

La biologia a l'alba d'un nou mil·lenni
(J. Bertranpetit, ed.)

Treballs de la SCB. Vol. 50 (2000) 279-288

EL LABERINT ECOLÒGIC

SALVADOR PUEYO PUNTÍ

Departament d'Ecologia. Universitat de Barcelona.

Adreça per a la correspondència: Departament d'Ecologia, Facultat de Biologia, UB. Av. Diagonal 645, 08028 Barcelona. Tel. 93 402 15 06. Fax. 93 411 14 38. E-mail: pueyo@bio.ub.es

INTRODUCCIÓ

Treure l'entrellat del llegendari Laberint del reialme de Creta no era només un repte complicat, era una necessitat immediata: el risc de topades amb el Minotaure no es podia pas obviar. El canvi global ha fet tornar igual d'inajornable trobar alguna sortida a un dels laberints intel·lectuals més formidables, el que es troba al davant qualsevol que intenta fer-se una mínima idea de com funciona la Biosfera.

S'ha dit que qui viu els grans episodis històrics és qui menys s'adona de la seva importància. Costa de fer-se càrrec que estem en uns anys excepcionals, però el fet és que ho són i que les decisions que prenguem ara pesaran sobre moltes generacions.

Estem immersos en l'experiment insòlit d'una economia global única, que s'articula ràpidament alhora que creix i es desfà de regulacions. L'oligarquia econòmica augmenta el seu poder, però encara s'eixampla més el rol d'allò que escapa al control humà

—l'autoorganització dels processos econòmics, que s'il·lustra clarament per la impredictibilitat de la borsa; els aparells que fan un processament exosomàtic d'informació. Les finances, cada cop més virtuals, estan posant l'activitat humana al servei d'un gran videojoc. Tot això no succeeix en un món abstracte com el mercat ideal de la teoria econòmica, sinó en un planeta finit amb roques, aire, aigua i formes de vida.

Si diem que l'economia humana ha esdevingut un fenomen biosfèric de primera magnitud no són paraules buides. S'estima que actualment marca el destí del 40 % de la producció primària neta de les terres emergides (Vitousek, 1986) i del 25 % de les aigües que hi precipiten (Postel *et al.*, 1996), que és responsable del 50 % de la fixació de nitrogen (Vitousek *et al.*, 1997), que ha augmentat la concentració de CO₂ en un 30 % (WHO i UNEP, 1996), que ha acabat amb el 50% de les selves tropicals (Myers, 1995a), que ha multiplicat la taxa d'extincions per un factor entre 1.000 i 10.000 (Pimm, 1995)...

Les emprentes són ben visibles i van més enllà del clàssic duet exhauriment de recursos —acumulació de deixalles. La dinàmica de les capes fluïdes canvia; els ecosistemes perden complexitat: des de l'estructura del sòl fins a la riquesa genètica, un munt d'informació lentament acumulada s'està esborrant amb el trasbals general. La vida quotidiana de les persones no resta al marge de les transformacions ecològiques. De fet el nostre Minotaure amenaça fins i tot el més bàsic, l'obtenció d'aliments, però costa que els senyals arribin a les regions opulentes del món, on es concentra la presa de decisions.

El medi ambient s'ha incorporat al vocabulari polític i mediàtic, però a la pràctica el sistema econòmic mundial s'està construint en la més absoluta ceguesa ambiental. Una mena de ceguesa que no es deu primàriament a una deficiència dels ulls —la ciència ecològica— sinó a la negligència en el seu ús: l'actitud general d'indiferència, la teoria econòmica impermeable a la realitat ecològica, el sistema econòmic sense mecanismes de reacció als senyals ambientals. Però, com a conseqüència (i en part causa) d'aquest desinterès, el cert és que els ulls no estan tan desenvolupats com seria desitjable. En aquest instant clau, no és tan sols interessant aprofundir en la ciència dels ecosistemes, és urgent.

