb l’increment d’altres espècies més pròpies d’espais oberts. Per tant, fins on sabem, les sequeres estan induint un canvi, més que una pèrdua neta de biodiversitat, en els nostres boscos i matollars.

Tots aquests canvis en les condicions climàtiques de boscos i matollars poden provocar alteracions en el funcionament d’aquests espais com a ecosistemes i, de retruc, en els serveis ecosistèmics dels quals els humans ens beneficiem. Aquestes alteracions poden tenir un impacte negatiu en alguns serveis i alhora positiu en uns altres. Els impactes de les sequeres en els fluxos d’aigua i de carboni poden ser molt importants a curt termini, però a llarg termini, depenen bàsicament de la capacitat de regeneració de cada espècie i de si aquesta capacitat permet recuperar l’ecosistema que hi havia abans de la pertorbació. Els models de dinàmica forestal de què disposem indiquen que al llarg del segle XXI augmentarà la taxa de mortalitat dels arbres (considerant totes les espècies en conjunt) i que aquesta pèrdua d’individus pot reduir de manera important la capacitat que tenen els boscos i els matollars de capturar diòxid de carboni de l’atmosfera. Això implicarà un empitjorament de les condicions climàtiques i la gestió forestal només serà eficaç si aconsegueix adaptar-se a aquest nou escenari.

Cal tenir present que, quan la mortalitat és relativament alta, els arbres morts poden augmentar de manera transitòria el risc d’incendi forestal. Al cap d’un any, però, gairebé totes les fulles i els branquillons més petits (la part més inflamable) s’hauran integrat en la virosta o el sòl, si les condicions d’humitat ho permeten. De fet, en el primer any la quantitat de fusta morta de mida petita que es descompon pot arribar al 30% i pràcticament al 100% en només cinc anys. Aquestes xifres depenen evidentment de cada espècie i de les condicions particulars i meteorològiques de cada indret. De fet, quan les sequeres són molt persistents, la manca d’humitat fa que la integració de la fullaraca en el sòl sigui molt més lenta.

Algunes sequeres han arribat a augmentar fins a un 80% la quantitat de fusta morta, un element clau per assolir la maduresa del bosc. La fusta morta en descomposició ajuda a retenir la humitat del sòl, i això sol afavorir tant la resistència a futures sequeres com la diversitat de plantes i altres organismes del sotabosc. De manera molt general, s’estima que, a Europa, la quantitat mitjana de fusta morta necessària per a garantir la biodiversitat que porta associada hauria d’estar al voltant dels 15 metres cúbics per hectàrea. Per al conjunt d’Espanya, actualment s’estima que la fusta morta està només al voltant dels 4,5 metres cúbics per hectàrea i no hi ha dades específiques per a Catalunya.

De manera paradoxal, per tant, la mortalitat d’arbres per sequera podria ajudar a millorar la maduresa del bosc, la biodiversitat i la seva resiliència. D’entrada, perquè la

fusta morta i els espais oberts fan que el bosc tingui una estructura més heterogènia. Això és molt evident quan mor un arbre gran que cau a terra i obre una clariana, però estudis recents indiquen que fins i tot els arbres de mida més petita poden ser importants en aquest procés. Això és especialment rellevant tenint en compte la joventut i la densitat general dels boscos de Catalunya i que, com s’ha dit abans, s’està observant un procés d’expansió d’espècies més resistents a aquest tipus de pertorbació. La presència de fusta morta és molt important per a espècies molt diferents, com els picots, alguns ratpenats, els rèptils, els amfibis, els insectes xilòfags i els organismes descomponedors. Això fa que la fusta morta es pugui utilitzar com un indicador de la biodiversitat potencial, però encara tenim una manca important de dades pel que fa a Catalunya i al conjunt de la regió Mediterrània.

Efectes de les sequeres sobre els processos ecològics i les interaccions biològiques

Els processos ecològics que permeten el funcionament de qualsevol ecosistema depenen majoritàriament de la complexa xarxa d’interaccions que es genera entre els organismes que formen part de l’ecosistema. Per això, les variacions en variables tan transversals com la temperatura o la precipitació poden provocar un seguit d’afectacions en cadena que derivi en el creixement o el declivi de les poblacions d’algunes espècies poc dependents *a priori* d’aquests paràmetres climàtics.

La sequera redueix inicialment la capacitat que té la vegetació per créixer, mantenir-se o produir fruits i llavors, i pot debilitar o matar un nombre considerable de plantes. Això implica un canvi en la disponibilitat d’aliment per a les espècies herbívores, granívores i frugívores, i a partir d’aquí, els canvis es poden propagar en diferit a tots els nivells de la xarxa tròfica (herbívors,

depredadors i descomponedors), perllongant així els efectes de la sequera més enllà del que dura la pertorbació. Un exemple d’aquest mecanisme és l’efecte de la sequera sobre la producció de glans en rouredes i alzinars mediterranis, on aquests fruits són una peça clau en la xarxa tròfica, perquè formen part de l’alimentació de grups zoològics tan variats com insectes, còrvids, rosegadors i ungulats. La sequera pot fer que roures i alzines produeixin menys flors femenines i glans més petites, i això pot reduir de manera notable la disponibilitat d’aliment per als seus principals consumidors, com el ratolí de bosc. La disminució de glans acaba reduint les poblacions d’aquest rosegador i, com que aquesta espècie és alhora una font important d’aliment per a molts depredadors diferents (com ara l’aligot comú, el gamarús, la fagina o la geneta), sovint les poblacions d’aquests depredadors se n’acaben ressentint.

És lògic pensar que la reducció d'aliment provocada per la sequera tindrà efectes més importants en les espècies especialistes pel que fa a l'alimentació i les que tinguin disponible poc aliment alternatiu, però en general, manca molta informació sobre els canvis que aquesta pertorbació genera en les taxes de reproducció i supervivència de les diferents espècies al llarg de la xarxa tròfica, i caldria més recerca per validar aquesta hipòtesi. A més, les dinàmiques desencadenades en aquesta transmissió d'afectacions són força complexes i sembla que no sempre són des de les espècies consumides o depredades cap a les que se les mengen, de manera que els canvis en les poblacions d'espècies que estan més amunt a la xarxa tròfica també poden tenir conseqüències sobre les que ocupen nivells inferiors a la xarxa tròfica.

Tot i que els episodis de sequera puguin quedar circumscrits a una escala local, poden derivar en afectacions a escala regional o global. Per exemple, la sequera a la Mediterrània comporta menys abundància d'insectes, dels quals en depenen moltes espècies d'ocells en diferents etapes del seu cicle vital, com ara durant el període reproductiu. Això pot fer que algunes de les poblacions d'ocells migratoris arribin amb pocs individus als seus destins d'hivern en altres parts del planeta, afectant de retruc les poblacions dels seus depredadors i dels seus competidors en regions llunyanes.

A conseqüència de les sequeres, doncs, aquesta disminució d'insectes també afecta els nivells més baixos de la xarxa tròfica i de retruc a tot l'ecosistema. La manca de recursos tròfics determina no només l'èxit reproductiu d'una espècie sinó que afecta la condició corporal. Els cossos en pitjors condicions tenen menys capacitat de fer front a la depredació i, en grups com els amfibis i els rèptils, això determina la probabilitat de superar la hibernació amb òptimes condicions per afrontar la reproducció.

També cal tenir present que les sequeres poden no afectar per igual totes les zones d'un bosc o d'un matollar, i sovint les zones amb microclimes particulars que mantenen cert

grau d'humitat poden actuar com a refugis climàtics per a diferents espècies. En matollars, pinedes, alzinars i boscos mixtos de Sant Llorenç de Munt i l'Obac s'ha pogut veure que, en situació de sequera, tant l'abundància com la riquesa d'espècies d'ocells són majors a les zones pròximes als punts d'aigua i els fons de vall, que no pas en hàbitats més exposats a aquesta pertorbació. Per tant, és necessari preservar aquests refugis perquè les espècies puguin afrontar aquestes situacions d'estrès ambiental i, posteriorment, recolonitzar les àrees vacants.

Es desconeix si aquest efecte de refugi es dona també en espais oberts i en zones molt transformades o degradades, com solen ser els espais periurbans. La urbanització del sòl en aquests espais genera una fragmentació del paisatge que fa que els hàbitats siguin més petits i, com més petits, més difícil és que actuïn com a reservoris i connectors de la biodiversitat.

D'espais periurbans n'hi ha molts a la Regió Metropolitana de Barcelona, on l'abundància del conjunt d'ocells ha mantingut una tendència estable en els darrers vint anys, excepte en el cas dels ocells d'espais oberts naturals. En canvi, les poblacions de papallones han sofert una regressió notable, especialment en espais protegits. Les espècies pròpies de prats són les que han sofert una davallada més evident, i també les especialistes (les que fan servir un nombre més limitat de recursos), fet que segurament evidencia un deteriorament ecològic dels hàbitats. La situació no és millor en els Espais d'Interès Natural (PEIN), que no han aconseguit millorar les tendències generals d'ocells o papallones, malgrat que estan destinats a la conservació de la biodiversitat.

Cal recordar que les papallones tenen un paper essencial en la pol·linització de moltes plantes silvestres i agrícoles i, ahora, formen part fonamental de la dieta de molts aràcnids, amfibis, rèptils, ocells i ratpenats. Per això, és lògic pensar que la davallada que registren les poblacions de papallones a Catalunya des de fa dècades hauria de tenir repercussions sobre la vegetació, i també sobre

les poblacions dels depredadors d'aquests insectes, però falten estudis que corroborin aquesta lògica, tant en hàbitats forestals com en espais oberts i agrícoles. Tanmateix, tenint en compte que els períodes de sequera són propis i habituals dels ecosistemes mediterranis, semblaria que les espècies (i les seves interaccions) haurien d'haver desenvolupat mecanismes d'adaptació i resiliència i que, un cop passat l'episodi, haurien de ser capaces de refer-se. Però, el règim de sequeres està canviant i encara no hi ha prou informació de l'impacte a llarg termini de les sequeres de llarga durada, intenses o recurrents sobre aspectes com la mortalitat de les plantes o la producció de fruits. Així, encara no és possible saber quina és la capacitat de càrrega de l'ecosistema per suportar aquests episodis de manca d'aigua.

Un estudi recent revela que les poblacions d'espècies de papallones pròpies d'ambients àrids i les d'espècies d'ocells pròpies d'ambients humits estan disminuint més ràpidament que la resta. El mateix treball apunta que la precipitació (o la seva absència) té un efecte més fort que la temperatura en els canvis poblacionals d'aquests grups d'organismes, especialment en els ocells, i que la disponibilitat d'aigua (que és resultant de la interacció entre precipitació i temperatura) és un factor clau per interpretar aquests canvis a la regió mediterrània, tot i que els impactes d'aquesta disponibilitat poden ser molt variats entre diferents grups animals. Altres estudis indiquen la importància d'altres factors no climàtics derivats de les activitats humanes (com l'abandonament de pastures o l'augment de l'agricultura intensiva) que condicionen la disponibilitat d'aigua. La interacció entre aquests factors i els climàtics és tan complexa que costa molt discernir clarament el pes que pot tenir estrictament la sequera en la resposta de les poblacions animals a l'estrès ambiental. A més, la major

part dels estudis fets amb papallones i ocells en relació amb els efectes dels factors ambientals sobre les seves poblacions es basen en el canvi climàtic en sentit ampli (temperatura i precipitació) i no tant en el fenomen de la sequera en particular. Així doncs, es constata un cert buit de coneixement sobre l'efecte directe de la sequera en els principals grups faunístics bioindicadors, en els hàbitats mediterranis.

D'altra banda, se sap que no tots els impactes de les sequeres impliquen una reducció de la biodiversitat. Com ja s'ha comentat anteriorment, quan les afectacions generen quantitats importants de fusta morta, aquesta fusta ofereix nínxols ecològics diferents i molt valuosos per a determinades espècies d'invertebrats i pels seus depredadors, com ocells insectívors, amfibis, rèptils, etc. A més, l'obertura de clarianes per la caiguda d'arbres pot afavorir l'entrada d'espècies pròpies d'ambients oberts, especialment mediterrànies, aportant diversitat al conjunt del bosc.

