

ANNA ÀVILA I JAUME TERRADAS (EDS.)

AULA D'ECOLOGIA

CICLE DE CONFERÈNCIES
2002

Universitat Autònoma de Barcelona
Servei de Publicacions
Bellaterra, 2003

DADES CATALOGRÀFIQUES RECOMANADES PEL SERVEI DE BIBLIOTEQUES
DE LA UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA

Aula d'Ecologia : cicle de conferències 2002 ; Anna Àvila, Jaume Terradas (eds.). — Bellaterra :
Universitat Autònoma de Barcelona. Servei de Publicacions, 2003. — (Ciència i Tècnica ; 24. Ecologia)

ISBN 84-490-2316-5

I. Universitat Autònoma de Barcelona
II. Col·lecció
III. Àvila, Anna
IV. Terradas, Jaume
1. Diversitat biològica — Congressos
502.3(063)

L'Aula d'Ecologia ha estat, en els cicles del 1996 al 2002, una iniciativa de l'Ajuntament
de Barcelona, en conveni amb la Universitat Autònoma de Barcelona, que ha tingut el suport,
en la coordinació i secretaria, del Centre de Recerca Ecològica i d'Aplicacions Forestals (CREAF).

Director de l'Aula d'Ecologia

Jaume Terradas i Serra, catedràtic d'Ecologia de la UAB

Coordinadors per l'Ajuntament de Barcelona

Margarita Parés i Rifà, Pau Rodríguez i Montequín

Preparació dels textos (resums de les ponències)

Anna Àvila (CREAF)

Coordinació de les sessions

Pilar Andrés (CREAF)

Anna Àvila (CREAF)

Il·lustració de la coberta

????????????????????????????????

Composició

Medusa

Edició i impressió

Universitat Autònoma de Barcelona

Servei de Publicacions

08193 Bellaterra (Barcelona). Spain

Tel. 93 581 10 22. Fax 93 581 32 39

sp@uab.es

ISBN 84-490-2316-5

Dipòsit legal: B. 18.442-2003

Impress a Espanya. Printed in Spain

Impress en paper ecològic



Aquesta publicació no pot ser reproduïda, ni totalment ni parcialment, ni enregistrada en, o transmesa per, un
sistema de recuperació d'informació, en cap forma ni per cap mitjà, sia fotomecànic, fotoquímic, electrònic, per
fotocòpia o per qualsevol altre, sense el permís previ de l'editor.

Índex

- 9-11 Pròleg, per Jaume Terradas i Serra
13 Ponents i programes de l'Aula d'Ecologia de l'any 2002

Setè cicle de conferències 2002

- 15-21 **Alfredo Ruiz**
Evolució i conservació de la biodiversitat
- 23-27 **Jordi Agustí**
Evolució de la biodiversitat al llarg del temps geològic
- 29-34 **Francisco Lloret**
Funció ecològica de la biodiversitat
- 35-40 **Miquel Riba**
Espècies prop de l'extinció
- 41-46 **Pere Arús**
La diversitat genètica en els conreus
- 47-50 **Miquel Alcaraz**
La diversitat en el medi marí
- 51-55 **Adolf de Sostoa**
La diversitat de vertebrats a l'Amazònia
- 57-61 **Eduard Durany**
Els ocells de la ciutat de Barcelona
- 63-71 **Xavier Font**
El banc de dades de biodiversitat a Catalunya
- 73-78 **Jaume Vicens**
La diversitat biològica aplicada a la gestió de parcs naturals.
En cal un model?

- 79-84 **Antoni Alarcón**
La recuperació del front litoral del Besòs
- 85-91 **Joan Subirats**
Diversitat intercultural

Pròleg

Jaume Terradas i Serra

Catedràtic d'Ecologia de la UAB
i director de l'Aula d'Ecologia

Aquest nou volum de resums de les conferències fetes a l'Aula d'Ecologia, que organitza l'Ajuntament de Barcelona conjuntament amb la Universitat Autònoma de Barcelona, recull les de l'any 2002 i es diferencia dels anteriors en el fet que, per una vegada, totes es poden incloure en un únic tema general, el de la biodiversitat. Com en els anys anteriors, les entitats organitzadores van comptar amb la cooperació del Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF) i, també com a les darreres edicions, la seu de l'Aula va ser el Centre de Recursos Barcelona Sostenible. Els resums han estat elaborats un any més per la doctora Anna Àvila, investigadora del CREAF, i revisats pels ponents, excepte el del senyor Alarcón, que va ser escrit directament per l'autor.

La tria d'un tema únic, apartant-nos de la tradició de les sis edicions anteriors d'aquests cicles de conferències, es va deure a la importància que aquest tema tenia en relació amb els compromisos plantejats per l'Agenda 21 i també a l'interès que havia generat de cara a la cimera de Johannesburg. Tanmateix, les conferències van mantenir les seves característiques d'aportacions molt lliures per part dels autors i debats posteriors igualment oberts. La selecció de conferencians va incloure, un cop més, alguns dels més reconeguts experts en la matèria i va permetre de recórrer un ventall de qüestions molt ampli.

Un primer bloc de conferències va abordar els mecanismes geològics i biològics de formació i manteniment de la biodiversitat i d'extinció. L'Alfredo Ruiz va fer una aproximació evolutiva al desenvolupament de la diversitat, des de l'òptica de la genètica, i va incidir també en les conseqüències que hem de treure dels coneixements sobre l'evolució i la filogènia a l'hora de dissenyar polítiques de conservació. En Jordi Agustí es va ocupar també de l'evolució, però en una perspectiva temporal, basada en el registre fòssil, en la qual va poder posar de manifest les fluctuacions experimentades per la biodiversitat com a resultat de diversos

processos d'extinció i, de manera molt rellevant, la tendència general a l'augment de la biodiversitat propiciada per processos geològics lligats a la dinàmica de l'escorça terrestre. En Francisco Lloret va exposar la relació de la biodiversitat amb el funcionament dels sistemes ecològics, tant pel que fa a la teoria com a les principals evidències experimentals, insistint en el paper de la biodiversitat com a garant del manteniment dels mecanismes funcionals sota una varietat de condicions ambientals i en resposta a perturbacions. En Pere Arús es va referir a la generació de nova diversitat, en aquest cas a nivell subespecífic, en els conreus, la qual cosa, a més, va permetre entrar en un repàs de les principals tècniques moleculars emprades en genètica que es relacionen amb l'estudi de la biodiversitat.

Un segon grup de conferències va considerar la biodiversitat en diferents ambients. En Miquel Alcaraz es va referir a la biodiversitat en el medi marí, especialment en el plàncton. L'Adolf de Sostoa va descriure les característiques dels ambients amb més biodiversitat del món, a l'Amazònia, per explicar aquesta biodiversitat en el cas dels vertebrats. L'Eduard Durany es va ocupar d'un tema de gran interès local en el marc de l'Agenda 21, com és la biodiversitat d'ocells a la ciutat de Barcelona, que va relacionar amb els diferents ambients que es donen a la ciutat.