CAL UNA TEORIA ECOLÒGICA

Si ens preocupés el futur del planeta i volguéssim fer quelcom de seriós sobre aquesta qüestió, el primer que ens faria falta seria una comprensió a fons de la Biosfera. Però aleshores descobriríem que extreure-la de la, altrament extensa, literatura ecològica, no és pas immediat. Ni tan sols la ciència amb més fama d'integradora s'escapa de la ultraespecialització (com no s'escapa de la pressa per publicar cada petita passa en les recerques) i sense haver acabat de trobar abans un marc

coherent on ubicar les aportacions puntuals. L'ecologia gaudeix d'una gran riquesa de plantejaments i metodologies, des de qui fa estudis naturalístics a l'estil més clàssic fins a qui cerca la veritat rere la pantalla del seu ordinador, però és una diversitat que fàcilment esdevé disgregació. Rere dels treballs de cada escola s'insinuen conceptes globalitzadors, que idealment confluirien i sostindrien uns esquemes bàsics compartits, però a la pràctica no estan prou definits i divergeixen. El fil d'Ariadna està fet un manyoc. (Com a introducció a alguns dels conceptes teòrics que es discuteixen en ecologia, vegeu Flos i Gutiérrez, 1995, Müller, 1997).

Es podria pensar que l'acumulació de problemes ambientals exigeix uns estudis orientats a aplicacions concretes, que no es perdin en teoritzacions. Però un plantejament així seria massa miop. Certament hi ha molts problemes a resoldre com sigui, que no poden esperar a disposar d'una base teòrica bona, però a la llarga aquesta base resultarà imprescindible. Els estudis encaminats a aplicacions puntuals són els únics que es poden vendre amb una certa facilitat, ja que rera les fonts de finançament hi ha un interès en la cosmètica ambiental, no pas en les qüestions de fons. Però els grans problemes demanen grans solucions. Cal repensar la societat des dels seus fonaments i impregnar-la de realisme ecològic, i per a això el primer que fa falta és aclarir quins són els principis essencials que regeixen el funcionament de la Biosfera.

De fet l'ecologia ha començat a imbuir la mentalitat de la gent, però les limitacions teòriques d'aquesta ciència han fet que el lloc que correspondria als conceptes ecològics estigui en part ocupat per conceptes pseudoecològics o bé que provenen de l'ecologia però han perdut des de fa temps valor científic. Un exemple clar, pertanyent a la darrera categoria, és el d'*equilibri ecològic* (Westoby, 1997). El concepte obsolet d'equilibri ecolò-

gic té relació amb una regularitat que des del punt de vista de l'autor no n'és pas, d'obsoleta, i a més té una gran transcendència pràctica. Aquesta regularitat consisteix en el fet que una intervenció arbitrària sobre un ecosistema (és a dir, que no vagi guiada per un coneixement profund) amb la màxima probabilitat tindrà un efecte destructiu, havent definit adequadament el terme *destructiu*. De forma no tan explícita, aquesta regularitat és reconeguda per la societat i l'explica pel perill de *trencar* l'equilibri ecològic. Per a l'autor la regularitat no s'explica correctament d'aquesta manera, però sí a partir de certs principis de base física que regeixen l'autoorganització de la Biosfera (Pueyo, 1999); és important que s'acabi d'aclarir aquest punt perquè altrament perdriem un element bàsic de seny ambiental.

Emparentada amb el concepte d'equilibri ecològic trobem la noció d'una relació positiva entre *diversitat* i *estabilitat*. Després d'un parell de dècades en què s'han estat desacreditant les velles intuïcions que la fonamentaven (p. ex. May, 1973), en uns pocs anys hem vist recollits a la revista *Nature* un seguit d'experiments que semblen revelar que sí que hi ha aquesta relació positiva (Tilman *et al.*, 1996; McGrady-Steed *et al.*, 1997; Naeem *et al.*, 1997). Però el cas és que tenim qualsevol cosa menys idees clares sobre el tema. Es pot témer que si arribem a tenir-les serà en un estadi ja massa avançat de l'*experiment* que estem realitzant a escala planetària.