Finalment, cal no oblidar que hi ha diferents factors, com els llegats històrics, la complexitat dels ecosistemes i altres factors de canvi ambiental, que poden influir molt en aquesta capacitat de recuperació. Per exemple, ecosistemes que han experimentat episodis de sequera en el passat poden tenir una resiliència diferent de la d'aquells que no han estat mai exposats a aquest tipus de pertorbació i, per tant, les espècies de zones amb una història de sequeres recurrents poden haver desenvolupat adaptacions físiques i de comportament que millorin la seva capacitat de recuperació. En aquest sentit, l'estudi de la resiliència i la recuperació d'espècies i processos ecològics després de sequeres llargues, intenses o recurrents és fonamental per entendre els impactes a llarg termini del canvi climàtic en aquests processos.

Efectes de les sequeres sobre la biodiversitat del sòl

La biodiversitat que conformen els organismes que viuen al sòl (*biodiversitat edàfica*) juga un paper clau en el funcionament dels ecosistemes. Són els principals agents responsables del reciclatge de nutrients procedents de la matèria orgànica morta i, per tant, regulen el cicle dels elements com el carboni, el nitrogen o el fòsfor, tant si es tracta d'un sòl natural o d'un sòl destinat a l'agricultura o la ramaderia. La importància d'aquest paper resulta fàcil d'entendre si tenim en compte que la diversitat d'organismes (sobretot, microorganismes i petits animals) que viuen en qualsevol sòl és extraordinàriament rica i abundant, en comparació amb la dels organismes que viuen a sobre del mateix sòl.

Malgrat aquest paper cabdal en el funcionament dels ecosistemes, es coneix encara molt poc sobre la biodiversitat dels sòls forestals i agrícoles, en comparació amb el que sabem de les comunitats que viuen a sobre del sòl. Això és degut en part a aquesta extraordinària diversitat, que comporta una complexitat taxonòmica que fins ara ha estat pràcticament inabastable. De fet, és tan gran que sovint ni tan sols podem parlar d'espècies en sentit habitual, si no de taxons, bé perquè arribar a identificar els organismes a escala d'espècie resulta molt difícil, o bé perquè els mecanismes de transmissió genètica entre microorganismes segueixen regles i patrons diferents dels que corresponen a les espècies i, simplement, no hi encaixa aquesta denominació.

El desenvolupament de noves tècniques moleculars com els codis de barres genètics, junt amb el desenvolupament de llibreries genètiques de referència cada cop més exhaustives, està accelerant la nostra capacitat de caracteritzar aquestes comunitats altament complexes i investigar quines són les seves dinàmiques naturals i les seves respostes als factors de canvi global.

Tanmateix, actualment disposem d'evidències sòlides que demostren que la manca d'aigua de seguida redueix de manera generalitzada l'abundància dels organismes del sòl. Les comunitats microbianes en solen resultar afectades, en

primer lloc, i els impactes reverberen ràpidament a través de les xarxes tròfiques edàfiques, afectant amb posterioritat altres organismes com la *fauna edàfica*. Els animals que viuen al sòl són principalment grups d'invertebrats, com ara cucs de terra, nematodes, àcars, col·lèmbols i multituds d'insectes, i presenten estratègies molt variades per fer front a les restriccions d'aigua. Per exemple, els col·lèmbols, un dels grups d'artròpodes dominants al sòl, estan especialitzats a viure en diferents fondàries. Les espècies més epigees, és a dir que viuen més a prop de la superfície, presenten adaptacions per resistir la sequera i són alhora força mòbils i eficients en la cerca de nous microhàbitats més favorables que els hi permetin suportar la sequera. No obstant això, els col·lèmbols i, en general, la resta de la fauna del sòl que viuen a major fondària responen a la manca d'aigua migrant en vertical cap a horitzons més profunds, els quals mantenen la humitat per més temps. Si la sequera s'allarga, aquests organismes que viuen a més fondària queden sense escapatòria possible.

Aquesta sensibilitat i vulnerabilitat es compensa sovint amb una gran resiliència, ja que després dels episodis de sequera, la biodiversitat del sòl tendeix a recuperar-se en poc temps fins que les poblacions dels diferents tàxons assoleixen les abundàncies que tenien abans de la pertorbació. Amb el coneixement que tenim fins ara, però, resulta difícil predir si aquesta resiliència poblacional continuarà sent habitual en l'actual escenari de canvi climàtic, en el qual les sequeres són cada cop més llargues, intenses i freqüents.

D'altra banda, la sequera causa sovint la pèrdua de sòl per erosió, a causa de la pèrdua de coberta vegetal, i en fer-ho, provoca també la pèrdua de biodiversitat del sòl, reduint les taxes de descomposició de matèria orgànica morta i desaccelerant, per tant, el reciclatge dels nutrients dels ecosistemes. La reducció en l'aportació de nutrients disminueix la fertilitat dels sòls i pot repercutir en la producció primària neta dels ecosistemes naturals i en la capacitat productiva dels agroecosistemes. En últim terme, pot disminuir també la capacitat d'embornal de carboni tant dels sòls agrícoles com forestals.

La prevenció dels efectes de les sequeres sobre la biodiversitat del sòl és particularment difícil. El projecte europeu *Holisoils* té com a objectiu investigar com diferents estratègies i pràctiques de gestió forestal, amb o sense pertorbacions, repercuteixen en la biodiversitat i la funcionalitat dels sòls. A Catalunya, un dels llocs d'estudi d'aquest projecte contempla l'efecte de la sequera, però encara no hi ha resultats disponibles. D'altra banda, pel que fa a la restauració de la funcionalitat d'ecosistemes empobrits o degradats, existeixen molt poques experiències que tinguin un enfocament, encara que sigui parcial, envers la biodiversitat dels sòls. Una de les experiències destacades en aquest sentit és el projecte *Life Nieblas*, que ha instal·lat una sèrie de xarxes captadores de boira en zones reforestades de diferents països per reconduir la humitat de les boires cap al terra, millorant així la humitat del sòl. Finalment, en terrenys degradats, abocadors clausurats i activitats extractives abandonades, com mines i pedreres, hi ha diverses experiències de restauració ecològica que se centren

en l'aplicació d'esmenes orgàniques (com fangs de depuradora o diferents productes de compostatge), o fins i tot en reconstruccions totals de sòls (tecno-sòls). L'objectiu d'aquestes esmenes és millorar l'estructura i la porositat del sòl i, en conseqüència, la seva capacitat de retenir aigua i permetre que es recuperin les comunitats d'organismes del sòl i que les plantes hi creixin. Malgrat tot, queda molt per saber sobre si aquestes reduccions dràstiques de les abundàncies d'organismes del sòl provocades per la sequera acaben derivant o no en pèrdues permanents de la diversitat d'aquests organismes, o de les funcions que fan a l'ecosistema. Tampoc no se sap encara quins grups dins de les comunitats del sòl són els més vulnerables. En aquest mateix sentit, manca encara molt coneixement sobre els mecanismes que relacionen la biodiversitat del sòl amb les funcions del sòl, tant en l'àmbit forestal com en l'àmbit agrícola i ramader. Sense aquest coneixement, és molt difícil predir els efectes de la sequera sobre els sòls i adaptar les pràctiques compensatòries de manera adient.

EFECTES DE LES SEQUERES EN AMBIENTS D'AIGÜES CONTINENTALS

Dinàmica dels ecosistemes fluvials a Catalunya

Les característiques pròpies del clima mediterrani fan que un alt percentatge dels rius de Catalunya esdevinguin temporals, amb dues *fases hidrològiques* anuals ben diferenciades: la fase humida (generalment, durant les estacions de tardor, hivern i primavera) i la fase seca (durant l'estiu). La predictibilitat d'aquesta alternança de fases ha permès l'adaptació dels cicles de vida de moltes espècies per fer front a la manca d'aigua estival. Tanmateix, les variacions en l'inici i la durada de la fase seca comporten anys més secs que altres i, a vegades, això pot posar en risc l'èxit evolutiu d'aquestes adaptacions i, el que és pitjor, la supervivència de les espècies que no siguin prou plàstiques per fer front a llargs episodis de sequera.

L'efecte més evident de la sequera hidrològica estival és la desconexió i fragmentació de l'hàbitat en els rius temporals, però també en molts rius petits permanents quan la sequera és extrema, ja que, en el pas de la fase humida a la fase seca, aquests rius passen d'un sistema d'aigua corrent a un sistema de basses desconnectades, o bé s'assequen completament. Amb les pluges de la tardor, l'aigua torna a córrer-hi i es reprèn la connectivitat dels hàbitats aquàtics al llarg de tot el curs fluvial. Aquesta dinàmica hidrològica estacional implica processos recurrents d'extinció local i recolonització d'espècies, i això fa que les comunitats de macroinvertebrats aquàtics que es troben en els rius temporals siguin també molt dinàmiques.

S'hi identifiquen tres moments clau que expliquen aquests canvis anuals en els organismes que s'hi poden trobar. El primer és la *pèrdua de flux*, moment en què moltes espècies d'aigües corrents són reemplaçades per espècies pròpies de basses. El segon és la *pèrdua d'aigua*, moment en què les espècies pròpies de basses desconnectades són reemplaçades per espècies terrestres. I el tercer és el *restabliment del flux*, moment que les espècies pròpies d'aigües corrents tornen a colonitzar els rius i reemplacen les espècies terrestres. En el cas dels peixos, aquests reemplaçaments no es donen a la pràctica, pel fet que no és gens fàcil ni habitual que hi arribin espècies pròpies d'aigües estancades en la fase de pèrdua de flux.

En general, els rius temporals mediterranis acullen menys diversitat local que els rius permanents, però les espècies que s'hi troben solen presentar adaptacions a la sequera. De fet, si es comparen les espècies d'aigua dolça mediterrànies amb les de l'Europa Central (on la sequera esdevé un fenomen relativament recent), les primeres sovint tenen una mida més petita (que els permet viure amb menys

aigua), o cicles reproductius més curts i sincronitzats amb la fase humida, o són capaces de dispersar-se més lluny, o més ràpid, o de trobar més refugis en els períodes sense aigua, o de passar en diàpauza aquests períodes.

D'altra banda, malgrat que la diversitat local dels rius mediterranis catalans és baixa, l'alternança de fases seques i humides genera més microambients i més nínxols ecològics que si les condicions fossin estables al llarg de l'any, fent que la composició d'espècies canviï en el temps i augmentant, així, la diversitat regional. Aquesta diversitat d'ambients i nínxols ecològics es dona, no només en el temps, sinó també en l'espai, ja que la fase seca pot afectar de manera desigual al llarg de tota la conca del riu. Així, és possible trobar tant capçaleres permanents i trams baixos temporals com la situació inversa. D'aquesta manera, les xarxes fluvials catalanes esdevenen una mena de mosaic aquàtic-terrestre, amb trams permanents que ofereixen refugi a la biodiversitat que fuig dels trams temporals assecats i que seran font de recolonització del riu amb el restabliment del cabal en la fase humida.