Tres conferències van tenir una molt forta component pràctica. En Xavier Font va explicar l'estructura, funcionament, contingut i ús del Banc de Dades de Biodiversitat de Catalunya, eina indispensable per a estudis científics o consultes relacionades amb previsió d'impactes i planejament. En Jaume Vicens es va ocupar de la gestió dirigida a la conservació de la biodiversitat mitjançant àrees protegides, fent un ampli repàs de fortal·leses i debilitats en el sistema actual d'espais protegits català. L'Antoni Alarcón va presentar les iniciatives de restauració dirigides a recuperar la biodiversitat al darrer tram i front litoral del riu Besòs, exposant les tècniques emprades i els resultats, molt positius, d'aquestes actuacions.

La conferència de Joan Subirats va ser la única que no va tractar de biodiversitat, sinó d'un tema que també té una enorme importància, el de la diversitat intercultural. Els organitzadors vam creure interessant disposar d'una oportunitat per veure possibles similituds i diferències entre els conceptes emprats per estudiar la diversitat en la perspectiva més naturalista i la social. El conferenciant va tractar sobretot de la immigració, les legislacions i polítiques que s'hi refereixen i les idees subjacents sobre el fenomen en aquestes mesures.

Entenem que l'Aula d'Ecologia 2002 va tornar a oferir als assistents la possibilitat d'obtenir coneixements que els ajudessin a formar-se opinions ben fonamentades sobre qüestions del màxim interès ambiental.

No hi ha dia en què no es posin de manifest les dimensions complexíssimes de la qüestió ambiental i la necessitat de fomentar el coneixement, la reflexió i la presa de decisions adequades. Aquest és el camp en què l'Aula d'Ecologia vol fer la seva aportació, i, a la vista de l'interès de les aportacions de les conferències del 2002, hem cregut útil, un cop més, posar-les almenys parcialment a disposició d'un públic més ampli amb la publicació d'aquests resums.

Com a director de l'Aula, vull agrair un any més la voluntat institucional de l'Ajuntament de Barcelona, representada per la regidora i tinenta d'alcalde Imma Mayol i Beltran i pel gerent del Sector Manteniment i Serveis, Ricard Frigola i Pérez, i de la Universitat Autònoma de Barcelona, de perseverar a organitzar aquests cicles, i al CREAM la seva important aportació. Més específicament, cal reconèixer la contribució logística essencial que han fet els responsables i personal del Centre de Recursos Barcelona Sostenible, el personal del Servei de Publicacions de la UAB, especialment en Carlos Alonso, els secretaris de la Unitat d'Ecologia de la UAB Javier Jerónimo, i del CREAM Marta Barceló, la feina de coordinació d'en Pau Rodríguez i la Margarita Parés des de l'Ajuntament i la coordinació de sessions que han fet l'Anna Àvila i la Pilar Andrés. I, de manera molt especial, és clar, les dels ponents i de la doctora Anna Àvila en la redacció dels textos.

Gener de 2003

Ponents i programes de l'Aula d'Ecologia de l'any 2002

Setè cicle de conferències 2002

Alfredo Ruiz: Evolució i conservació de la biodiversitat (14 de febrer).

Francisco Lloret: Funció ecològica de la biodiversitat (21 de febrer).

Jordi Agustí: Evolució de la biodiversitat al llarg del temps geològic (28 de febrer).

Miquel Riba: Espècies prop de l'extinció (7 de març).

Antoni Alarcón: Recuperació de biòtops en el medi marí. El front litoral del Besòs (14 de març).

Eduard Durany: Els ocells de la ciutat de Barcelona (21 de març).

Xavier Font: Banc de dades de diversitat a Catalunya (4 de abril).

Joan Subirats: Diversitat cultural i societats interculturals. Interrogants i polítiques (11 de abril).

Jaume Vicens: La diversitat biològica aplicada a la gestió d'espais naturals. En cal un model? (18 de abril).

Adolf de Sostoa: Diversitat de vertebrats a l'Amazònia (25 de abril).

Pere Arús: Diversitat genètica en els conreus (2 de maig).

Miquel Alcaraz: La diversitat en el medi marí (9 de maig).

Fruit de la ja antiga col·laboració —iniciada el 1980— en el camp de l'ecologia urbana entre l'Ajuntament de Barcelona i la Universitat Autònoma de Barcelona, el 1996 neix l'Aula Permanent d'Ecologia de la Ciutat. L'Aula d'Ecologia té els seus orígens en el propòsit de consolidar un nucli de debat sobre la qüestió ambiental. Des de la seva creació, l'Aula d'Ecologia ha organitzat un cicle de conferències anual i, des del cicle de 1997, els resums s'han publicat en volums d'aquesta mateixa sèrie.

En el present volum, s'inclouen els resums del cicle de l'any 2002, que va ser dedicat de manera monogràfica al tema de la biodiversitat. Es van tractar en aquest cicle els aspectes més científics, com els relatius a genètica i mecanismes evolutius (Alfredo Ruiz), el registre fòssil evolutiu (Jordi Agustí), la funció ecològica de la biodiversitat (Francisco Lloret), el comportament d'espècies prop de l'extinció (Miquel Riba); també d'altres components a estudis de casos concrets, sigui d'abast molt general, com l'Amazònia (Adolf de Sostoa), el medi marí (Miquel Alcaraz), l'agricultura (Pere Arús), o d'abast més particular barceloní, com els biòtops marins i el litoral del Besòs (Antoni Alarcón), o els ocells de Barcelona (Eduard Durany); altres temes van tractar de la gestió (Jaume Vicens) i la recopilació de bancs de dades a Catalunya (Xavier Font). En un context diferent, no biològic sinó social, es va situar la conferència sobre diversitat cultural, de Joan Subirats.

Creiem que l'espectre temàtic descrit certament no esgota la gran complexitat de qüestions que es poden vincular a la biodiversitat, però ofereix un panorama força equilibrat de conceptes, casos concrets, eines i línies d'actuació. Això ha estat possible per la qualitat de les conferències, que es van encarregar, un any més, a personalitats rellevants, experts amb trajectòries que els fan profunds coneixedors dels temes tractats. L'interès de les sessions, també un any més, es va veure molt enriquit pels debats, generalment vius i oportuns, amb els assistents.

ISBN 84-490-2316-5



9 788449 023163

Evolució i conservació de la biodiversitat

Alfredo Ruiz

La biodiversitat de la Terra és el producte de quatre mil milions d'anys d'evolució. L'home és una espècie molt recent en el planeta i, tot i ser d'aparició tan recent, està causant uns impactes sense precedents que poden condicionar la posterior evolució de la biodiversitat. Analitzaré aquí les conseqüències evolutives de l'acció de l'home en la biosfera, i presentaré algunes estratègies que ens indiquen, des del punt de vista evolucionista, com podem mantenir aquesta biodiversitat.

La diversitat és un producte de l'evolució, i, per tant, l'estudi de com s'ha originat aquesta biodiversitat i la seva evolució hauria de proporcionar eines per predir els canvis i per dissenyar millors estratègies de conservació.