Si pensem en la importància de l'ecologia en termes econòmics ens tornarem a trobar amb la dicotomia teoria general —aplicacions puntuals. El mercat demana aplicacions puntuals, i per tant des del punt de vista convencional són les que tenen importància econòmica. Si parléssim de segons quina ciència potser ho podríem deixar així, però resulta que la teoria ecològica pot fer trontollar els fonaments de la pròpia econo-

mia convencional, de manera que la darrera no acaba de ser el marc adient per valorar la primera.

L'economia ortodoxa es presenta com a una ciència autònoma, independent de la resta de ciències. El corrent minoritari anomenat *economia ecològica* (p. ex. Martínez Alier, 1994) intenta superar aquesta autonomia, en entendre que el sistema econòmic no és més que un subsistema de la Biosfera. Per a l'economia ecològica tenen importància conceptes ecològics bàsics però poc clars com ara el de capacitat de càrrega (Arrow *et al.*, 1995). Les formulacions més de fons donen un gran relleu a les constriccions termodinàmiques (Georgescu-Roegen, 1971; Binswanger, 1993), però topen amb la dificultat que la recerca de regularitats de base termodinàmica en la mateixa ecologia fa temps que està quasi abandonada.

Si no es tira endavant amb més empena l'economia ecològica —i la teoria ecològica—, és presumiblement perquè les qüestions que es planteja són rellevants des del punt de vista dels interessos globals però no pas dels particulars, per als quals l'aproximació del mercat sense límits és més que suficient.

En un moment tan àlgid per al neoliberalisme les coses encara poden empitjorar. La insistència en l'*autofinançament* de la investigació no ofereix perspectives gaire bones per a la recerca fonamental. En aquestes circumstàncies adverses, les persones que hem optat per dedicar-nos a l'ecologia hem de tenir present la responsabilitat multigeneracional que tenim al damunt.

DE COM LA NATURA ES BURLA DE LA CIÈNCIA

Hi ha molta feina per fer per millorar l'ecologia i dotar-la d'una bona base teòrica i cal fer-ho ja. Però per a això s'ha de comen-

çar per reconèixer que el seu objecte d'estudi no ens ho posa gens fàcil.

La tasca de qualsevol branca de la ciència és absorbir informació sobre el món. En una primera fase de l'activitat científica, la informació es recull en estat brut, es fa una simple descripció de certs fragments de la realitat. A continuació cal compactar tot aquest conjunt de descripcions acumulades, destil·lant la veritable informació de tot allò que n'és redundant. Per exemple, un registre de cent anys de moviment aparent del Sol es pot *transformar* en una senzilla fórmula que ocupa molt menys espai però que permet calcular la posició del Sol en qualsevol moment dels cent anys observats, de manera que no s'ha perdut gens d'informació. L'aposta de la ciència és que, un cop extreta una informació molt bàsica d'un conjunt de fragments de realitat, aquesta romandrà vàlida en afegir-hi nous fragments seleccionats amb els mateixos criteris. Això significa que fa una predicció temptativa de com seran aquests nous fragments. La ciència pretén preveure a quina hora sortirà el Sol demà; si ho aconsegueix aquesta nova dada no haurà afegit gens d'informació a la nostra fórmula, s'haurà mantingut invariant. Si no ho aconsegueix, caldrà rebutjar l'antiga visió *compacta* de la realitat i buscar-ne una de nova. Un criteri molt estès tria justament aquesta possibilitat de fracàs com a definitiva de ciència. Segons el *principi de falsabilitat* de Popper, una teoria científica es caracteritza pel fet que ha de ser concebible que en un moment donat una observació permeti arribar a la conclusió que es tracta d'una teoria incorrecta. Com a exemple de teoria no científica se cita a vegades l'asseveració feta al segle passat pel reverend Phillip Gosse (Salmon *et al.*, 1992), segons la qual Déu va crear el món fa 6.000 anys, encara no, i hi va col·locar directament els sediments estratificats amb fòssils i tot. Aquesta teoria no es pot rebutjar per molts fòssils que observem,

i pel mateix motiu no permet preveure res sobre com seran els fòssils a cada estrat. No és una teoria científica.