Dinàmica dels ecosistemes d'aigües estagnants a Catalunya

Els estanys i les basses, siguin d'origen natural o per construcció humana, es caracteritzen en general per ser poc profunds, de mida petita i molt dependents del règim hidrològic i pluviomètric de la zona on es troben. A excepció dels estanys pirinencs, la majoria dels medis d'aigües estagnants a Catalunya estan sotmesos a la influència del clima Mediterrani i per aquest motiu són força sensibles als períodes llargs de sequera. El temps que els estanys i les basses passen amb aigua o sense ella els agrupa en tres categories: *permanents*, *temporals* i *efímers*. La durada d'aquest temps permet l'establiment o no de comunitats aquàtiques més o menys complexes. En els ambients efímers, les comunitats d'organismes

són força simples, i les espècies que les componen s'han adaptat a sobreviure amb el risc de dessecació. Per contra, en els ambients d'aigua permanent, les comunitats són molt més complexes i adaptades a sobreviure en un entorn amb taxes altes de depredació, especialment pel que fa a les fases larvàries d'amfibis. Els estanys i les basses temporals es troben en una situació intermèdia, on el risc de dessecació i el de depredació actuen amb diferents intensitats i on també és molt important la competència. En aquests medis l'alternança de períodes secs i amb aigua determina la comunitat resident, ja que les espècies que hi viuen han d'estar adaptades a aquests canvis en el temps. Tant les espècies

terrestres com aquàtiques han de tenir estratègies per poder resistir els períodes secs, com per exemple la capacitat de migrar, d'avançar la metamorfosi, d'augmentar la taxa de creixement o de generar estructures de resistència. Aquest fet fa que els estanys temporals mediterranis tinguin una elevada biodiversitat i singularitat i esdevinguin uns sistemes d'especial protecció, i per això estan catalogats com hàbitats prioritaris per la Directiva Hàbitats.

A les zones d'alta muntanya es troben també llacs i aiguamolls o torberes, uns ecosistemes d'aigües estagnants que són rellevants en el conjunt de Catalunya i que tenen particularitats diferents de les basses i estanys. Per una banda, els llacs pirinencs estan localitzats en zones on la pluviometria és elevada i corren

un menor risc de dessecació. Els llacs tenen un volum d'aigua molt gran que permet que hi hagi diferents estrats de temperatures dins l'aigua. Això determina com són les comunitats d'organismes que es troben a les diferents temperatures i afavoreixen una biodiversitat més gran, tot i ser medis majoritàriament molt pobres en nutrients. Per altra banda, les zones humides d'alta muntanya, com ara les torberes, són especialment sensibles a la reducció de la pluviometria i els períodes de sequera. Aquests hàbitats entollats es caracteritzen per presentar ambients aquàtics de poca fondària i vegetació fonamentalment constituïda per molses i herbes que viuen dins l'aigua, i són molt importants per a la reproducció de moltes espècies d'invertebrats i amfibis de característiques biològiques singulars i àrees de distribució normalment petites.

Efectes de les sequeres extremes sobre la biodiversitat d'aigües continentals

Les sequeres extremes o excepcionals solen produir una davallada de la diversitat a escala local, amb afectacions que varien en funció del tipus d'organisme. Quan la fase hidrològica seca és especialment llarga o intensa, alguns rius permanents poden esdevenir temporals mentre dura l'episodi, i això sol tenir un impacte negatiu sobre la biodiversitat que acullen. Els primers hàbitats que desapareixen per la reducció del cabal en els rius són les zones de ràpids o de cabal continu. Aquests hàbitats es caracteritzen pel flux d'aigua i concentracions altes d'oxigen, fet que explica que la fauna macroinvertebrada que hi habita és molt sensible a la quantitat i qualitat de l'aigua.

Els organismes propis de basses solen tenir una bona capacitat de dispersió, ja que les basses solen ser un medi recurrentment inestable i els cal ser capaços de colonitzar

altres basses o altres espais aquàtics. En canvi, els organismes d'aigües corrents no solen ser tan eficients dispersant-se, perquè, en principi, un riu és un medi més estable en el temps que una bassa, així que els organismes fluvials no han desenvolupat els mateixos mecanismes de dispersió. Això implica que la pèrdua reiterada per sequeres dels ambients d'aigües corrents pot tenir greus efectes sobre la diversitat de les espècies que hi habiten, per la seva incapacitat de recolonitzar els hàbitats que ja ocupaven. Això és especialment crític en trams permanents de capçalera.

Si la sequera s'allarga o s'intensifica, la quantitat i la qualitat dels refugis de biodiversitat pot baixar substancialment, i sovint només poden romandre-hi les espècies més generalistes o amb adaptacions a la sequera més sofisticades. Els ecosistemes més vulnerables són els

rius petits permanents i els llacs amb poca concentració de nutrients, habituals a les zones d'alta muntanya, perquè s'assequen aviat i les espècies que hi solen viure tenen cicles de vida llargs sense adaptacions a la manca d'aigua temporal. A més, la pèrdua d'aigua implica també una reducció de l'hàbitat disponible i la concentració de tota la comunitat biològica en un espai més reduït. Això fomenta i intensifica la depredació, la competència per l'aliment i els refugis i la transmissió de malalties i, si la manca d'aigua es perllonga en el temps, es pot posar en risc la capacitat de les espècies de recuperar-se després de la sequera.

En basses i estanys, els períodes de sequera fan que el temps de permanència de l'aigua sigui menor, i això condiona la composició de cada comunitat d'organismes. Així, les espècies de cicle aquàtic llarg, pròpies d'estanys i basses permanents, s'hi veuen perjudicades perquè la sequera redueix la disponibilitat d'hàbitats adients, fet que també pot arribar a provocar extincions locals. Algunes espècies poden colonitzar medis temporals que es mantinguin inundats durant llargs períodes, i això incrementa la competència pels recursos entre les diferents espècies, en aquests medis. D'altra banda, l'escurçament del període d'innivació i la quantitat de neu que hi caurà pot provocar una reducció de l'aportació de nutrients durant el desglaç, aspecte fonamental per al funcionament dels sistemes lacustres pirinencs. També els períodes de sequera poden fer disminuir el volum d'aigua fins a nivells en els quals l'estratificació tèrmica queda alterada.

Els diferents grups d'animals responen de manera particular a aquests canvis en les condicions ambientals. En el cas dels amfibis, quan les precipitacions són insuficients, la sequera és extrema o el temps de permanència de l'aigua en les basses o els estanys s'escurça notablement, se sol trobar també una reducció de l'activitat biològica, una reducció de la condició corporal dels individus que habiten la massa d'aigua, dificultats o absència de reproducció, canvis en el període de cada fase del cicle

vital (fenologia) i extincions locals. A més, l'increment de temperatura està avançant els períodes reproductius de molts amfibis de muntanya, de forma que la reproducció ja no coincideix amb les pluges primaverals i el desenvolupament larvari es produeix en condicions menys òptimes, amb més competència amb altres espècies i menor disponibilitat de recursos.

Malgrat tot, les poblacions d'amfibis solen recuperar-se bé després de les sequeres, fins i tot si són intenses o llargues. Però la combinació de la sequera amb altres factors d'estrès, com ara l'augment de les interaccions amb els depredadors, la competència entre espècies, la concentració de contaminants o la reducció de l'oxigen dissolt, i el fet que moltes poblacions d'amfibis es trobin en el seu límit de distribució i demogràfic a Catalunya, han posat en risc la viabilitat d'algunes espècies en el territori. En zones de clima mediterrani s'ha comprovat que la manca de connectivitat, la presència d'espècies invasores i la combinació amb altres factors, com ara la sobreexplotació dels aqüífers, poden frenar el retorn natural de les poblacions a l'abundància prèvia a la sequera. A tall d'exemple, es calcula que més del 50% dels punts de reproducció habituals d'amfibis van estar permanentment secs durant la sequera acumulada entre 2021 i 2023, especialment a la costa. Molts d'aquests punts solen ser fonts, basses, abeuradors i cisternes que es mantenen gràcies a les activitats agrícoles i ramaders tradicionals i, per tant, l'abandonament d'aquestes activitats pot tenir conseqüències sobre la conservació d'aquest grup d'animals.

Pel que fa als organismes estrictament aquàtics, com ara els peixos, les larves d'amfibis i alguns macroinvertebrats que no tenen cap adaptació a la sequera, les sequeres més llargues o intenses poden suposar la reducció de la mida de les poblacions, o inclús la desaparició local de l'espècie. Hi ha força evidència científica a Catalunya (per exemple a les conques de la Tordera, el Ter o l'Ebre) que la reducció de cabal comporta la reducció de l'abundància, la supervivència i les mides dels peixos autòctons (per exemple, barbs de muntanya,

bagres i truites) i canvia la composició a favor d'espècies introduïdes. En canvi, per a la majoria dels macroinvertebrats i els amfibis, que combinen una fase aquàtica i una altra de terrestre al llarg del seu cicle vital, l'impacte d'aquestes sequeres depèn de la capacitat de cada espècie d'escurçar la fase aquàtica, fer formes de resistència, refugiar-se sota la llera seca, o bé de desplaçar-se a la cerca d'altres refugis aquàtics. D'altra banda, l'assecamment de llacs, basses i embassaments ha afavorit la captura i l'eliminació d'espècies de peixos invasores, tot i que cal tenir en compte que algunes espècies invasores sobreviuen quan la dessecació és no més superficial, com és el cas del misgurn del Japó, el cranc americà o el cargol poma.

Interaccions de les sequeres amb altres pertorbacions que afecten els ecosistemes aquàtics

L'augment de temperatures implica un augment d'evapotranspiració (sobretot estival) que sovint deriva en l'acumulació de grans quantitats d'aigua a l'atmosfera. Quan baixen les temperatures a la tardor, aquestes acumulacions es descarreguen habitualment en forma de pluges torrencials, que provoquen l'erosió de les lleres i la destrucció de l'hàbitat per a moltes espècies en diferents trams del riu, especialment en els trams mitjans i baixos de les conques més confluents. Aquests trams solen ser els més alterats per les activitats humanes, com ara la construcció d'embassaments, les derivacions d'aigua, la instal·lació de vies de comunicació, habitatges o indústries en les lleres o els marges, la reconversió del sòl a l'agricultura extensiva, l'ús excessiu de fertilitzants i pesticides, l'abocament de residus sòlids i la introducció d'espècies invasores. Totes aquestes activitats solen tenir impactes directes i majoritàriament negatius en la biodiversitat fluvial, impactes que solen ser encara més importants en períodes de sequera. Cal tenir en compte, però, que les riudes són pròpies dels ecosistemes sotmesos al clima mediterrani i que, per això, les espècies autòctones hi solen estar

A més dels efectes directes de la manca d'aigua, cal tenir en compte que les sequeres venen acompanyades de temperatures cada cop més altes, a causa del canvi climàtic. Com que tots aquests animals (peixos, amfibis i invertebrats) depenen de la temperatura externa, aquest increment tèrmic fa que el seu metabolisme s'acceleri, i això els fa més vulnerables a moltes alteracions de l'hàbitat, incloent-hi la presència de contaminació o d'espècies invasores. Algunes espècies s'han vist forçades a canviar els tempos de les seves fases vitals i algunes poblacions al límit de la distribució, les més vulnerables tant per situació climàtica com per manca de connectivitat, no s'estan recuperant d'esdeveniments extrems de temperatura i de sequera.

més adaptades que les espècies al·lòctones (ja siguin introduïdes, establertes o invasores). Això implica que les riudes sovint afecten més les espècies al·lòctones que les pròpies, tot i que amb l'alt grau d'artificialització que pateixen les lleres de molts dels nostres rius, les riudes es comporten de manera molt més violenta, fins al punt que resulta més difícil trobar diferències, per exemple, entre els efectes sobre la vegetació autòctona i la forana.

És molt difícil, però, distingir quin és el pes de la sequera i de cadascuna d'aquestes activitats humanes en la resposta de l'ecosistema, perquè sovint tenen lloc de manera combinada i simultània amb els episodis de sequera. Encara hi ha pocs estudis sobre els efectes combinats de tots aquests factors, i més tenint en compte que la freqüència i la intensitat de les sequeres són cada cop més grans a causa del canvi climàtic, però se sap que la combinació de factors està fent créixer encara més la fragmentació dels hàbitats fluvials, empobrint la biodiversitat que acullen i homogeneïtzant-la a escala regional.

A tota aquesta complexitat d'impactes cal afegir que les administracions se senten obligades a prioritzar la disponibilitat d'aigua, especialment per al consum domèstic, però també per al turístic, l'industrial, l'agrícola i el ramader. Això va en detriment dels *cabals ecològics*, altrament dits *cabals ambientals* o *de manteniment*, que corresponen al flux d'aigua que cal deixar en el riu per

garantir el funcionament de l'ecosistema fluvial i els serveis ambientals que se'n deriven. A escala local i en rius petits, les extraccions il·legals d'aigua també solen tenir un impacte crític en el manteniment dels cabals ecològics, com és el cas de les més de 80 extraccions comptabilitzades a la riera de Vallvidrera (al Parc Natural de la Serra de Collserola).