Conseqüències evolutives de l'impacte humà sobre la biosfera

Extinció d'espècies

Una primera conseqüència de l'impacte de l'home sobre la biota és l'extinció d'espècies. Les extincions provocades per l'home no són un fenomen recent: fa uns quinze mil anys, quan l'home va colonitzar el continent nord-americà, ja es produí l'extinció dels grans mamífers. Recentment, però, la taxa d'extinció ha esdevingut molt ràpida. En els darrers quatre-cents anys s'ha documentat l'extinció d'unes set-centes espècies, i això encara seria una subestimació, a causa del desconeixement profund d'alguns grups taxonòmics. En dos grups força ben coneguts, com són les aus i els mamífers, el nombre d'espècies extingides és d'unes dues-centes, xifra que representa una proporció considerable del total d'espècies d'aquests tàxons. Aquesta taxa és de dos o tres ordres de magnitud més gran de la que correspondria per l'extinció natural.

En la història de la Terra hi ha hagut períodes d'extincions massives. En els darrers sis-cents milions d'anys s'han produït cinc períodes d'ex-

tinció massiva, coincidint amb crisis ambientals molt importants en el planeta. Dades del registre fòssil d'organismes marins, que és molt fiable i complet, mostren com s'han desenvolupat els processos d'extinció i la posterior recuperació. En general, després d'una extinció s'ha produït una recuperació, de manera que, globalment, la tendència és cap a un increment de la diversitat. I això fa que actualment estiguem en el període de màxima diversitat. El registre indica també que el període necessari per a la recuperació de la diversitat és força llarg, de l'ordre de desenes de milions d'anys. Hi ha alguns autors que opinen que som a les portes d'un sisè episodi d'extinció. Si fos així, i la recuperació d'aquesta extinció durés unes quantes desenes de milions d'anys, podríem pensar que l'espècie humana no existiria ja en el planeta per veure-la.

El motiu per explicar la lentitud de la recuperació és que el procés que porta a la generació de noves espècies demana temps. En molts grups es considera que les espècies sorgeixen per especiació geogràfica. Això requereix que la població original se separi en dos o més grups i que aquests es mantinguin aïllats per barreres geogràfiques. Amb el pas de les generacions les subpoblacions s'adaptaran als seus respectius ambients i finalment seran prou diferents per constituir espècies diferents, aïllades reproductivament. Aquest procés requereix desenes de milers de generacions; és a dir, molt de temps. A més, l'especiació necessita espai, ja que les espècies s'han de separar per barreres geogràfiques. Això ha anat sovint lligat a canvis geològics molt lents. Així doncs, l'especiació és molt lenta, i actualment no es produeix a un ritme prou àgil per compensar la taxa d'extinció.

L'espai necessari per a l'aparició d'espècies noves es pot deduir a partir de la mida de la illa més petita on hi ha hagut especiació (generació d'espècies noves) *in situ*. La mida varia entre els diferents grups d'organismes. Comparant la superfície necessària per a l'especiació amb la de molts parcs naturals, es pot deduir que els parcs són probablement massa petits perquè hi puguin aparèixer espècies noves d'ocells, peïxos, mamífers i plantes fanerògames, malgrat que sí que semblen suficients per a l'especiació d'amfibis i rèptils.

Extinció d'espècies i fragmentació de l'hàbitat

És evident que l'extinció d'espècies és només la punta de l'iceberg. El nombre de poblacions que desapareixen a mesura que els hàbitats es fragmenten i alteren es incalculable. Un exemple dramàtic d'aquest efecte és la desaparició de la selva Atlàntica del Brasil. Aquesta selva ocupava un milió de km² aproximadament, estenent-se en paral·lel a la costa atlàn-

tica del Brasil des de Recife fins a Rio Grande do Sul. Des de la colonització portuguesa s'ha anat destruint aquests boscos, fins que ara en queda només el 5% de l'hàbitat original, i, a més, està molt fragmentat: el fragment més gran té tan sols uns 7.000 km².

Espècies exòtiques

Un altre canvi evolutiu provocat per l'home és la invasió d'espècies. Intencionadament o sense saber-ho, l'home ha trencat les barreres que existien originalment per a les espècies i les mantenen dins d'uns límits geogràfics concrets, cosa que ha facilitat l'intercanvi d'espècies que anteriorment estaven aïllades. Les espècies invasores provoquen molts perjudicis en els ecosistemes envaïts: competeixen amb les espècies autòctones, les depreden, i transfereixen malalties d'una forma molt agressiva. Lluny de les seves zones d'origen, les espècies invasores sovint perden els seus enemics naturals i esdevenen plagues. Hi ha exemples d'invasions biològiques a tots els continents. A part de les espècies exòtiques, tenim les espècies oportunistes que s'aprofiten de l'expansió humana. Rates, pardals, escarabats, i altres insectes proliferen en els espais domèstics en augment per l'expansió urbana.

Conseqüències evolutives de l'escalfament global

Es calcula que en els darrers cent anys ha augmentat la temperatura de la Terra en 0,5 °C, i es preveu que augmentarà en 2 °C més en els propers cent anys. Aquest escalfament s'ha vist que ja està causant canvis en algunes poblacions. Per exemple, s'ha documentat un desplaçament geogràfic cap al nord de la papallona *Euphydryx editha* de Califòrnia. Si les espècies poden desplaçar-se, és perquè tenen possibilitat de dispersar-se, però tot sovint hi ha barreres per a l'espècie o hi ha fragmentació del seu hàbitat i la possibilitat de desplaçament queda interrompuda.

Estratègies per a la conservació. Identificació i conservació dels diversos llinatges en l'arbre de la vida

Per conservar la biodiversitat, seria prioritari contestar la pregunta: què és el que volem conservar? Des del punt de vista evolutiu la resposta és: les espècies. Les espècies són grups d'organismes que estan aïllats reproductivament i evolucionen com a llinatges independents. A més, normalment les espècies han desenvolupat diferències morfològiques, ecològiques i etològiques que poden contribuir al seu aïllament genètic

i a la seva coexistència en simpatria. Des del punt de vista evolutiu és molt clar que el que cal conservar són les espècies com a diversos llinatges de l'arbre de la vida.

S'han identificat 1,5 milions d'espècies, però aquest nombre probablement només constitueix una petita fracció de la diversitat existent.

Importància de la filogènia

S'han de tractar igual totes les espècies? Totes les espècies mereixen el mateix esforç de conservació? Totes les espècies valen el mateix?

Des del punt de vista evolutiu, el més lògic és conservar la major diversitat taxonòmica possible, el major nombre de llinatges diferents: el que s'anomena la diversitat filogenètica. En aquest sentit, s'hauria de tenir en compte la història evolutiva, és a dir, la suma de les longituds de totes les branques de l'arbre filogenètic de la vida. Si s'accepta això, és clar que les espècies no contribueixen en el mateix grau a la diversitat taxonòmica o a la història evolutiva i, per tant, haurien de rebre una diferent prioritització.