La física és la ciència per excel·lència. L'aplicació del criteri de falsabilitat hi és molt clara perquè, per a una predicció que surti essencialment d'aplicar les lleis de la física, un fracàs és un fracàs, sigui on sigui i sigui quan sigui. La seva potència rau justament en què selecciona allò que se suposa invariant i universal, vàlid en tot lloc i en tot moment. Però no tot és així, no vivim en el món platònic de les idees.

Com a pobres mortals sabem que el gruix del que ens envolta és efímer. Els éssers vius naixem i morim, com ho fan les espècies, els ecosistemes i la pròpia Biosfera, com ho fan les espelmes i els estels. Fins allò que sembla més ferm acaba per esvair-se. En la dansa de la vida tot es fa i es desfà, com els núvols. Hi ha poques veritats eternes, el que avui és d'una manera demà pot ser d'una altra, la falsabilitat trontolla.

En el Departament d'Ecologia de la Universitat de Barcelona hem topat més d'un cop amb aquesta realitat. Una tesi sobre les macròfites submergides de l'estany de Baciver (Gacia, 1992) es va presentar just després que l'estany fos represat i totes les macròfites desapareguessin; dues tesis sobre dues rieres de la conca del Ter (Martí, 1995, Guasch, 1995) es van presentar quan en una d'elles havien acabat d'arrasar els arbres de ribera, tot deixant-la en unes condicions ben diferents... Bona part del contingut d'aquestes tesis ja no és contrastable (pel mateix motiu, és insubstituïble). Sense necessitat de les maltempsades antropogèniques, tan freqüents avui en dia, sabem que la pròpia dinàmica dels ecosistemes genera sorpreses, que podem anar a un llac i no trobar mai més l'espècie de copèpode que havia dominat durant anys, però no per això pensarem que els estudis previs eren inadequats. La falsabilitat trontolla, i

amb la falsabilitat la capacitat de predicció i la pròpia naturalesa científica de l'ecologia.

La informació ecològica acostuma a tenir data de caducitat. El que salva l'ecologia com a ciència és que algunes dates de caducitat són molt llunyanes. Hi ha coses que canvien en dècimes de segon i d'altres que canvien en centenars de milions d'anys. Les escales temporals a les quals es renoven els diferents components de la informació que conté la Biosfera són les que permeten distingir-ne els aspectes abordables científicament d'aquells que, com a molt, permeten una recopilació *històrica*. La frontera entre ambdues categories és molt difusa, té a veure amb l'escala temporal de la vida humana. Una proporció substancial dels articles a revistes com *Ecological Monographs* o *Ecology* corresponen a *estudi de casos* i per tant estan a la frontera d'allò pròpiament científic.

D'altra banda, encara que la recopilació històrica no sigui ciència és una passa necessària per fer ciència. A partir del conjunt d'estudis de casos pertanyents a una certa categoria es poden extreure regularitats generals per a aquella categoria, patrons recurrents per a uns certs tipus d'ecosistemes, que presumiblement s'han reiterat durant períodes de temps molt llargs, a escales geològiques, i poden encara reiterar-se si els deixem. Per tant són falsables i donen capacitat predictiva.

A més, els estudis de casos nodreixen un coneixement intuïtiu de la Natura que pot anar molt pel davant de la ciència i orientar-la.

LA RECERCA INDUCTIVA DE REGULARITATS

Si bé els estudis de casos, d'ecosistemes concrets, estan a la frontera de la ciència, la

inducció de regularitats a partir de la integració d'aquests estudis sí que és genuïnament científica i dóna capacitat predictiva; és fonamental per abordar els reptes planetaris.