Experiències d'actuació i prioritats de coneixement

Actualment, s'està estudiant amb eines moleculars la diversitat i la connectivitat dels amfibis a Catalunya, per millorar la conservació d'aquest grup biològic. Alhora, hi ha experiències locals de manteniment de basses amb peixos traslocats, perquè serveixin de refugi i de font de recolonització dels espais fluvials després del període de sequera. També hi ha experiències d'aportacions d'aigua de pou a algunes basses desconectades per procurar la supervivència d'alguna espècie, com els 38 m3 que es van aportar el 2021 a diferents basses del Parc Natural de Sant Llorenç de Munt i l'Obac per a la supervivència del barb de muntanya. Durant l'execució del projecte *Life Tritó del Montseny* s'han dut a terme accions concretes per actualitzar els sistemes de captació d'aigües superficials, en l'àmbit municipal, en cases aïllades i explotacions agropecuàries aïllades, per tal d'assegurar el cabal ecològic durant els mesos més secs. S'han remodelat les captacions per disminuir la quantitat d'aigua extreta dels torrents, mitjançant l'aportació extra d'aigua a les masies i explotacions agroramaderes aïllades, provinents de la pluja i de l'aprofitament de les aigües grises. Però, més enllà d'aquestes experiències poc o molt locals i poc o molt puntuals, no hi ha un pla general de conservació de refugis en rius, estanys i basses que garanteixin la mínima de biodiversitat durant l'episodi de sequera i la

recolonització posterior d'aquests ambients quan recuperen el flux d'aigua, i tampoc no hi ha experiències amb altres organismes igualment importants en el funcionament ecosistèmic d'aquests ambients, com els macroinvertebrats aquàtics.

Part de la dificultat de desenvolupar un pla de l'abast necessari radica en la manca de coneixement al detall que hi ha en alguns aspectes relacionats amb els episodis de sequera. Per millorar aquest coneixement, en primer lloc, caldria determinar el punt crític, a partir del qual la resiliència de les comunitats d'organismes es veurà afectada (alguns estudis amb dades simulades situen aquest punt crític en un augment de més del 80% dels trams temporals en la conca fluvial durant l'episodi de sequera). En segon lloc, caldria desenvolupar metodologies que permetin discernir l'efecte de la sequera i l'efecte de les pertorbacions antròpiques que s'hi afegixen, per tal d'encertar millor les mesures correctores que cal aplicar-hi. I, en tercer lloc, resulta fonamental identificar i catalogar els refugis climàtics, en funció de la seva capacitat per mantenir la interconnexió i el potencial que tinguin com a font de recolonització biològica dels trams fluvials assecats.

EFFECTES DE LES SEQUERES EN AMBIENTS DE TRANSICIÓ ENTRE EL MEDI AQUÀTIC I EL TERRESTRE

Fluxos de materials i organismes entre el medi aquàtic i el terrestre

Els ecosistemes aquàtics i terrestres estan íntimament connectats, no només perquè comparteixen un espai comú d'interfície o transició, sinó també perquè hi té lloc un intercanvi de materials i organismes que resulta fonamental pel funcionament d'ambdós ecosistemes i el manteniment de la biodiversitat. De fet, la vegetació de ribera, pròpia d'aquests espais de transició, sol ser especialment rica i diversa, perquè al voltant de rius i llacs les plantes disposen de més aigua i s'hi generen microambients que no es poden trobar en zones més allunyades de les masses d'aigua. Això implica que el cabal fluvial i l'aigua subterrània disponible per a les plantes tenen un paper clau en l'estructura i la composició d'aquesta vegetació singular que, entre altres funcions, actua d'enllaç entre l'ecosistema aquàtic i el terrestre, filtra els fluxos de contaminants i regula la temperatura de l'aigua.

L'intercanvi d'invertebrats i matèria orgànica entre ambdós ecosistemes resulta fonamental per mantenir les xarxes tròfiques de l'un i de l'altre. De vegades, la dependència d'aquest intercanvi pot ser molt notable, com és el cas

d'alguns peixos salmònids, que obtenen un 50% de la seva energia anual ingerint invertebrats que arriben a l'aigua des dels marges terrestres. La relació inversa ha estat menys estudiada, però se sap que els invertebrats aquàtics poden ser una font important d'energia per a molts ocells insectívors, ratpenats, rèptils, amfibis i artròpodes (sobretot aranyes) que viuen en les zones de ribera.

A banda d'aquests intercanvis que es produeixen en l'espai, també n'hi ha que es produeixen en el temps, a conseqüència de l'alternança de fases hidrològiques en rius i rieres temporals, ja que les lleres assecades permeten que algunes espècies terrestres s'hi estableixin, sobretot plantes i invertebrats, i alhora afavoreixen el pas dels animals que fan servir aquestes lleres sense aigua com a corredors biològics. Quan tornen els cabals d'aigua a l'inici de la fase humida, aquests espais conquerits pels organismes terrestres tornen a formar part de l'ecosistema aquàtic, incorporant o arrossegant tota la matèria orgànica que s'hi hagi pogut acumular durant la fase seca.

Efectes de la sequera sobre els fluxos de materials i organismes

Les sequeres, especialment si són de llarga durada i recurrents, solen minvar o tallar aquests fluxos de materials i organismes entre l'ecosistema aquàtic i el terrestre, com a conseqüència directa de la reducció d'aigua disponible per a la vegetació de ribera. La manca d'aigua provoca un creixement menor dels arbres, una mortalitat major de les plàntules i sovint també una pèrdua de diversitat d'espècies vegetals pròpies dels ambients de ribera, sobretot a les capçaleres dels rius. Això fa que els animals (vertebrats o invertebrats) que s'alimenten

d'aquesta vegetació tinguin menys aliment disponible i pot modificar els fluxos de materials i organismes entre els dos ecosistemes.

La reducció del cabal fluvial per sota del règim habitual, a causa de la sequera, deixa més trams dels rius sense aigua i això provoca que els animals aquàtics disposin de menys espai per viure-hi i que els seus depredadors terrestres disposin de menys indrets on capturar-los. La manca d'espai per viure-hi provoca una reducció de les poblacions de les preses

que sol derivar en una reducció de les poblacions dels seus depredadors. Aquest mecanisme s'ha observat amb detall estudiant aranyes terrestres que s'alimenten d'invertebrats aquàtics, tant en ambients naturals com en arrossars, un cultiu que ha de romandre inundat durant una part del seu cicle i, per tant, és molt sensible a les sequeres. Alhora, la manca d'indrets on capturar les preses provoca que els depredadors es concentrin en els indrets encara s'hi poden capturar preses, i això agreuja la reducció de les poblacions d'aquestes

preses, com peixos, amfibis o macroinvertebrats. Una menor disponibilitat d'aigua fa que la incorporació de matèria inorgànica als cursos sigui menor. Al Montseny s'ha observat que les comunitats d'invertebrats són més pobres on el bosc de ribera està format per espècies al·lòctones com els plataners o la canya. Aquestes espècies tenen fulles molt més difícils de descompondre i això té un efecte directe en les comunitats aquàtiques de macroinvertebrats.

REPTES I RECOMANACIONS

Bosc*os* i matollars

- En un context de sequeres cada cop més freqüents i intenses, les plantacions d'una única espècie no solen ser la millor opció. Per això, seria aconsellable fomentar i incrementar la diversitat d'espècies vegetals, com a estratègia per afavorir la resiliència dels ecosistemes.
- Cal remarcar que la mortalitat d'una part dels arbres i arbustos pot comportar canvis en boscos i matollars que els facin més resilients en el futur i, de fet, poden comportar dinàmiques naturals que afavoreixen la diversitat, històricament alterades per l'activitat humana.
- En l'escenari actual, podria ser especialment útil avaluar amb cura les diferents possibilitats de gestió forestal, així com reflexionar sobre els objectius que es volen assolir amb cada actuació.
- Per això, abans de decidir el tipus d'actuació que es vol emprendre —per exemple, una d'extractiva o una per reduir el risc d'incendi—, pot ser molt convenient considerar la transició que s'està produint en cada indret com a conseqüència de les sequeres, analitzant quines espècies en surten afavorides o perjudicades, quin és el paper de la fusta morta i si aquests canvis augmenten o redueixen la resiliència del bosc.
- Catalunya és un territori amb una gran diversitat de boscos i matollars i, per tant, les avaluacions de gestió no poden ser receptes generals, sinó que depenen dels processos que s'estan produint en cada zona en el seu context climàtic i ambiental.
- Tot i això, cal fer algunes recomanacions que sí que tenen un caràcter general, com ara promoure la diversitat vegetal autòctona, sobretot d'espècies resistents d'arbres i arbustos; reduir la densitat d'arbres i afavorir la diversitat d'edats i mides; millorar les capacitats de retenció d'aigua del sòl; i augmentar la connectivitat entre ecosistemes per afavorir l'arribada d'individus i espècies potencialment resistents.
- En alguns casos, fer tractaments de selecció de tanys (deixant sense tallar els tanys de major diàmetre i també els arbres més grossos) per reduir la competència pot fer més resilients els arbres i augmentar-ne la fructificació. Aquestes actuacions han de poder crear zones obertes properes al bosc, però no han d'eliminar el sotabosc, que és font d'aliment i protecció.

- Seria convenient aprofundir en el coneixement sobre les interaccions en les xarxes tròfiques, especialment en els ecosistemes mediterranis, on aquestes relacions solen ser més complexes que no en els ecosistemes boreals o alpins.
- Seria convenient aprofundir en alguns aspectes bàsics de l'ecologia de determinades espècies, com ara la seva dieta, l'aliment òptim i els efectes que poden tenir la manca de recursos sobre la seva dinàmica poblacional, així com sobre la seva capacitat de recuperació i resiliència.
- Una possible via útil per definir les prioritats de coneixement seria centrar-se en l'estudi de les espècies clau, les seves interaccions i com responen funcionalment a les sequeres.
- En conseqüència, seria important potenciar tres línies de recerca:
 - Recerca bàsica dirigida a les interaccions.
 - Recerca de seguiments a llarg termini que incloguin els cicles de sequera i els cicles de les espècies.
 - Recerca d'experimentació *in situ* que provi els efectes de diferents tipologies de gestió forestal sobre les interaccions biològiques.
- Seria recomanable enfortir els sistemes de seguiment de la biodiversitat del sòl per poder-la associar a funcions ecosistèmiques, i incloure-hi els sistemes agrícoles.

Ambients d'aigües continentals

- Seria molt recomanable definir i instaurar Plans Especials de Sequera que previnguin l'aplicació de mesures efectives de reducció del consum, a temps i amb una visió a llarg termini. Això pot contribuir decisivament a mantenir els cabals ecològics i la qualitat de les basses aïllades, afavoreix la reconexió dels trams temporals dels rius quan tornen les pluges i pot ajudar a afrontar amb més resiliència futurs episodis de sequera.
- Es considera important afavorir la connectivitat fluvial de cada conca, evitant-ne les alteracions sempre que sigui possible. En aquest sentit, seria convenient reforçar el control sobre les extraccions il·legals i valorar l'eliminació d'obstacles artificials, com preses i rescloses, especialment quan resultin innecessaris o es trobin fora d'ús, ja que poden dificultar el desplaçament dels individus durant la cerca de refugis o les migracions reproductores.
- Seria aconsellable mantenir el règim natural de cabals —amb sequeres i crescudes— propi de cada espai fluvial. En aquest context, els efluents procedents de les estacions depuradores d'aigües residuals (EDAR) poden contribuir al manteniment dels cabals ecològics dels rius permanents mediterranis. Tanmateix, cal tenir en compte que la qualitat biològica d'aquesta aigua és encara millorable i que la sobreexplotació dels recursos hídrics sovint fa que aquests rius acabin depenent gairebé exclusivament d'aigua depurada. D'altra banda, convindria limitar l'ús d'efluents en els trams de riu temporals, ja que l'alteració de la fase seca natural podria comprometre la biodiversitat adaptada a l'alternança de fases hidrològiques.
- Es recomana afavorir la connectivitat dels trams d'aigua permanents, amb una atenció especial als petits rierols de capçalera, ja que poden actuar com a fonts de recolonització dels trams aigües avall amb el retorn de les pluges.
- Seria convenient afavorir la connectivitat entre basses permanents i temporànies per tal de garantir la continuïtat de les espècies i comunitats desconnectades.