Per entendre això posaré l'exemple de la filogènia de l'ós panda. Durant molt de temps no se sabia ben bé on situar l'ós panda, si entre els óssos o entre els mapatxes. Els estudis moleculars van mostrar que efectivament l'ós panda pertany a la família dels óssos (*Ursidae*). Però el llinatge del panda se separà molt aviat de la resta dels óssos, fa uns vint milions d'anys, formant la subfamília exclusiva de l'ós panda (*Ailuropodinae*), de la qual és l'únic representant. Això confereix a aquesta espècie un valor superior al dels altres óssos, en el sentit que, si s'extingeix l'ós panda, desapareix tota una subfamília o vint milions d'anys d'història evolutiva. Des d'aquesta perspectiva, hi ha espècies amb major valor a l'hora de pensar en conservació. Això es pot quantificar. S'han proposat mètodes per assignar un valor a les espècies. Aquest procediment té l'avantatge de ser precís i de permetre combinar aquests valors amb altres criteris per tenir-los tots en compte en la presa de decisions.

Conservació de la història evolutiva

Recentment, Nee i May (1997) han abordat la mateixa qüestió des d'un altre punt de vista. Es pregunten, en un arbre d'una certa diversitat filogenètica mesurable per la longitud de les branques d'aquest, si es produeixen extincions, quina proporció de la diversitat filogenètica es perd. En les seves simulacions per ordinador, l'extinció es pot produir a l'atzar o bé selectivament (mitjançant un algorisme que maximitza la quantitat

d'història evolutiva conservada). Els resultats mostren que, per a arbres filogenètics de cinquanta a cinc-centes espècies, la quantitat d'història evolutiva que es conserva és molt alta malgrat que s'extingeixin la majoria de les espècies. Per exemple, amb una extinció aleatòria que elimina el 80% de les espècies, es manté encara el 50% de la història evolutiva d'aquest arbre. Si s'aplica l'algorisme de maximització, s'aconsegueix salvar només un 10% addicional. En resum, el que es vol dir en aquest treball és que, si s'extingeixen les espècies a l'atzar, es té aproximadament el mateix resultat que si es prioritzen les espècies. Però, hi ha dos problemes: 1) L'efecte de la pèrdua d'espècies és diferent depenent de la topologia de l'arbre: amb un arbre en forma d'arbust de moltes bifurcacions (*bush*), la pèrdua es menor que quan l'arbre té forma de pinta (*comb*). 2) Alguns autors han contestat que en molt poques ocasions l'extinció és aleatòria (tal com consideraven Nee i May), i això fa que la pèrdua d'espècies provoqui una pèrdua de diversitat filogenètica més gran que la postulada.

Preservació de la variabilitat genètica i la diversitat intraespecífica

Les espècies no són estàtiques. Canvien i han canviat contínuament. Si es vol conservar la biodiversitat a mitjà o llarg termini, s'ha de permetre que les espècies segueixin evolucionant. Per fer això s'ha de conservar tant la variabilitat genètica com la diversitat geogràfica intraespecífica. Conservar-la significa permetre que les espècies segueixin el seu procés d'adaptació, que tinguin l'oportunitat de continuar evolucionant. La variació genètica que hi ha en les poblacions de qualsevol espècie és la matèria prima sobre la qual actua la selecció natural i li permet evolucionar. La clonació va justament en sentit contrari.

Des del punt de vista evolutiu, s'ha de conservar la diversitat genètica que hi ha en les poblacions. Això es pot fer conservant una mida mínima de les poblacions, ja que la diversitat genètica varia en funció de la mida. Per exemple, una població de deu individus perdrà pràcticament tota la variabilitat en cent generacions. Si la població tingués cinc-cents individus, en cent generacions només hauria tingut un 18% de pèrdua. Així doncs, es pot predir la mida de la població necessària per conservar un cert percentatge de la diversitat genètica inicial. Molts programes de conservació tenen com a objectiu conservar el 90% de la diversitat inicial en un termini de cent o dos-cents anys. Per conservar el 90% de la diversitat en cent anys en una espècie de temps de generació de deu anys, necessitem una població mínima de quaranta-vuit individus.

Si el temps de generació és d'un mes, necessitarem més de cinc-mil individus. La mida de les poblacions s'ha de tenir en compte en els programes de gestió en parcs naturals i d'espècies en captivitat, no només per raons demogràfiques, sinó també perquè és el principal determinant del destí de la variabilitat genètica.

També és important de conservar la diversitat intraespecífica geogràfica. En moltes espècies, els taxònoms han descrit subespècies o races geogràfiques, com per exemple el llop gris (*Canis lupus*), del qual els taxònoms a Nord-amèrica han arribat a descriure vint-i-tres subespècies, i a Euràsia, unes set o vuit. Normalment, entre els taxònoms hi ha discrepàncies quan descriuen tàxons a nivell de subespècie per la dificultat de trobar criteris objectius unànimes. Això constitueix un problema, atès que, des del punt de vista evolutiu, les subespècies són molt importants ja que poden representar un estadi intermedi en el procés d'especiació. Si fos així, les subespècies o races estarien en el camí de l'especiació i caldria respectar aquest procés. A causa de la dificultat per establir les subespècies, ens podem preguntar: ¿totes les subespècies són diferents genèticament? Les diferències morfològiques ¿corresponen a una diferència genètica substancial? Per tal d'esbrinar això s'han de fer estudis genètics i conservar les subespècies amb una diferenciació genètica important; és a dir, identificar el que s'anomena les unitats evolutives significatives (ESU), els llinatges més divergents dins d'una espècie.

L'estudi de l'ós bru a Europa ha revelat que n'hi ha tres llinatges amb un grau considerable de diferenciació (és a dir, tres ESU). Amb estudis de l'ADN mitocondrial, s'ha vist que hi ha dos llinatges ben diferenciats, un d'oriental que es distribueix per Rússia, Estònia i Romania, i un altre d'occidental. Aquest darrer se subdivideix al seu torn en un llinatge balcànic, que ocupa Grècia, Bulgària, Eslovènia i Croàcia, i un llinatge ibèric, a la península Ibèrica i Escandinàvia. Aquest estudi suggereix que en l'ós bru hi ha tres ESU que s'haurien de conservar separatament, i que el llinatge representat pel refugi de la península Ibèrica és el més amenaçat.

Conservació dels hàbitats i ecosistemes

La conservació de la diversitat genètica no serviria de res si no es conservessin els ecosistemes. Les espècies estan immerses en xarxes d'interaccions (competència, depredació, mutualisme, etc.), que les sustenten i determinen part de les seves característiques. No té sentit conservar espècies fora dels seus hàbitats o ecosistemes, llevat que es faci com a solució temporal d'emergència.