Però per dur-la endavant cal superar algunes dificultats pràctiques:

1. No hi ha una bona fluïdesa en la circulació de les dades *brutes* de cada cas, que permeti sotmetre-les a tractaments conjunts. A més d'entorpir els treballs d'integració, la poca accessibilitat té altres pegues: els estudis inicials que s'hagin realitzat perden falsabilitat també pel fet que les dades no puguin rebre fàcilment tractaments alternatius per part de terceres persones, i no només per la caducitat inherent als fenòmens estudiats; alhora es perd un valuós recurs per a la gestió de les àrees estudiades. És clar que no es tracta senzillament de sol·licitar un lliure accés a les dades. El fet és que no es valora acadèmicament la seva obtenció sinó tan sols la publicació dels articles que surten d'elaborar-les, de manera que per a qui les aconsegueix és força més difícil d'assegurar el reconeixement de la seva feina si no se les reserva per ser qui les treballi (Blumenthal *et al.*, 1997, estudien algunes qüestions relacionades). Fa falta algun mecanisme que ho resolgui; per exemple, les institucions podrien valorar en els currículums una mesura d'impacte del treball de camp i de laboratori que es basés en el nombre d'articles que s'han servit de les dades obtingudes en aquest treball, independentment de l'autoria dels articles. A més de facilitar la circulació de dades potser també se n'estimularia l'obtenció, i es podrien recuperar certs tipus d'estudis descriptius que s'estan perdent, com ara els inventaris taxonòmicament profunds (Cotterill i Dongerfield, 1997). S'ha d'esmentar que en algun àmbit concret sí que s'ha assolit un bon sistema de compartir dades, com és el cas de

la comunitat dendrocronològica nord-americana. Però també que les legislacions sobre propietat intel·lectual que s'estan discutint als Estats Units i la Unió Europea poden posar més difícils les coses (Gardner i Rosembaum, 1998).

2. Per trobar regularitats amb valor científic fa falta plantejar qüestions correctament formulades. En teoria ecològica s'ha caigut reiteradament en la discussió de conceptes que no s'han definit adequadament i que, per tant, no es poden estudiar amb objectivitat a partir de les dades. Peters (1991) fa una recopilació exhaustiva d'aquesta mena de mancances, però passa injustificadament a l'extrem de negar l'interès dels conceptes generals i voler convertir l'ecologia en un agregat informe de relacions empíriques.

3. L'utilatge estadístic sovint està per sota del que fóra desitjable, tant en els estudis d'integració com en els estudis de casos. L'habitual es servir-se acríticament de receptes estadístiques elementals que no són adequades per a les complexitats de l'ecologia. Per exemple, els propis estudis que Peters (1991) presenta com a exemplars es limiten a regressions convencionals.

Els procediments estadístics usals assumeixen que les distribucions són gaussianes o fàcilment normalitzables i que les relacions entre variables són lineals o fàcilment linealitzables. Però aquestes assumpcions no acostumen a correspondre a la realitat. La resolució d'aquest problema pot passar per: i) Posar a prova les assumpcions de cada test abans d'aplicar-lo; ii) generalitzar l'ús de l'estadística no paramètrica; iii) apreciar l'interès que té per si mateix l'estudi de les distribucions estadístiques allunyades de la gaussianitat que hom troba en ecologia (com ara les distribucions potencials); iv) desenvolupar tests estadístics més específics per a cada mena de problema.