- Es considera rellevant mantenir les basses desconectades que es formen en molts rius temporals per tal que siguin estratègiques des del punt de vista biològic, per incrementar la quantitat i la qualitat de refugis aquàtics a les conques fluvials.
- És aconsellable recuperar punts d'aigua desapareguts pels canvis d'usos i l'abandonament de l'agricultura i la ramaderia tradicionals, perquè actuïn com a refugis de biodiversitat.
- Com a darrer recurs, si la resta de mesures fallen o no es poden implementar, aportar aigua per mantenir poblacions de fauna local que puguin estar en risc, especialment quan sigui possible fer-ho des de fonts d'aigua properes.
- Seria útil disposar de dades reals i d'una major precisió per determinar els llindars de fragmentació de la conca, tant en l'espai com en el temps, a partir dels quals el restabliment de la biodiversitat es veu compromès després de l'època seca o de períodes de sequera.
- Seria convenient promoure la recerca aplicada i multidisciplinària a escala regional, fer recerca bàsica dirigida a conèixer les interaccions i requeriments de les espècies, combinant el seguiment biològic de les espècies aquàtiques amb les tècniques moleculars existents, per determinar els trams i refugis prioritaris a cada conca fluvial.
- Seria aconsellable dissenyar i implementar programes de conservació de les espècies. Això és especialment necessari en el cas dels peixos, ja que, sense aquests programes, la re-colonització dels trams afectats per la sequera i la recuperació de les poblacions és impossible, no només per la sequera sinó també per la resta d'impactes comentats.

Ambients de transició entre el medi aquàtic i el terrestre

- En general, s'han estudiat molt poc els efectes de la sequera sobre la biodiversitat i els processos ecològics que ocorren a la interfície aquàtic-terrestre en sistemes mediterranis naturals i agrícoles.
- Seria convenient establir programes de seguiment a llarg termini que incloguin diferents grups d'organismes focals —com ara microorganismes, plantes, invertebrats, peixos, amfibis i ocells—, tant en sistemes naturals com en sistemes agrícoles amb un paper rellevant des del punt de vista ecològic. Aquests programes permeten aportar línies de base sòlides de coneixement, estimar tendències temporals en la distribució i l'abundància de diferents grups d'organismes, i avaluar amb més precisió els canvis associats a esdeveniments com les sequeres o altres pertorbacions ambientals.
- Seria molt recomanable avaluar experimentalment diferents estratègies de gestió davant de la sequera que puguin contribuir a incrementar l'adaptació i la resiliència de les zones d'ecotò al canvi climàtic —com ara els boscos de ribera, els arrossars i altres ambients de transició.
- Seria oportú impulsar línies d'investigació bàsiques orientades a comprendre millor les interaccions biòtiques que es produeixen a les zones de transició entre ambients aquàtics i terrestres, així com la seva resposta funcional davant diferents processos de canvi ambiental, incloent-hi les sequeres extremes.
- Es considera convenient fomentar estudis específics sobre les comunitats d'organismes que colonitzen les lleres seques, ja que aquests ambients poden albergar espècies exclusives adaptades a hàbitats temporals. A més, seria útil promoure treballs orientats a quantificar el paper d'aquestes lleres com a corredors ecològics.
- Seria recomanable impulsar projectes de recuperació del bosc de ribera autòcton. Paral·lelament, convindria intensificar les accions per eliminar espècies exòtiques invasores i establir mecanismes més eficients per prevenir-ne noves introduccions.

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

A

AGBESHIE, A.A., ABUGRE, S., ATTA-DARKWA, T. & AWUAH, R. (2022). A review of the effects of forest fire on soil properties. *Journal Forestry Research*, 33, 1419–1441. <https://doi.org/10.1007/s11676-022-01475-4>

AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA: Pla de gestió del districte de conca fluvial de Catalunya 2022-2027.

AGUADÉ, D., POYATOS, R., GÓMEZ, M., OLIVA, J. & MARTÍNEZ-VILALTA, J. (2012). The role of defoliation and root rot pathogen infection in driving the mode of drought-related physiological decline in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Tree Physiology*, 35, 229–242. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpv005>

ALEJANO, R., TAPIAS, R., FERNÁNDEZ, M., TORRES, E., ALAEJOS, J. & DOMINGO, J. (2008). Influence of pruning and the climatic conditions on acorn production in holm oak (*Quercus ilex* L.) dehesas in SW Spain. *Annals of Forest Science*, 65(2), 1. <http://dx.doi.org/10.1051/forest:2007092>

ALIOD, R. (2022). *Análisis de los incumplimientos de la condicionalidad de las inversiones en regadíos en el PEPAC español, en relación con los reglamentos vigentes, recomendaciones de la Comisión Europea, Tribunal de Cuentas Europeo y objetivos de la DMA*. Fundación Nueva Cultura del Agua.

ALTAVA, V (2010). *Caracterització i monitoratge de les sequeres a Catalunya i nord del País Valencià. Càlcul d'escenaris climàtics per al segle XXI*. Tesi Doctoral Inèdita. Departament d'Astronomia i Meteorologia. Universitat de Barcelona.

ANDEREGG, W.R.L., MARTINEZ-VILALTA, J., CAILLERET, M., CAMARERO, J.J., EWERS, B.E., GALBRAITH, D., GESSLER, A., GROTE, R., HUANG, C., LEVICK, S., POWELL, T., ROWLAND, L., SÁNCHEZ-SALGUERO, R., & TROTSIUK, V. (2016). When a Tree Dies in the Forest: Scaling Climate-Driven Tree Mortality to Ecosystem Water and Carbon Fluxes. *Ecosystems*, 19, 1133–1147. <https://doi.org/10.1007/s10021-016-9982-1>

B

BAE, M.-J., MURPHY, C.A. & GARCÍA-BERTHOU, E. (2018). Temperature and hydrologic alteration predict the spread of invasive Largemouth Bass (*Micropterus salmoides*). *Science of the Total Environment*, 639, 58–66. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.00>

BANQUÉ, M., DE CÁCERES, M., GARCÍA-VALDÉS, R., MARTÍNEZ-VILALTA, J., ROCES-DÍAZ, J.V. & VAYREDA, J. (2020). *ForesTIME: Canvis dels Boscos al llarg dels darrers 25 anys (període 1990-2014)*.

BARBETA, A., OGAYA, R. & PEÑUELAS, J. (2013). Dampening effects of long-term experimental drought on growth and mortality rates of a Holm oak forest. *Global Change Biology*, 19, 3133-3144. <https://doi.org/10.1111/gcb.12269>

BASILE, M., ASBECK, T., JONKER, M., KNUFF, A.K., BAUHUS, J., BRAUNISCH, V., MIKUSIŃSKI, G. & STORCH, I. (2020). What do tree-related microhabitats tell us about the abundance of forest-dwelling bats, birds, and insects? *Journal of Environmental Management*, 264, 110401. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110401>

BAXTER, C. V., FAUSCH, K. D. & CARL SAUNDERS, W. (2005). Tangled webs: Reciprocal flows of invertebrate prey link streams and riparian zones. *Freshwater Biology*, 50(2), 201–220. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2004.01328.x>

BENEJAM, L., SAURA-MAS, S., BARDINA, M., SOLÀ, C., MUNNÉ, A. & GARCÍA-BERTHOU, E. (2016). Ecological impacts of small hydropower plants on headwater stream fish: from individual to community effects. *Ecology of Freshwater Fish*, 25, 295–306. <https://doi.org/10.1111/eff.12210>

BENEJAM, L., ANGERMEIER, P.L., MUNNÉ, A. & GARCÍA-BERTHOU, E. (2010). Assessing effects of water abstraction on fish assemblages in Mediterranean streams. *Freshwater Biology*, 55, 628-642. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02299.x>

BLANCO, J.A., IMBERT, J.B. & CASTILLO, F.J. (2008). Nutrient return via litterfall in two contrasting Pi-

nus sylvestris forests in the Pyrenees under different thinning intensities. *Forest Ecology and Management*, 256 (11), 1840–1852. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.07.011>.

BOUGET, C., COURTS, J., LARRIEU, L., PARMAIN, G., MÜ, J., SPECKENS, V. & SALLÉ, A. (2024). Trait-Based Response of Deadwood and Tree-Related Microhabitats to Decline in Temperate Lowland and Montane Forests. *Ecosystems*, 27 (1), 90–105. <https://doi.org/10.1007/s10021-023-0087>

Bourgeois, M., Gilot, F. & Sayon, C. (2009). *Gestion conservatoire des rapaces méditerranéennes: Retours d'expériences*. LPO Aude & GOR, Narbonne. 144p.

BOWLER, D.E., MANT, R., ORR, M., HANNAH, D.M. & PULLIN, A.S. (2012). What are the effects of wooded riparian zones on stream temperature? *Environmental Evidence*, 1, 1-9. <https://doi.org/10.1186/2047-2382-1-3>

BRONSON, F. H. (1985). Mammalian reproduction: an ecological perspective. *Biology of Reproduction*, 32(1), 1-26. <https://doi.org/10.1095/biolreprod32.1.1>

BROTONS, L., POU, N., HERRANDO, S., BOTA, G., VILLERO, D., GARRABOU, J., ORDÓÑEZ, J.L., ANTON, M., GUAL, G., RECODER, L., ALCARAZ, J., PLA, M., SAINZ DE LA MAZA, P., PONT, S. & PINO, J. (2020). *Estat de la Natura a Catalunya 2020*. Departament de Territori i Sostenibilitat. Generalitat de Catalunya. Barcelona

BUSSOTTI, F. & POLLASTRINI, M. (2020). Opportunities and Threats of Mediterranean Evergreen Sclerophyllous Woody Species Subjected to Extreme Drought Events. *Applied Sciences*, 10(23), 8458. <https://doi.org/10.3390/app10238458>

C

CAMPRODON, J. & PLANA, E. (2007). *Conservación de la biodiversidad, fauna vertebrada y gestión forestal*. Barcelona Publicacions i Edicions, Universitat

de Barcelona. 605 p.

CARNICER, J., COLL, M., NINYEROLA, M., PONS, X., SANCHEZ, X. & PEÑUELAS, J. (2011). Widespread crown condition decline, food web disruption, and amplified tree mortality with increased climate change-type drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(4), 1474-1478. <https://doi.org/10.1073/pnas.1010070108>

CARNICER, J., VIVES-INGLA, M., BLANQUER, L., MÉNDEZ-CAMPS, X., ROSELL, C., SABATÉ, S., GUTIÉRREZ, E., SAURAS, T., PEÑUELAS, J. & BARBETA, A. (2021). Forest resilience to global warming is strongly modulated by local-scale topographic, microclimatic and biotic conditions. *Journal of Ecology*, 109(9), 3322-3339. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13752>

CHAGNON, C., MOREAU, G., BOMBARDIER-CAUFOPÉ, C., BARRETTE, J., HAVRELJUK, F. & ACHIM, A. (2022). Broad-scale wood degradation dynamics in the face of climate change: A meta-analysis. *GCB Bioenergy*, 14, 941–958. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12951>

CHOWDHURY, F.I., LLORET, F., JAIME, L., MARGALEF-MARRASÉ, J. & ESPELTA, J.M. (2024). Deadwood and Tree-related Microhabitat's abundance and diversity are determined by the interplay of drought-induced die-off and local climate. *Forest Ecology and Management*, 563, 121989. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.121989>

CHRISTIANSEN, D.M., IVERSEN, L.L., EHRLÉN, J. & HYLANDER, K. (2022). Changes in forest structure drive temperature preferences of boreal understorey plant communities. *Journal of Ecology*, 110(3), 631-643. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13825>

D

DAHLIN, K.M., ZARNETSKE, P.L., READ, Q.D., TWARDCHLEB, L.A., KAMOSKE, A.G., CHERUVELIL, K.S. & SORANNO, P.A. (2021). Linking Terrestrial and Aquatic Biodiversity to Ecosystem Function Across Scales, Trophic Levels, and Realms. *Frontiers in*

Environmental Science, 9, 692401. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.692401>

DAVID, J.S., BELLOT, J., BIROT, Y. & DAVID, T.S. (2011). Water Fluxes in Forests. In *Water for Forests and People in the Mediterranean Region – A Challenging Balance*. Cap. 1.4. European Forest Institute.