Fem ara un repàs dels ecosistemes més diversos de la Terra i la pèrdua d'espècies que provocaria la seva desaparició. Dins d'aquests, la selva humida tropical és un dels més importants del planeta. Conté més de les dues terceres parts de les espècies de la Terra. Aquest ecosistema està en franca regressió. De la superfície de 14 o 18 milions de km² que ocupava originàriament, ara en queda aproximadament la meitat i segueix desapareixent a un ritme de l'1% anual (entre 100.000 i 200.000 km² per any), la qual cosa el portaria a desaparèixer en uns cinquanta anys. Pimm i Raven (2000) han utilitzat la teoria de la biogeografia insular per calcular les extincions associades a la desaparició del bosc tropical. Veuen que amb la desaparició del 50% del terreny de la selva, desapareixeria el 15% de les espècies. Un corollari d'aquest estudi és que, si tota l'àrea tropical desaparegués i només quedessin les superfícies protegides amb alguna figura legal de protecció (que constitueixen el 5% de l'àrea total), s'esperaria la desaparició del 50% de les espècies. Això es podria considerar com una crisi massiva, similar a les extincions esmentades al principi. Si no canvien les tendències actuals, el panorama és molt poc engrescador. S'hauria de fer un esforç a escala planetària per salvar la màxima extensió possible dels hàbitats que encara conserven el seu estat original. El creixement econòmic i l'explotació de recursos ha de ser compatible amb la conservació de la biodiversitat.

Referències

- Nee, S. i May, R., 1997. *Science*, 278: 692-4.
Pimm, S. i Raven, P., 2000. *Nature*, 403: 843-5.

Evolució de la biodiversitat al llarg del temps geològic

Jordi Agustí

En aquesta presentació no parlarem dels canvis de biodiversitat que tant ens preocupen en aquests moments de la nostra petita història actual, sinó de canvis a nivell del temps geològic, és a dir, els canvis que s'han produït al llarg d'una història que es remunta uns 3.600 milions d'anys enrere. De fet, no ha estat fins la segona meitat del segle XX que l'anàlisi de l'evolució de la biodiversitat global a escala geològica va ser objecte d'atenció preferent per part dels paleontòlegs. Anteriorment, la mancança de bases de dades suficientment elaborades sobre el nombre de famílies i llur extensió en el temps geològic feia molt difícil plantejar aquest tipus de qüestions. La mateixa noció de diversitat biològica, de gran significació ecològica pel que fa a la calibració de la maduresa d'un ecosistema, tenia poca implantació en els estudis de paleontologia, més centrats aleshores a deduir les condicions locals de formació dels jaciments. No existia encara una aproximació global a les variacions de diversitat que s'observaven en el registre fòssil.

Una primera aproximació a aquest tema va ser desenvolupada el 1969 pel paleontòleg americà James W. Valentine, de la Universitat de Califòrnia a Berkeley. Prenent com a referència una base de dades encara força incompleta, Valentine va fer una estimació per famílies de la variació de la diversitat al llarg del temps geològic. L'esquema resultant mostrava un ràpid increment del nombre de famílies a la primera part del Paleozoic, des de gairebé cinquanta en el Càmbric fins a prop de dues-centes cinquanta al final de la primera part de l'Ordovíic. Posteriorment, al llarg del Paleozoic, aquesta xifra s'anava mantenint amb oscil·lacions, fins que una abrupta caiguda al límit del Pèrmic-Triàsic situava novament la biodiversitat a nivells comparables als del principi del Paleozoic.

Posteriorment, al començament del Mesozoic, i durant el Triàsic, la diversitat pujava novament. Des de llavors, segons l'esquema esbossat per Valentine, la biodiversitat no hauria deixat d'augmentar al llarg de la història del planeta.

Aquest esquema fou poc després criticat pel paleontòleg David Raup, per qui el patró observat per Valentine reflectia en realitat un artefacte estadístic. Per Raup, tot l'esquema estava influït pel volum de roca preservat de cada període. A més quantitat de sediment preservat, major nombre d'espècies i famílies preservades. Com que a mesura que ens apropem al present augmenta el volum de roca que no ha estat destruït, és lògic esperar que el registre de biodiversitat també augmenti. L'increment en el nombre de famílies que Valentine havia observat no reflectiria un veritable augment de la biodiversitat al llarg del temps geològic, sinó una millor preservació del registre fòssil a mesura que ens apropem al present (el que Raup va anomenar «the pull of the present»). Posteriorment, el model de Valentine va rebre crítiques semblants per part d'altres paleontòlegs com Stephen J. Gould o Jack Sepkoski. La proposta de Valentine, no gensmenys, va tenir el seu efecte, ja que aquest darrer investigador, alumne de Raup, va iniciar després, pel seu compte, un càlcul similar, encara que amb una base de dades més completa. Curiosament, encara que més detallats, els resultats de Sepkoski mostren a grans trets una clara similitud amb els de Valentine. Novament s'observava un increment significatiu de la diversitat al Càmbric, increment que es feia molt més evident a partir de l'Ordovíic, moment en què s'assolia una fita superior de més de quatre-centes famílies. Posteriorment, al llarg del Paleozoic, i malgrat les importants recaigudes (com la del final de l'Ordovíic), es mantenia un equilibri al voltant de quatre-centes famílies, fins que tenia lloc la gran extinció del límit Paleozoic-Mesozoic. Aquest últim esdeveniment d'extinció, el més gran de la història del planeta (P-T XT en la fig. 1), va comportar l'extinció de més d'un centenar de famílies, i va baixar la diversitat fins a nivells anteriors al màxim de l'Ordovíic. Posteriorment, en el Triàsic, i al llarg de la resta del Mesozoic i del Cenozoic, la diversitat, tal com va comprovar Valentine, no ha fet sinó incrementar-se successivament (i això malgrat altres crisis de biodiversitat profundes com van ser les extincions del Triàsic superior i del final del Cretaci; fig. 1).

Sepkoski no només va realitzar un càlcul del nombre de famílies presents a cada interval geològic, sinó que va engegar, així mateix, una anàlisi de les faunes marines, establint els grans grups d'organismes que havien protagonitzat cada nou increment de diversitat. Així doncs, l'increment inicial de diversitat que s'observava en el Càmbric va afectar bàsicament quatre tipus d'organismes: cucs poliquets, trilobits, mol·luscs monoplacòfors i braquidípodes inarticulats. Aquests grups assolixen la seva màxima diversificació al començament de l'Ordovíic, i decauen i són reemplaçats a continuació per un altre conjunt d'animals de la

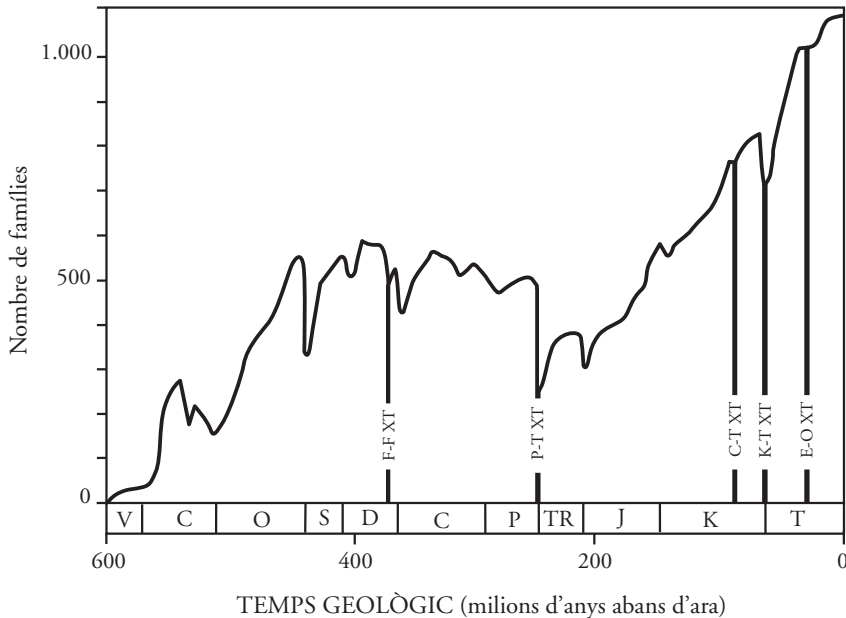


Figura 1. Registre de la diversitat de famílies marines durant els darrers 600 milions d'anys, modificat de Sepkoski (1993). V = Vendianse, C = Càmbric, O = Ordovíci, S = Silúric, D = Devònic, C = Carbonífer, P = Pèrmic, TR = Triàsic, J = Juràssic, K = Cretaci, T = Terciari.