ELS ECOSISTEMES COM A SISTEMES FÍSICS

Els ecosistemes estan subjectes a les lleis de la física. Per tant, una part de la informació que contenen és veritablement invariant. La qüestió és si aquesta informació consisteix en unes quantes trivialitats que incorpora qualsevol model mecanicista o si també es troba rere de regularitats menys elementals, les quals només s'aprecien en estudiar els ecosistemes com un tot, des d'una perspectiva holística. Si fos així, la manera en què està construïda la nostra Biosfera no seria el simple producte d'un procés històric particular, sinó que tindria uns trets en comú amb qualsevol biosfera que hi pogués haver a qualsevol altre planeta. Plantejaments així foren difosos entorn dels anys seixanta i setanta per autors com Margalef (1963, 1968, 1980) i els germans Odum (Odum i Pinkerton, 1955, Odum, 1969). L'aportació de Margalef (1971) en el debat sobre *Cap on va la biologia moderna?* de l'any 1970 n'està força impregnada. Si aquesta línia d'investigació hagués tirat endavant, potser hauria dotat l'ecologia d'uns pilars físics que li haurien aportat una solidesa i una coherència avui difícils d'imaginar.

L'ecologia té necessàriament a veure amb la física dels *sistemes autoorganitzats* (vegeu p. ex. Nicolis i Prigogine, 1977), dels sistemes que esdevenen complexos per si sols, com el fluid que dona lloc a un patró de cel·les hexagonals en escalfar-lo des de baix. A la fi, la Biosfera és el sistema físic autoorganitzat més complex que coneixem, el sistema autoorganitzat per excel·lència. Si bé aquesta apreciació pot tenir interès per a totes les branques de la biologia, perquè totes estudien algun aspecte de la Biosfera, en té especialment per a l'ecologia, perquè, a diferència de tantes altres disciplines, estu-

dia processos biològics que no responen a la simple execució d'un programa (genètic) preestablert.

La recerca de regularitats ecològiques des de la física ha de seguir una estratègia complementària a la que hem plantejat abans. Mentre abans parlàvem de la *inducció* de regularitats a partir de l'anàlisi integrada de les dades de molts estudis diferents, les regularitats imposades per la física s'han de poder establir de forma molt més sòlida per *deducció* a partir de les pròpies lleis de la física, sense més. Les regularitats generals que així es trobin haurien de posar la carcassa on encaixar les regularitats que provinguin del desenvolupament històric de la nostra Biosfera i que es vagin entreveient per inducció. Entre unes i altres s'establiria el marc conceptual on col·locar tot el coneixement ecològic.

Les primeres passes donades en la física dels ecosistemes per Margalef (1963, 1968) i els germans Odum (Odum i Pinkerton, 1955, Odum, 1969) se centraven en regularitats que de fet s'observaven per inducció, i a més en alguns casos no estaven prou ben definides per assentar-les amb claredat sobre dades empíriques. La connexió amb lleis físiques, en concret termodinàmiques, era encara especulativa. Però posaven les idees essencials per a un desenvolupament més a fons. Ara que l'ecologia teòrica és essencialment mecanicista, la tradició iniciada per Margalef i els Odum sobreviu de manera marginal, per exemple a les pàgines d'*Ecological Modelling*, però s'hi observa sovint una manca de rigor en el maneig dels conceptes físics que du a errors molt elementals.

Des del punt de vista de l'autor és essencial recuperar aquesta línia de manera seriosa i per això és el tema al qual es dedica més intensament. Els primers resultats estan sotmesos per a la seva publicació (Pueyo, 1999).

L'ECOLOGIA TEÒRICA ACTUAL

L'orientació de l'ecologia teòrica actualment dominant és força diferent. És majoritàriament un *estudi de casos*, com l'ecologia de camp, però en aquest cas els casos no són ecosistemes reals sinó models que s'analitzen a la llum de la teoria de sistemes dinàmics. Es tracta de models que podem anomenar *meanicistes*, que representen engranatges simples i molt concrets inspirats en elements propis de la biologia de poblacions, com la reproducció, la mort o les capacitats de càrrega limitades. S'estudien bàsicament per mitjà de simulacions d'ordinador. El seu principal mèrit és mostrar que mecanismes senzills i creïbles poden donar lloc a dinàmiques no gens trivials, que en fer estudis de camp *podríem* topar perfectament amb fenòmens com l'anomenat *caos determinista* (p. ex. Hastings *et al.*, 1993), en comptes de cicles periòdics, estats estacionaris (com els que serien propis de l'*equilibri ecològic*) o simplement soroll. Aquesta ecologia teòrica ha fet una neteja d'apriorismes i ha suggerit possibilitats abans insospitades, però de moment no ha anat gaire més enllà.