DE CÁCERES, M., MOLOWNY-HORAS, R., CABON, A., MARTÍNEZ-VILALTA, J., MENCUCCINI, M., GARCÍA-VALDÉS, R., NADAL-SALA, D., SABATÉ, S., MARTIN-STPAUL, N., MORIN, X., D'ADAMO, F., BATLLORI, E., & AMÉZTEGUI, A. (2023). MEDFATE 2.9.3: a trait-enabled model to simulate Mediterranean forest function and dynamics at regional scales, *Geoscientific Model Development*, 16, 3165–3201. <https://doi.org/10.5194/gmd-16-3165-2023>

DE LA HERA, I., ALCARAZ, J.D., MEZGER, G., SOLER, J. & CORROCHANO, A. (2024). Breeding bird communities of Riparian and Upland Woodlands Respond Differently to an Atlantic-Mediterranean Climatic Gradient in Mainland Spain. *Biodiversity and Conservation*, 33, 1729-1749. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2890905/v1>

DEL CAMPO, A.D., OTSUKI, K., SERENGIL, Y., BLANCO, J.A., YOUSEFPOUR, R. & WEI, X. (2022). A global synthesis on the effects of thinning on hydrological processes: Implications for forest management. *Forest Ecology Management*, 519, 120324. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120324>

DÍAZ-HERNÁNDEZ, R., VICENTE VILLARDÓN, J.L., MARTÍNEZ-RUIZ, C. & FERNÁNDEZ-SANTOS, B. (2021). The effects of native shrub, fencing, and acorn size on the emergence of contrasting co-occurring oak in Mediterranean grazed areas. *Forests*, 12(3), 307. <https://doi.org/10.3390/f12030307>

DÍAZ-PANIAGUA, C., FLORENCIO, M., DE FELIPE, M., RAMÍREZ-SOTO, M., ROMÁN, I. & ARRIBAS, R. (2024). Groundwater decline has negatively affected the well-preserved amphibian community of Doñana National Park (SW Spain). *Amphibia-Reptilia*, 45(2), 205-217.

DÍEZ, J.A., HERNAIZ, P., MUÑOZ, M.J., DE LA TORRE, A. & VALLEJO, A. (2004). Impact of pig slurry on

soil properties, water salinization, nitrate leaching and crop yield in a four-year experiment in Central Spain. *Soil Use and Management*, 20, 444-450. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2004.tb00395.x>

D'ORGEVAL, T & POLCHER, J. (2008). Impacts of precipitation events and land-use changes on West African river discharges during the years 1951–2000. *Climate dynamics*, 31, 249-262. <https://doi.org/10.1007/s00382-007-0350-x>

DOSSEY, M.G., VIDON, P., GURWICK, N.P., ALLAN, C.J., DUVAL, T.P. & LOWRANCE, R. (2010). The Role of Riparian Vegetation in Protecting and Improving Chemical Water Quality in Streams. *Journal of the American Water Resources Association*, 46(2), 261-277. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2010.00419>

EDWARDS, D.C. & MCKEE, T.B. (1997): *Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales*. Climatology Report No. 97-2, Colorado State Univ., Ft. Collins, CO.

ENRIQUEZ-URZELAI, U., BERNARDO, N., MORENO-RUEDA, G., MONTORI, A. & LLORENTE, G. (2019). Are amphibians tracking their climatic niches in response to climate warming? A test with Iberian amphibians. *Climatic Change*. 154(1–2), 289–301. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02422-9>

ESPELTA, J.M., ARIAS-LECLAIRE, H., FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, M., DOBLAS-MIRANDA, E., MUÑOZ, A. & BONAL, R. (2017). Beyond predator satiation: Masting but also the effects of rainfall stochasticity on weevils drive acorn predation. *Ecosphere*, 8(6), e01836. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1836>

F

FOREST EUROPE, 2020: *State of Europe's Forests 2020*.

FERNÁNDEZ-DE-UÑA, L., MARTÍNEZ-VILALTA, J., POYATOS, R., MENCUCCINI, M. & McDOWELL, N.G. (2023). The role of height-driven constraints and compensations on tree vulnerability to drought. *New Phytologist*, 239, 2083-2098. <https://doi.org/10.1111/nph.19130>

FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, M., GARBULSKY, M., PEÑUELAS, J., PEGUERO, G. & ESPELTA, J.M. (2015). Temporal trends in the enhanced vegetation index and spring weather predict seed production in Mediterranean oaks. *Plant Ecology*, 216(8), 1061-1072. <https://doi.org/10.1007/s11258-015-0489-1>

FERRÍN, M., MÁRQUEZ, L., PETERSEN, H., SALMON, S., PONGE, J.F., ARNEDO, M., EMMETT, B., BEIER, C., SCHMIDT, I.K., TIETEMA, A., DE ANGELIS, P., LIBERATI, D., KOVÁCS-LÁNG, E., KRÖEL-DULAY, G., ESTIARTE, M., BARTRONS, M., PEÑUELAS, J. & PEGUERO, G. (2022). Trait-mediated responses to aridity and experimental drought by springtail communities across Europe. *Functional Ecology*, 37, issue 1, 44-56. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.14036>

FICETOLA, G.F. & MAIORANO, L. (2016). Contrasting effects of temperature and precipitation change on amphibian phenology, abundance and performance. *Oecologia*, 181(3), 683-693. <https://doi.org/10.1007/s00442-016-3610-9>

G

GALLART, F. (2015). *Vulnerabilidades de los recursos hídricos en relación al cambio climático y a sus interacciones con los ecosistemas terrestres. Los bosques y la biodiversidad frente al cambio climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España*. Cap. 28, 345-352.

GARSSSEN, A.G., VERHOEVEN, J.T.A. & SOONS, M.B. (2014). Effects of climate-induced increases in summer drought on riparian plant species: A meta-analysis. *Freshwater Biology*, 59(5), 1052-1063. <https://doi.org/10.1111/fwb.12328>

GÓMEZ, J.M., PUERTA-PIÑERO, C., & SCHUPP, E.W. (2008). Effectiveness of rodents as local seed dispersers of Holm oaks. *Oecologia*, 155, 529-537. <https://doi.org/10.1007/s00442-007-0928-3>

GRACIA, C.A., SABATÉ, S., MARTÍNEZ, J.M. & ALBEZA, E. (1999). Functional responses to thinning. In: Rodà, F., Retana, J., Gracia, C.A., Bellot, J. (Eds.), *Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests: Ecological Studies*, Vol. 137. Springer, Berlin, pp. 229-338.

GRAFTON, R.Q., WILLIAMS, J., PERRY, C.J., MOLLE, F., RINGLER, C., STEDUTO, P., UDALL, B., WHEELER, S.A., WANG, Y., GARRICK, D. & ALLEN, R.G. (2018). The paradox of irrigation efficiency: Higher efficiency rarely reduces water consumption. *Policy Forum, Science*, 361(6404), 748-750. DOI: 10.1126/science.aat9314

GREENWOOD, M.J. & MCINTOSH, A.R. (2008). Loading impacts on responses of a riparian consumer to cross-ecosystem subsidies. *Ecology*, 89(6), 1489-1496. <https://doi.org/10.1890/07-0749.1>

GREENWOOD, M.J., & MCINTOSH, A.R. (2010). Low river flow alters the biomass and population structure of a riparian predatory invertebrate. *Freshwater Biology*, 55(10), 2062-2076. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2010.02462.x>

GULLINO, M.L., ALBAJES, R., AL-JBOORY, I., ANGELOTTI, F., CHAKRABORTY, S., GARRETT, K.A., HURLEY, B.P., JUROSZEK, P., LOPIAN, R., MAKKOUK, K., PAN, X. & PUGLIESE, M. (2022). Climate Change and Pathways Used by Pests as Challenges to Plant Health in Agriculture and Forestry. *Sustainability*, 14, 12421. <https://doi.org/10.3390/su141912421>

H,K

HARMON, M., FRANKLIN, J., SWANSON, F., SOLLINS, P., GREGORY, S., LATTIN, J., ANDERSON, N., CLINE, S., AUMEN, N., SEDELL, J., LIENKAEMPER, J., CROMACK JR., K. & CUMMINS, K. (2004). Ecology of Coarse Woody Debris in Temperate Ecosystems. *Advances in Ecological Research* 34, 59-234. [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(03\)34002-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(03)34002-4)

KUPFERBERG, S.J., MOIDU, H., ADAMS, A.J., CATENAZZI, A., GREFSRUD, M., BOBZIEN, S., LEIDY, R. & CARLSON, S.M. (2022). Seasonal drought and its effects on frog population dynamics and amphibian disease in intermittent streams. *Ecohydrology*, 15(5), e2395. <https://doi.org/10.1002/eco.2395>

L

LAL, R. (2004). Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science*, 304, 1623-1627. DOI:10.1126/science.1097396

LAL, R. (2020). Soil organic matter and water retention. *Agronomy Journal*, 112, 3265-3277. <https://doi.org/10.1002/agj2.20282>

LARJAVAARA, M., BROTONS, L., CORTICEIRO, S., ESPELTA, J.M., GAZZARD, R., LEVERKUS, A., LOVRIC, N., MAIA, P., SANDERS, T., SVOBODA, M., THOMAS, A. & VANDEKERKHOVE, K. (2023). *Deadwood and Fire Risk in Europe*, Publications Office of the European Union, Luxembourg. doi:10.2760/553875, JRC134562

LARRIEU, L., COURBAUD, B., DRÉNOU, C., GOULARD, M., BÜTLER, R., KRAUS, D., KRUMM, F., LACHAT, T., MÜLLER, J., PAILLET, Y., SCHUCK, A., STILLHARD, J., SVOBODA, M. & VANDEKERKHOVE, K. (2022). Key factors determining the presence of Tree-related Microhabitats: a synthesis of potential 1 factors at site, stand and tree scales, with perspectives for further research. *Forest Ecology Management*, 515, 120235. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120235>

LASANTA, T., ARNÁEZ, J., PASCUAL, N., RUIZ-FLAÑO, P., ERREA, M.P. & LANA-RENAULT, N. (2017). Space-time process and drivers of land abandonment in Europe. *Catena*, 149, 810-823. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.02.024>

LI, X., LI, Y., ZHANG, J., PENG, S., CHEN, Y. & CAO, Y. (2020). The effects of forest thinning on understory diversity in China: A meta-analysis. *Land Degradation*

tion & Development, 31(10), 1225-1240. <https://doi.org/10.1002/ldr.3540>

LLORET, F., ESCUDERO, A., IRIONDO, J.M., MARTÍNEZ-VILALTA, J. & VALLADARES, F. (2012). Extreme climatic events and vegetation: the role of stabilizing processes. *Global Change Biology*, 18, 797-805. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02624.x>

LLORET, F. & BATLLORI, E. (2021). Climate-Induced Global Forest Shifts due to Heatwave-Drought. *Ecosystem Collapse and Climate Change*, 155-186. https://doi.org/10.1007/978-3-030-71330-0_7

LOZANOVSKA, I., RIVAES, R., VIEIRA, C., FERREIRA, M.T. & AGUIAR, F.C. (2020). Streamflow regulation effects in the Mediterranean rivers: How far and to what extent are aquatic and riparian communities affected? *Science of The Total Environment*, 749, 141616. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141616>