plataforma marina. És amb aquest segon conjunt de formes que s'arriba, durant l'Ordovíci, als nivells estàndard de diversitat observats en gran part del Paleozoic. Aquest nou conjunt està format per braquiòpodes articulats, coralls antozous, briozous estenolemats, equinoderms arcaics (crinoideus, esteleroideus), ostràcodes i cefalòpodes del grup dels nautiloideus. Amb petites variacions, constitueixen els organismes dominants a les plataformes continentals del Paleozoic. Una de les coses que sorprèn d'aquestes faunes és que, contràriament al que s'observa durant el Càmbric o l'Ordovíci, els nivells de diversitat es van mantenir més o menys constants al llarg del Paleozoic, i això apareix en el gràfic com un persistent «altiplà» que, amb diverses oscil·lacions (relacionades amb episodis de extinció massiva), es manté, com hem dit, a l'entorn de les quatre-centes famílies d'invertebrats marins (fig. 1). Aquest altiplà es manté fins fa uns 220 milions d'anys, quan es produeix la gran crisi del límit Pèrmic-Triàsic. De forma abrupta, el segon grup de faunes paleozoiques queda reduït a un xic menys de cent famílies, i un tercer grup de faunes, les anomenades «faunes modernes», es fan dominants en els

ambients de plataforma. Els elements que componen aquest tercer grup de faunes són els que avui dia reconeixem a les nostres costes, com per exemple els mol·luscs gasteròpodes i bivalves, els equinoideus, els crustacis de tipus modern (malacostracis), els peixos ossis (osteictis) i els esquals (o condriactis), les esponges del grup de les demosponges o els briozous gimnolemes. Una de les característiques d'aquest tercer grup d'organismes «moderns» és que llur diversitat no ha parat d'augmentar des que, fa 220 milions d'anys, van esdevenir els organismes dominants en els ecosistemes marins de plataforma.

El patró que es deriva dels treballs de Valentine i Sepkoski mostra l'existència de moments, com ara l'inici del Càmbric o de l'Ordovícic, durant els quals es produeix un augment pràcticament ininterromput de diversitat. Posteriorment, sembla que s'arriba a un estat d'equilibri, tal com apareix al final del Càmbric i, molt especialment, a partir de l'Ordovícic superior. Una manera d'explicar aquestes pautes de diversitat seria aplicant models derivats de la física, com per exemple la teoria de forces. Es tracta de models que parteixen d'una situació inicial d'equilibri. A continuació, s'assumeix que es produeix una pertorbació d'aquest equilibri per un factor extern (en el nostre cas, podria tractar-se de factors abiòtics, com ara davallades sobtades de la temperatura, impactes meteorítics o episodis de vulcanisme massiu). Aquesta pertorbació externa provoca una transició en el sistema cap a una nova fase d'equilibri. Models d'aquesta mena han estat aplicats, per exemple, a faunes insulars que s'han vist afectades per alguna catàstrofe externa o bé per la intrusió de nous elements. Les pautes de diversitat observades durant el Paleozoic, amb un augment de diversitat inicial, que després s'atenua i es manté al voltant d'uns valors estables durant milions d'anys, semblen acoblar-se força bé al model descrit basat en l'equilibri de forces. Ben al contrari, el model falla quan es tracta d'explicar l'increment pràcticament ininterromput de biodiversitat des del principi del Mesozoic. Un «estat d'equilibri» comparable a la «meseta» del Paleozoic no sembla haver-se produït mai entre les faunes modernes del tercer grup, on la diversitat ha anat creixent i creixent fins avui.

¿Com explicar aquest increment continuat de la diversitat?; ¿existeix un límit superior per a aquesta diversitat?; ¿sota quines condicions s'arriba als màxims? En altres paraules, ¿quins han estat els factors que han regulat la biodiversitat en el passat? En una primera instància, es podria pensar que una certa estabilitat ambiental afavoriria una progressiva partició dels *guilds* o dels nínxols ecològics del ecosistemes al llarg del temps. En absència de pertorbacions, per tant, la diversitat podria anar augmentant sense límits aparents, tal com s'observa amb les «faunes modernes».

Ara bé, quan s'observa a llarg termini l'evolució d'aquests *guilds*, res no fa pensar en una partició sense límits dels nínxols ecològics. Per contra, aquests mostren una gran estabilitat al llarg del temps, tant pel que fa als ecosistemes marins com als terrestres. El que varia i contribueix a incrementar la diversitat és el fet de que en determinats moments de la història, cadascun d'aquests *guilds* és ocupat per un gran nombre d'espècies a la vegada. I, inversament, hi ha moments, com en les extincions en massa, on hi ha una gran reducció del nombre d'espècies que ocupen aquests nínxols o, fins i tot, aquests poden arribar a quedar desocupats. Ara bé, un cop superat l'esdeveniment d'extinció, els nínxols tornen a recuperar-se i són novament ocupats per espècies que poden no tenir res a veure amb les precedents.

Hi hauria, no gensmenys, una altra via, en aquest cas no adaptativa ni funcionalista, com l'anterior, per explicar l'increment ininterromput de diversitat des del Mesozoic. Ens referim al fenomen de la vicariança, és a dir, a la formació de noves espècies per factors molt més lligats a l'atzar com podria ser l'aparició de noves barreres geogràfiques (braços de mar, cadenes muntanyenques) o de nous espais verges per ocupar (com en el cas de noves illes). Els màxims de diversitat s'assolirien en els moments en què la distribució dels continents comportés una màxima complexitat espacial. En aquest sentit, la tectònica de plaques ofereix una explicació per als canvis de diversitat en el passat que s'adiu molt millor amb les pautes del registre fòssil. Així doncs, la història de bona part del Paleozoic ens mostra unes masses continentals que tendeixen a agregar-se, tot formant al final del Paleozoic el supercontinent Pangea. Aquesta evolució explicaria per què, en un moment determinat de l'Ordovícic s'arriba ja a un màxim de diversitat que, amb variacions, es manté al llarg del Paleozoic. La coalescència dels continents hauria limitat la superfície útil per ser ocupada, tant a terra com a les plataformes continentals, amb la qual cosa s'hauria limitat també el nombre d'espècies que haurien ocupat aquests hàbitats.