Certament, els conceptes presos de la teoria de sistemes dinàmics obren una gran quantitat de possibilitats a l'hora de buscar què hi ha darrera de les dades ecològiques. A més d'extreure'n relacions clàssiques, com ara la covariació entre diferents variables d'interès immediat, podem mirar d'obtenir mesures que abans no s'havien ni plantejat però ara tenen molt sentit, amb noms *esotèrics* com dimensió de correlació o exponent de Lyapunov (p. ex. Bascompte, 1995). És a dir, ofereixen un gran potencial a l'hora de construir coneixement ecològic per la via de la inducció.

Però aquestes possibilitats estan molt lluny de realitzar-se malgrat els vint-i-sis

anys que han passat des dels articles de May (1974) que iniciaren l'etapa actual de la investigació en aquesta línia. En el cas del caos determinista, els treballs que semblen evidenciar-lo en ecosistemes reals sempre acusen una gran incertesa, i tot i així són prou excepcionals per trobar fàcilment sortida en les revistes de més impacte (Tilman i Wedin, 1991, Hanski *et al.*, 1993, Constantino *et al.*, 1997).

Les arrels del problema no són gaire diferents de les que ja s'han esmentat per als estudis inductius en general, amb l'agreujant que en aquest cas les relacions que pretenem descobrir són més imbricades. Les dades ecològiques són inherentment difícils d'obtenir en prou abundància i circulen amb dificultat, i les principals eines de les quals es disposa per tractar-les són inadequades. Aquestes eines sovint són *aestadístiques*, consisteixen en obtenir unes estimacions a partir de l'aplicació de les definicions dels paràmetres però sense acompanyar-les d'interval de confiança, nivells de significació, etc., ja que de fet s'han desenvolupat per aplicar-les a sistemes físics senzills en els quals el nombre de dades es pot fer prou gran perquè tot això sigui innecessari; res a veure amb l'ecologia.

És clar que s'estan desenvolupant algunes eines amb la intenció de cobrir aquest buit (Sugihara i May, 1990; Pueyo, 1997). Però de moment, l'*ecologia teòrica* així entesa està en expansió sense esperar el contrapunt empíric, conformant-se amb els *estudis de casos* virtuals, que poden anar molt més de pressa que els estudis de casos reals. El resultat és la generació d'una gran literatura composta de possibilitats potencials a l'espera de trobar alguna contrapartida en el món real. Mancada de filtres empírics, bona part de l'*ecologia teòrica* es manté de fet en un estadi d'ecologia hipotètica.

L'ECOLOGIA DEL CANVI GLOBAL

Malgrat la importància d'enfortir la teoria ecològica per afrontar els problemes ambientals globals, no es pot esperar a encarar-s'hi fins que estigui més desenvolupada, cal fer el que es pugui ja amb les eines actuals. Cal copsar tan bé com se sàpiga el que està passant i el què s'hi pot fer. Això s'està aconseguint més en uns temes que en altres, generant-se contrastos sorprenents. Es pot citar com a casos paradigmàtics el canvi climàtic i la degradació dels sòls.

Els estudis sobre el canvi climàtic i com s'hi imbriquen els ecosistemes estan rebent una atenció i un finançament apreciable. Però s'han de fer dos matisos. En primer lloc, *apreciable* vull dir per als estàndards ecològics, però sens dubte el finançament seria molt millor si aquests coneixements fessin falta per a alguna pel·lícula de Hollywood en comptes de jugar-nos-hi tan sols el futur del planeta. En segon lloc, dóna la impressió que l'eficàcia en l'ús dels fons és baixa perquè en moltes ocasions el canvi climàtic és més un pretext per aconseguir subvencions que no pas la preocupació real dels equips d'investigació agraciats.