M

MACEDA-VEIGA, A., MONLEON-GETINO, A., CAIOLA, N., CASALS, F. & DE SOSTOA, A. (2010). Changes in fish assemblages in catchments in north-eastern Spain: biodiversity, conservation status and introduced species. *Freshwater Biology*, 55, 1734-1746. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2010.02407.x>

MARGALEF-MARRASÉ, J., BAGARIA, G. & LLORET, F. (2022). Canopy self-replacement in *Pinus sylvestris* rear-edge populations following drought-induced die-off and mortality. *Forest Ecology and Management*, 521, 120427. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120427>

MARGALEF-MARRASÉ, J., MOLOWNY-HORAS, R., JAIME, L. & LLORET, F. (2023). Modelling the dynamics of *Pinus sylvestris* forests after a die-off event under climate change scenarios. *Science of The Total Environment*, 856, 159063. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159063>

MARTÍNEZ-VILALTA, J., LÓPEZ, B.C., LOEPFE, L. & LLORET, F. (2012). Stand- and tree-level determi-

nants of the drought response of Scots pine radial growth. *Oecologia*, 168, 877–888. <https://doi.org/10.1007/s00442-011-2132-8>

MARTÍNEZ-VILALTA, J., LLORET, F. & BRESHEARS, D.D. (2012). Drought-induced forest decline: causes, scope and implications. *Biology Letters*, 8(5), 689–91. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2011.1059>

MAS-MARTÍ, E., GARCÍA-BERTHOU, E., SABATER, S., TOMANOVA, S. & MUÑOZ, I. (2010). Comparing fish assemblages and trophic ecology of permanent and intermittent reaches in a Mediterranean stream. *Hydrobiologia*, 657, 167–180. <https://doi.org/10.1007/s10750-010-0292-x>

McCLUNEY, K.E. (2017). Implications of animal water balance for terrestrial food webs. *Current opinion in insect science*, 23, 13–21. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2017.06.007>

McSHEA, W.J. (2000). The influence of acorn crops on annual variation in rodent and bird populations. *Ecology*, 81(1), 228–238. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2000\)081\[0228:TIO-ACO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2000)081[0228:TIO-ACO]2.0.CO;2)

McMENAMIN, S.K., HADLY, E.A. & WRIGHT, C.K. (2008). Climatic change and wetland desiccation cause amphibian decline in Yellowstone National Park. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(44), 16988–16993. <https://doi.org/10.1073/pnas.0809090105>

MERCIAI, R., BAILEY, L., BESTGEN, K., FAUSCH, K., ZAMORA, L., SABATER, S. & GARCÍA-BERTHOU, E. (2018). Water diversion reduces abundance and survival of two Mediterranean cyprinids. *Ecology of Freshwater Fish*, 27, 481–491. <https://doi.org/10.1111/eff.12363>

MERCIAI, R., MOLONS-SIERRA, C., SABATER, S. & GARCÍA-BERTHOU, E. (2017). Water abstraction affects abundance, size-structure and growth of two threatened cyprinid fishes. *Plos One*, 12(4), E0175932. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175932>

MOLINA GALLART, D. (2002). *El proceso de desertización demográfica de la montaña pirenaica en el largo plazo: Cataluña. Ager*. Revista de Estudios sobre Despoblación y Desarrollo Rural [en línea]. 81–99. ISSN: 1578-7168

MONTORI, A. & AMAT, F. (2023). Surviving on the edge: present and future effects of climate warming on the common frog (*Rana temporaria*) population in the Montseny massif (NE Iberia). *PeerJ Publishing*, 11, e14527. <https://doi.org/10.7717/peerj.14527>

MORÁN-ORDÓÑEZ, A., AMEZTEGUI, A., CÁCERES, M.D., DE-MIGUEL, S., LEFÈVRE, F., BROTONS, L. & COLL, L. (2020). Future trade-offs and synergies among ecosystem services in Mediterranean forests under global change scenarios. *Ecosystem Services*, 45, 101174. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101174>

MORENO-DE-LAS-HERAS, M., BOCHET, E., VICENTE-SERRANO, S.M., ESPIGARES, T., MOLINA, M.J., MONLEÓN, V., NICOLAU, J.M., TORMO, J. & GARCÍA-FAYOS, P. (2023). Drought conditions, aridity and forest structure control the responses of Iberian holm oak woodlands to extreme droughts: A large-scale remote-sensing exploration in eastern Spain. *Science of the Total Environment*, 901, 165887. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165887>

MORENO-RUEDA, G., PLEGUEZUELOS, J.M., PIZARRO, M. & MONTORI, A. (2012). Northward Shifts of the Distributions of Spanish Reptiles in Association with Climate Change. *Conservation Biology*, 26, 278–283. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2011.01793.x>

MOSS, W.E., McDEVITT-GALLES, T., MUTHS, E., BOBZIEN, S., PURIFICATO, J., & JOHNSON, P.T. (2021). Resilience of native amphibian communities following catastrophic drought: Evidence from a decade of regional-scale monitoring. *Biological Conservation*, 263, 109352. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109352>

MÚRRIA, C., SÁINZ-BARIÁIN, M., VOLGER, A.P., VIZA, A., GONZÁLEZ, M. & ZAMORA-MUÑOZ, C. (2020). Vulnerability to climate change for two endemic high-elevation, low-dispersive Annitella species (Trichoptera)

in Sierra Nevada, the southernmost high mountain in Europe. *Insect conservation and diversity*, 13(3), 283–295. <https://doi.org/10.1111/icad.12387>

N

NAIMAN, R.J. & DECAMPS, H. (1997). The ecology of interfaces: Riparian Zones. *Annual review of Ecology and Systematics*, 28(1), 621–658. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.28.1.621>

NILSSON, C. & SVEDMARK, M. (2002). Basic Principles and Ecological Consequences of Changing Water Regimes: Riparian Plant Communities. *Environmental Management*, 30(4), 468–480. <https://doi.org/10.1007/s00267-002-2735-2>

O

OBERLE, B., OGLE, K., ZANNE, A.E. & WOODALL, C.W. (2018). When a tree falls: Controls on wood decay predict standing dead tree fall and new risks in changing forests. *PLoS One*, 13(5), e0196712. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196712>

OFICINA CATALANA DEL CANVI CLIMÀTIC. (2022). *Evolució de les explotacions familiars agràries a Catalunya*.

P

PACE, M.L., COLE, J.J., CARPENTER, S.R., KITCHELL, J.F., HODGSON, J.R., VAN DE BOGERT, M.C., BADE, D.L., KRITZBERG, E.S. & BASTVIKEN, D. (2004). Whole-lake carbon-13 additions reveal terrestrial support of aquatic food webs. *Nature*, 427(6971), 240–243. <https://doi.org/10.1038/nature02227>

PALMERO-INIESTA, M., DOMÈNECH, R., MOLINA-TERÉN, D., ESPELTA, J.M. (2017). Fire behavior in Pinus halepensis thickets: Effects of thinning and woody debris decomposition in two rainfall scenarios. *Forest Ecology and Management*, 404, 230–240. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.08.043>

PALMERO-INIESTA, M. & ESPELTA, J.M. (2017). *Importància ecològica i gestió de les restes llenyoses en pinedes de pi blanc en regeneració*. CREA i Diputació de Barcelona. <https://www.diba.cat/web/incendis/seguiment-post-incendi>

PAUSAS, J.G. & FERNÁNDEZ-MUÑOZ, S. (2012). Fire regime changes in the Western Mediterranean Basin: From fuel-limited to drought-driven fire regime. *Climatic Change*, 110(1–2), 215–226. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0060-6>

PEGUERO, G., FOLCH, E., LIU, L., OGAYA, R. & PEÑUELAS, J. (2021). Divergent effects of drought and nitrogen deposition on microbial and arthropod soil communities in a Mediterranean forest. *European Journal of Soil Biology*, 103, 103275. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2020.103275>

PEGUERO, G., SOL, D., ARNEO, M., PETERSEN, H., SALMON, S., PONGE, J.F., MASPONS, J., EMMETT, B., BEIER, C., SCHMIDT, I.K., TIETEMA, A., DE ANGELIS, P., KOVÁCS-LÁNG, E., KRÖEL-DULAY, G., ESTIARTE, M., BARTRONS, M., HOLMSTRUP, M., JANSSENS, I.A. & PEÑUELAS, J. (2019). Fast attrition of springtail communities by experimental drought and richness–decomposition relationships across Europe. *Global Change Biology*, 25(8), 2727–2738. <https://doi.org/10.1111/gcb.14685>

PEÑUELAS, J. & SARDANS, J. (2021). Global Change and Forest Disturbances in the Mediterranean Basin: Breakthroughs, Knowledge Gaps, and Recommendations. *Forests* 12, 603. <https://doi.org/10.3390/f12050603>

PÉREZ-BLANCO, D., LOCH, A., WARD, F., PERRY, C. & ADAMSON, D. (2021). Agricultural water saving through technologies: a zombie idea. *Environmental Research Letters*, 16, 114032. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac2fe0>

PÉREZ-MÉNDEZ, N., POMPOZZI, G., CATALA-FORNER, M. & MARRERO, H. (2024). Climate change mitigation strategies in rice farming entail cascading effects across ecosystem boundaries. IN PREPARATION.

PERIS, A., MAMPEL, T., VILELLA, M., PONS, D., REAL, J., PUIG-GIRONÈS, R. (IN PRESS). Spatio-temporal

- patterns of carnivore guild related to their prey in a Mediterranean landscape. *Journal of Zoology*.
- PERRY, C., STEDUTO, P. & KARAJEH, F. (2017). *Does Improved irrigation technology save water? A review of the evidence*. FAO. ISBN 978-92-5-109774-8.
- PRÍVĚTIVÝ, T., JANÍK, D., UNAR, P., ADAM, D., KRÁL, K. & VRŠKA, T. (2016). How do environmental conditions affect the deadwood decomposition of European beech (*Fagus sylvatica* L.)? *Forest Ecology and Management*, 381, 177–187. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.09.033>
- PUIG-GIRONÈS, R., CLAVERO, M. & PONS, P. (2018). Importance of internal refuges and the external unburnt area in the recovery of rodent populations after wildfire. *International Journal of Wildland Fire*, 27(6), 425–436. <https://doi.org/10.1071/WF17102>
- PUIG-GIRONÈS, R. (2023). Can predators influence small rodent foraging activity rates immediately after wildfires? *International Journal of Wildland Fire*, 32(10), 1391–1403. <https://doi.org/10.1071/WF23023>
- PUIG-GIRONÈS, R., MURIANA, M., REAL, J. & SABATÉ, S. (2023). Unravelling the influence of annual weather conditions and Mediterranean habitat types on acorn production availability and predation. *Forest Ecology and Management*, 543, 121149. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121149>
- PUIG-GIRONÈS, R. & PONS, P. (2023). Mice population dynamics and structure over time and space after wildfires. *Journal of Zoology*, 321(2), 128–141. <https://doi.org/10.1111/jzo.13101>
- PUIG-GIRONÈS, R., BEL, G., CID, N., CAÑEDO-ARGÜELLES, M., FERNÁNDEZ-CALERO, J.M., QUEVEDO-ORTIZ, G., FORTUÑO, P., VINYOLÉS, D., REAL, J., PUJOL-BUXÓ, E. & BONADA, N. (2024). Water availability and biological interactions shape amphibian abundance and diversity in Mediterranean temporary rivers. *Science of The Total Environment*, 953, 175917. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175917>