Per contra, la situació a partir del Mesozoic és completament diferent: el supercontinent Pangea comença a disgregar-se, i nous braços de mar comencen a establir-se entre els incipients nous continents. L'aparició de noves barreres geogràfiques hauria afavorit nous processos d'aïllament i especiació a cada una de les àrees disjunctes, la qual cosa es resoluria en un increment continuat de la biodiversitat biològica. I això és precisament el que mostren les pautes desenvolupades a partir dels treballs de Sepkoski. Els models vicariants, per tant, semblen més adients a l'hora d'explicar les variacions de la diversitat al llarg del temps geològic.

Funció ecològica de la biodiversitat

Francisco Lloret

M'agradaria començar amb la definició dels conceptes en què es basa aquesta conferència: diversitat i ecosistema. Per mi, la biodiversitat és una qualitat dels sistemes biològics determinada pel nombre dels seus components i la seva abundància. Aquests components es poden considerar a diferents nivells: nivell genètic, d'espècie, o bé de tipus d'hàbitat. La pregunta clau és: com influeix aquesta biodiversitat en el funcionament dels ecosistemes? La primera reflexió, deguda al doctor Margalef, ens porta a veure que la natura es troba entremig de dues situacions extremes, amb un extrem situat en la màxima varietat d'elements (per exemple, el museu), i l'altre, en el de la màxima uniformitat (per exemple, les plantacions d'una mateixa espècie). A la natura, ens trobem generalment entremig d'aquestes dues situacions.

Paràmetres funcionals i biodiversitat

Alguns dels paràmetres que s'han usat més sovint per veure com la biodiversitat influeix en els ecosistemes serien: la productivitat (mesurable directament a partir de la biomassa o la cobertura vegetal), la respiració (mesurable per la producció de CO₂ o per la taxa de descomposició), els fluxos de nutrients (per exemple, l'ús del N pels vegetals és particularment important quan aquest nutrient és limitant), o la disponibilitat d'aigua. També hi podem considerar variables relacionades amb altres característiques, com ara la variabilitat en el temps. Per exemple, tindríem la predictibilitat, mesurable a partir de la desviació típica de qual-sevol d'aquests paràmetres anteriors, o la invasiabilitat, és a dir, el grau en què un ecosistema és vulnerable a l'entrada d'espècies alienes.

Biodiversitat a nivell d'espècie

El concepte de biodiversitat comprèn un ventall d'aspectes, com hem comentat abans, però aquí em centraré en la biodiversitat a nivell d'espècie. La raó és conceptual: adonar-nos que els organismes d'una mateixa espècie, subjectes reals que fan funcionar els ecosistemes, pel fet de compartir una dotació genètica, tenen un comportament ecològic semblant. Això permet als ecòlegs d'utilitzar les espècies com a unitats de treball. L'altre concepte important és que, sovint, espècies diferents tenen un comportament ecològic diferenciat; és a dir, les espècies no sempre són ecològicament equivalents. Si el seu comportament ecològic no és igual, hi ha d'haver alguna mena de jerarquia. Algunes espècies dominen, destacant per la seva contribució en algun dels paràmetres d'interès. Aquestes espècies poden ser importants per la seva quantitat o per fer una funció particularment rellevant. Aquestes darreres, que anomenem espècies clau, poden no ser gaire representades en quantitat, però tenen un paper funcionalment molt important. Les espècies clau poden controlar altres espècies de manera que poden condicionar tota l'estructura de l'ecosistema (un exemple molt bonic i molt estudiat és el de l'estrella de mar, que controla les comunitats de musclos bentònics). Hi ha altres tipus d'espècies clau, les que tenen un efecte modificador de l'hàbitat, com ara els coralls, que, per la seva forma de creixement, proporcionen aliment i també refugi a altres espècies que viuen al seu voltant.

Aquests són exemples que mostren que algunes espècies són particularment rellevants per al funcionament de l'ecosistema, però en realitat ens interessa veure la influència del conjunt d'espècies en els ecosistemes. En concret, ens podem preguntar per les conseqüències sobre l'ecosistema de la pèrdua o la incorporació de noves espècies. Aquest és un dels temes «estrella» de la recerca ecològica en aquests moments. D'altra banda, es tracta d'un tipus de qüestió que necessita d'experiments i infraestructures dissenyades especialment.

Una mica d'història

Abans de continuar, presentarem les hipòtesis de diversos pensadors teòrics. Primerament, a resultes de les reflexions d'Elton i de MacArthur es va proposar la idea que l'eficiència energètica de l'ecosistema augmenta amb el nombre d'espècies. La idea bàsica era que, si tenim un ecosistema amb moltes espècies i alguna d'elles falla, sempre n'hi haurà una altra que compleixi la mateixa funció i que la pugui suplir. Pensant en els fluxos d'energia en l'ecosistema, si faltava un dels elements d'un

nivell tròfic, aquest podria ser substituït per una altra espècie amb la mateixa funció. Un corol·lari de la sentència anterior és que la disminució del nombre d'espècies incrementa la vulnerabilitat de l'ecosistema a causa de la major escassetat o, eventualment, la manca d'espècies per intercanviar funcions.

Una altra aproximació és la d'Ehrlich i Ehrlich, autors de diversos llibres, entre els quals hi ha una petita meravella titulada *Extinction*, on reflexionen sobre aquest tema. Proposen la hipòtesi que ells van anomenar del *plane rivet* i que jo tradueixo com a col·lapse funcional, basada en la idea que la desaparició d'espècies pot ser irrellevant fins que s'ultrapassa un llindar a partir del qual es produeix un col·lapse. Usaven el símil de l'avió, per indicar que un avió pot seguir volant encara que li extraïem 1, 2, ..., o n cargols, fins que en traiem un (i hem arribat al llindar) que provoca el col·lapse, i l'avió cau. La hipòtesi té una implicació important, que és que la relació entre el nombre d'espècies i la funció de l'ecosistema no és lineal.

Més recentment, Walker va proposar la idea que el nombre d'espècies és irrellevant, posant l'èmfasi en la biomassa de productors, consumidors, descomponedors, etc. Aquest autor destaca la importància que hi hagi organismes capaços de fer les diverses funcions, i els processos de l'ecosistema podrien ser mantinguts per unes quantes espècies gràcies al principi de compensació.

Finalment tenim una altra possibilitat, expressada per Lawton, anomenada la hipòtesi idiosincràtica, en la qual s'afirma que no podem preveure les relacions entre nombre d'espècies i els processos dels ecosistemes, ja que aquesta relació seria pròpia i particular de cada cas (i d'aquí el nom). Una conseqüència d'aquesta visió és que la pèrdua d'espècies podria tenir en alguns casos uns efectes molt grans i alhora molt poc predictibles.

Així doncs, tenim teories i hipòtesis; ara caldria verificar què passa en la realitat. Buscarem primer evidències empíriques, basades en observacions a la natura. Posaré com a exemple els treballs de Tilman en prats de Nord-amèrica, on ha comprovat que un augment de la riquesa d'espècies augmenta la cobertura (és a dir, la producció) dels prats. Altres exemples confirmen ja un munt d'evidències que la relació entre el nombre de espècies i alguns processos dels ecosistemes és positiva.

La relació entre funcions dels ecosistemes i biodiversitat: evidència experimental

No obstant això, com a científics, a més de les dades observacionals, ens cal evidència experimental, per tal de poder ajustar millor la relació

causa-efecte. El repte actual és el disseny d'experiments que permetin revelar aquesta relació, i arreu del món diferents grups de recerca estan treballant en la manipulació de la diversitat per tal de veure els seus efectes sobre els processos de l'ecosistema. S'han fet molts estudis en prats, ja que en aquests hàbitats les espècies creixen ràpid, es poden fer rèpliques i es poden dissenyar moltes manipulacions. Per exemple, els experiments de BIODEPTH (amb manipulacions al llarg d'un gradient latitudinal a Europa, des de la zona mediterrània fins al nord) han permès concloure que una disminució en el nombre d'espècies comporta una disminució de la producció, o sigui, una prova més de la relació positiva entre nombre d'espècies i una funció de l'ecosistema.

Una important característica dels ecosistemes és la seva capacitat de recuperar-se després d'una pertorbació. Les pertorbacions poden tenir diferents orígens (humans o naturals, sequeres, incendis, atacs d'herbívoros, etc.). La qüestió que es planteja és si les comunitats que tenen més espècies tenen també més capacitat de recuperar-se, o d'afrontar (resistir) aquestes pertorbacions. Tilman va aprofitar els seus mesuraments en parcel·les de prats per estudiar l'efecte de les pertorbacions. Va observar que les parcel·les que tenien un nombre més elevat d'espècies presentaven major resistència a la sequera, tot i que la resposta no era lineal, sinó asimptòtica, amb un efecte de saturació. En els ecosistemes ja rics en espècies, un augment d'aquestes no aportava major resistència a la pertorbació, un tipus de resposta no lineal que es va repetint en les diferents aproximacions.

Altres experiments s'han efectuat en el que s'anomena «microcosmos». Un microcosmos és una cambra situada al laboratori on es controlen les condicions ambientals, i on es fa créixer una combinació de diferents organismes, reproduint un ecosistema a petita escala, amb productors primaris, herbívors, depredadors, descomponedors, etc. I en aquests experiments es veu igualment que la resposta asimptòtica es va repetint.

Singularitat i redundància

El resum dels resultats d'aquestes observacions empíriques i dels experiments indica que la relació entre biodiversitat i funcionament dels ecosistemes és positiva, i sovint asimptòtica. D'altra banda, sabem també que no totes les espècies tenen el mateix comportament, havent-hi algunes espècies que contribueixen més que les altres. Així doncs, tenim dos elements: una certa resposta de redundància i, d'altra banda, el paper irremplaçable d'unes poques espècies (les espècies clau). En el cas de la

redundància, hi ha un concepte que ens ajuda força, el de grup funcional. Un grup funcional és un conjunt d'espècies que tenen un paper semblant en els processos dels ecosistemes. Per exemple, el grup funcional dels descomponedors, els fotosintetitzadors, els fixadors de nitrogen, etc.

Per què funciona això d'aquesta manera? ¿Podem imaginar el mecanisme pel qual aquesta diversitat entesa com a conjunt d'espècies afecta el funcionament dels ecosistemes? Per respondre això ens tornem a adreçar als teòrics. Alguns teòrics parlen d'un efecte de «selecció»: com més espècies hi ha en un ecosistema, més alta es la probabilitat de trobar espècies que hagin experimentat una selecció per un ús més eficient dels recursos.

Una altra explicació, no oposada a l'anterior, seria la de la idea de complementarietat: com més espècies hi ha en un ecosistema, més ampli és el rang de comportaments i més alta la probabilitat d'un ús més eficient dels recursos, ja que el que no és capaç de fer una espècie ho fa una altra, complementària de l'anterior.

Biodiversitat i perdurabilitat en el temps

Per anar acabant, ens falta afegir un darrer element important. Què és el que passa quan afegim l'escala temporal en aquest esquema? Els ecosistemes no són constants al llarg del temps; hi ha una seqüència d'entrades i desaparicions d'espècies. Des del punt de vista de la societat humana, això és rellevant per veure si els serveis que proporcionen els ecosistemes es mantenen, si perduren en el temps. Ens podem preguntar quin es el paper de la biodiversitat en la fiabilitat del funcionament dels ecosistemes.

Per respondre aquestes qüestions presentem la proposta de Naem (1998), que usa un concepte procedent de l'enginyeria per aplicar-lo a l'ecologia. Es tracta d'assimilar els elements dels ecosistemes als utilitzats en sistemes d'enginyeria. En enginyeria, si es vol que el sistema funcioni, el que es fa és afegir redundància, i així es preveuen i eviten les fallides d'algunes de les peces. Si això es trasllada als ecosistemes, les espècies d'un mateix grup funcional farien aquesta funció de redundància. Es pot incloure en aquest esquema el concepte d'espècie clau per indicar un grup funcional amb molt poques espècies, que, en un cas extrem, només en tindria una. Tanmateix, dins d'un grup funcional, les diferents espècies no tenen totes el mateix comportament. Afegint-hi l'escala temporal, en el cas que es produís un canvi ambiental (com un canvi climàtic), si hi ha redundància, l'espècie dominant pot canviar,

i passar a ser-ho una altra. Aquesta redundància, que en un dels enuncisats inicials era considerada com a garantia que es podien treure espècies, ara veiem que és valuosa per tal de mantenir la fiabilitat en el temps de l'ecosistema. I per il·lustrar això podem posar un exemple proper. L'estiu del 1994 va ser molt sec a Catalunya, i va afectar especialment les alzines (*Quercus ilex*), l'espècie dominant dels boscos esclerofil·les de Catalunya. Però a l'alzinar trobem també l'aladern fals (*Phillyrea latifolia*), una espècie que va resistir molt millor la sequera. Si aquesta tendència cap a condicions més xèriques continués, l'alzina podria ser substituïda per l'aladern fals als boscos esclerofil·les.

Sintetitzant, podríem resumir les idees principals que ajuden a entendre la relació entre biodiversitat i funcionament. Tenim la disjuntiva entre les espècies clau i els grups funcionals, dos conceptes que importen per entendre aquesta relació. Aquesta disjuntiva es correspon amb dos conceptes més generals: singularitat i redundància. Els sistemes ecològics neden, com s'ha dit al principi, entremig de les situacions extremes de màxima singularitat o de màxima repetició. Sovint, en parlar de biodiversitat només fem referència als elements de singularitat, però en realitat hem de considerar els dos aspectes i la seva relació si volem entendre el paper funcional de la biodiversitat. La redundància no es supèrflua, ja que proporciona fiabilitat en el temps. I és important considerar no únicament els valors puntuals de les funcions dels ecosistemes, sinó també la seva perdurabilitat en el temps.