R

- RADINGER, J., ALCARAZ-HERNÁNDEZ, J.D. & GARCÍA-BERTHO, E. (2019). Environmental filtering governs the spatial distribution of alien fishes in a large, human-impacted Mediterranean river. *Diversity and Distributions*, 25, 701–714. <https://doi.org/10.1111/ddi.12895>
- RICHARDSON, J.S. & SATO, T. (2015). Resource subsidy flows across freshwater–terrestrial boundaries and influence on processes linking adjacent ecosystems. *Ecohydrology*, 8(3), 406–415. <https://doi.org/10.1002/eco.1488>
- RICHTER, B., BAUMGARTNER, J., WIGINGTON, R. & BRAUN, D. (1997). How much water does a river need? *Freshwater Biology*, 37(1), 231–249. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1997.00153.x>
- RICHTER-BOIX, A., LLORENTE, G.A. & MONTORI, A. (2006). Breeding phenology of an amphibian community in a Mediterranean area. *Amphibia-Reptilia*, 27, 549–559. <https://doi.org/10.1163/156853806778877149>
- RICHTER-BOIX, A., LLORENTE, G.A. & MONTORI, A. (2007). Structure and dynamics of an amphibian metacommunity in two regions. *Journal of Animal Ecology*, 76(3), 607–618. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2007.01232.x>
- RIPPLE, W.J., ESTES, J.A., BESCHTA, R.L., WILMERS, C.C., RITCHIE, E.G., HEBBLEWHITE, M., BERGER, J., ELMHAGEN, B., LETNIC, M., NELSON, M.P., SCHMITZ, O.J., SMITH, D.W., WALLACH, A.D. & WIRSING, A.J. (2014). Status and ecological effects of the carnivores. *Science*, 343, 6167. <https://doi.org/10.1126/science.1241484>
- RIU, A., REAL, J., PUIG-GIRONÈS, R. (2024). *Influence of biotic and abiotic factors in a Mediterranean mountain food web*. Universitat de Barcelona.
- RUFFAULT, J., CURT, T., MORON, V., TRIGO, R., MOUILLOT, F., KOUTSIAS, N., PIMONT, F., MARTIN-STPAUL, N., BARBERO, R., DUPUY, J.L., RUSSO, A. & BELHADJ-KHEDHER, C. (2020). Increased likelihood of heat-induced large wild-

fires in the Mediterranean Basin. *Scientific Reports*, 10, 13790. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70069-z>

S

- SÁNCHEZ-HUMANES, B. & ESPELTA, J.M. (2011). Increased drought reduces acorn production in *Quercus ilex* coppices: thinning mitigates this effect but only in the short term. *Forestry*, 84(1), 73–82. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpq045>
- SÁNCHEZ MATEO, S. (2011). *Anàlisi socioecològica a la vall de Santa Fe (massís del Montseny): la transformació del paisatge a través de la història ambiental*. Universitat Autònoma de Barcelona.
- SCHULZ, R., BUNDSCHUH, M., GERGS, R., BRÜHL, C.A., DIEHL, D., ENTILING, M.H., FAHSE, L., FRÖR, O., JUNGKUNST, H.F., LORKE, A., SCHÄFER, R.B., SCHAUMANN, G.E. & SCHWENK, K. (2015). Review on environmental alterations propagating from aquatic to terrestrial ecosystems. *Science of The Total Environment*, 538, 246–261. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.038>
- SEARS, L., CAPARELLI, J., LEE, C., PAN, D., STRANDBERG, G., VUU, L., LIN-LAWELL, C.Y.C. (2018). Jevons' Paradox and Efficient Irrigation Technology. *Sustainability*, 10, 1590. <https://doi.org/10.3390/su10051590>
- SEIBOLD, S., RAMMER, W., HOTHORN, T., SEIDL, R., ULYSHEN, M.D., LORZ, J., CADOTTE, M.W., LINDENMAYER, D.B., ADHIKARI, Y.P., ARAGÓN, R., BAE, S., BALDRAN, P., BARIMANI-VARANDI, H., BARLOW, J., BÄSSLER, C., BEAUCHÊNE, J., BERENGUER, E., BERGAMIN, R.S., BIRKEMOE, T., BOROS, G., BRANDL, R., BRUSTEL, H., BURTON, P.J., CAKPO-TOSSOU, Y.T., CASTRO, J., CATEAU, E., COBB, T.P., FARWIG, N., FERNÁNDEZ, R.D., FIRN, J., GAN, K.S., GONZÁLEZ, G., GOSSNER, M.M., HABEL, J.C., HÉBERT, C., HEIBL, C., HEIKKALA, O., HEMP, A., HEMP, C., HJÄLTÉN, J., HOTES, S., KOUKI, J., LACHAT, T., LIU, J., LIU, Y., LUO, Y.H., MACANDOG, D.M., MARTINA, P.E., MUKUL, S.A., NACHIN, B.,

NISBET, K., O'HALLORAN, J., OXBROUGH, A., PANDEY, J.N., PAVLÍČEK, T., PAWSON, S.M., RAKOTONDRA-NARY, J.S., RAMANAMANJATO, J.B., ROSSI, L., SCHMIDL, J., SCHULZE, M., SEATON, S., STONE, M.J., STORK, N.E., SURAN, B., SVERDRUP-THYGESON, A., THORN, S., THYAGARAJAN, G., WARDLAW, T.J., WEISSER, W.W., YOON, S., ZHANG, N. & MÜLLER, J. (2021). The contribution of insects to global forest deadwood decomposition. *Nature*, 597, 77–81. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03740-8>

SELWOOD, K.E., THOMSON, J.R., CLARKE, R.H., MCGEOCH, M.A. & MAC NALLY, R. (2015). Resistance and resilience of terrestrial birds in drying climates: do floodplains provide drought refugia? *Global Ecology and Biogeography*, 24(7), 838–848. <https://doi.org/10.1111/geb.12305>

SIMON, D.C. & AMEZTEGUI, A. (2023). Modelling the influence of thinning intensity and frequency on the future provision of ecosystem services in Mediterranean mountain pine forests. *European Journal Forest Research*, 1–15. <https://doi.org/10.1007/s10342-023-01539-y>

SIRE, L., YÁÑEZ, P.S., WANG, C., BÉZIER, A., COURTIAL, B., COURS, J., FONTANETO, D., LARRIEU, L., BOUGET, C., THORN, S., MÜLLER, J., YU, D.W., MONAGHAN, M.T., HERNIOU, E.A. & LOPEZ-VAAMONDE, C. (2022). Climate-induced forest dieback drives compositional changes in insect communities that are more pronounced for rare species. *Communications Biology*, 5(1), 57. <https://doi.org/10.1038/s42003-021-02968-4>

SISQUELLA, M. & REGUANT, F. (2021). Importància estratègica del regadiu a Catalunya. Innovació i casos d'èxit. *Quaderns Agraris* (Institució Catalana d'Estudis Agraris), núm. 50, 129–147.

SMITH, H.G., SHERIDAN, G.J., LANE, P.N.L., NYMAN, P. & HAYDON, S. (2011). Wildfire effects on water quality in forest catchments: A review with implications for water supply. *Journal of Hydrology*, 396 (1-2), 170–192. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.10.043>

SMITH, M.D. & KNAPP, A.K. (2003). Dominant species maintain ecosystem function with non-random species loss. *Ecology letters*, 6(6), 509-517. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2003.00454.x>

SOHN, J.A., SAHA, S. & BAUHUS, J. (2016). Potential of forest thinning to mitigate drought stress: A meta-analysis. *Forest Ecology Management*, 380, 261–273. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.07.046>.

STEWART, A.L., DATRY, T. & LANGHANS, S.D. (2022). The terrestrial and semi-aquatic invertebrates of intermittent rivers and ephemeral streams. *Biological Reviews*, 97, 1408–1425. <https://doi.org/10.1111/brv.12848>

T

TAYLOR, C., BLANCHARD, W. & LINDENMAYER, D.B. (2021). Does forest thinning reduce fire severity in Australian eucalypt forests? *Conservation Letters*, 14 (2). <https://doi.org/10.1111/conl.12766>.

THOM, D., SOMMERFELD, A., SEBALD, J., HAGGE, J., MÜLLER, J. & SEIDL, R. (2020). Effects of disturbance patterns and deadwood on the microclimate in European beech forests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 291, 108066. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108066>

TORRE, I., BASTARDAS-LLABOT, J., ARRIZABALAGA, A. & DÍAZ, M. (2020). Population dynamics of small endotherms under global change: Greater white-toothed shrews *Crocidura russula* in Mediterranean habitats. *Science of the Total Environment*, 705, 135799. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135799>

TORRE, I., PUIG-MONTSERRAT, X. & DÍAZ, M. (2023). Global change effects on Mediterranean small mammal population dynamics: Demography of Algerian mice (*Mus spretus*) a long land use and climate gradients. *Science of The Total Environment*, 863, 160875. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160875>

[totenv.2022.160875](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160875)

TRASOBARES, A., MOLA-YUDEGO, B., AQUILUÉ, N., GONZÁLEZ-OLABARRIA, JR., GARCIA-GONZALO, J., GARCÍA-VALDÉS, R. & DE CÁCERES, M. (2022) Nationwide climate-sensitive models for stand dynamics and forest scenario simulation. *Forest Ecology and Management*, 505, 119909. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119909>

V, W

VALLADARES, F., BENAVIDES, R., RABASA, S.G., DÍAZ, M., PAUSAS, J.G., PAULA, S. & SIMONSON, W.D. (2014). *Global change and Mediterranean forests: current impacts and potential responses*. in Forests and Global Change, 47-75. Cambridge University Press.

VÁZQUEZ, J., REAL, J. & PUIG-GIRONÈS, R. (2024). *Identificant i avaluant els hàbitats que actuen com a refugi climàtic per als ocells davant d'una sequera*. Universitat de Barcelona.

VICENTE-SERRANO, S.M., LOPEZ-MORENO, J.I., BEGUERÍA, S., LORENZO-LACRUZ, J., SANCHEZ-LORENZO, A., GARCÍA-RUIZ, J.M., AZORIN-MOLINA, C., MORÁN-TEJADA, E., REVUELTO, J. & TRIGO, R. (2014). Evidence of increasing drought severity caused by temperature rise in southern Europe. *Environmental Research Letters*, 9(4), 044001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/4/044001>

VILELLA, M., FERRANDIZ-ROVIRA, M. & SAYOL, F. (2020). Coexistence of predators in time: Effects of season and prey availability on species activity within a Mediterranean carnivore guild. *Ecology and Evolution*, 10(20), 11408-11422. <https://doi.org/10.1002/ece3.6778>

VIZA, A., GARCIA-RAVENTÓS, A., RIERA, J., MAYNOU, X., MARTÍN, R., PRUNIER, F., ELHAISSOUFI, M. & MÚRRIA, C. (2023). Species-specific functional traits rather than phylogenetic relatedness better predict future range-shift responses of odonates. *Insect Conservation and Diversity*, 16(5), 574-587. <https://doi.org/10.1111/icad.12647>

WALLACE, J.B., EGGERT, S.L., MEYER, J.L. & WEBSTER, J.R. (1997). Multiple Trophic Levels of a Forest Stream Linked to Terrestrial Litter Inputs. *Science*, 277(5322), 102–104. <https://doi.org/10.1126/science.277.5322.102>

Z

ZARGAR, S.M., GUPTA, N., NAZIR, M., MAHAJAN, R., MALIK, F.A., SOFI, N.R., SHIKARI, A.B. & SALGOTRA, R.K. (2017). Impact of drought on photosynthesis: Molecular perspective. *Plant Gene*, 11, 154-159. <https://doi.org/10.1016/j.plgene.2017.04.003>

ZELLER, L., BAUMANN, C., GONIN, P., HEIDRICH, L., KEYE, C., KONRAD, F., LARRIEU, L., MEYER, P., SENNHENN-REULEN, H., MÜLLER, J., SCHALL, P. & AMMER, C. (2022). Index of biodiversity potential (IBP) versus direct species monitoring in temperate forests. *Ecological Indicators* 136, 108692. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108692>

ZYLSTRA, E.R., SWANN, D.E., HOSSACK, B.R., MUTHS, E. & STEIDL, R.J. (2019). Drought-mediated extinction of an arid-land amphibian: insights from a spatially explicit dynamic occupancy model. *Ecological Applications*, 29(3), e01859. <https://doi.org/10.1002/eap.1859>



OBSERVATORI DEL PATRIMONI
NATURAL I LA BIODIVERSITAT