Lluny dels matisos que es poden buscar en el cas del canvi climàtic, l'interès en la qüestió de la degradació dels sòls sembla senzillament inexistent. De manera excepcional, la revista *Science* va publicar el 1995 un article que feia una revisió sobre el tema (Pimentel *et al.*, 1995a). L'article va desencadenar una breu discussió epistolar (Crosby, 1995; Pimentel *et al.* 1995b) en la qual es posaven de manifest desacords en qüestions com ara si la proporció de sòl agrícola mundial sotmès a erosió de moderada a greu és del 25 % o és del 80 %! (recomanació: torneu a llegir els tants per cent per assimilar l'ordre de magnitud en què ens movem i respireu a fons). És vergonyós que en l'era espacial no només no puguem assegu-

rar el futur de l'alimentació (ni el present a bona part del món, per motius distributius) sinó que ni tan sols ens prenguem la molèstia d'obtenir la mínima informació bàsica sobre el tema.

D'altra banda, es poden estar desencadenant molts problemes ambientals que a hores d'ara ni tan sols coneixem. Myers (1995b) fa notar la necessitat d'estimular els estudis exploratoris, acadèmicament més arriscats que els que es dediquen a temes ja més o menys coneguts.

COM A CONCLUSIÓ

El Minotaure dels problemes ambientals globals es va engrandint per moments, i si el coneixement ecològic ha de ser el fil d'Ariadna que ens indiqui què hem de fer caldria que ens anéssim preocupant seriosament de desentortolligar-lo.

AGRAÏMENTS

Tot i que em dec oblidar algú, vull agrair comentaris que m'han estat útils de David Alonso, Oriol Bosch, Jordi Flos, Emilia Gutiérrez, Olga Invers, Marta Manzanera, Josep Anton Morguí, Marc Plans, Pere Renom, Miquel Àngel Rodríguez-Arias, Francesc Sabater i Laia C. Viñolas.

REFERÈNCIES

- ARROW, K.; B. BOLIN; R. COSTANZA; P. DASGUPTA; C. FOLKE; C. S. HOLLING; B. O. JANSSON; S. LEVIN; K. G. MALER; C. PERRINGS; D. PIMENTEL (1995). «Economic growth, carrying capacity and the environment». *Science*, núm. 268, pàg. 520-521.
- BASCOMPTE, J. (1995). «Buscant l'ordre ocult dels sistemes biològics». A: FLOS, J. *Ordre i caos en ecologia*. Barcelona: Publicacions Universitat de Barcelona, pàg. 131-170.
- BINSWANGER, M. (1993). «From microscopic to macroscopic theories: entropic aspects of ecological and economic processes». *Ecol. Econ.*, núm. 8, pàg. 209-234.
- BLUMENTHAL, D.; E. G. CAMPBELL; M. S. ANDERSON; N. CAUSINO; K. S. LOUIS (1997). «Withholding research results in academic life-science — Evidence from a national survey of faculty». *JAMA*, núm. 277, pàg. 1224-1228.
- CONSTANTINO, R. F.; R. A. DESHARNAIS; J. M. CUSHING; B. DENNIS (1997). «Chaotic dynamics in an insect population». *Science*, núm. 275, pàg. 389-391.
- COTTERILL, F. P. D.; J. M. DONGERFIELD (1997). «The state of biological knowledge». *TREE*, núm. 12, pàg. 206.
- CROSSON, P. (1995). «Soil erosion estimates and costs». *Science*, núm. 40, pàg. 461-464.
- FLOS, J.; E. GUTIÉRREZ (1995). «Caos en ecologia: alguna cosa més que un nou argot?». A: FLOS, J. *Ordre i caos en ecologia*. Barcelona: Publicacions Universitat de Barcelona, pàg. 185-236.
- GACIA, E. (1992). «Ecologia dels macròfits submergits dels estanys del Pirineu: estructura i dinàmica de les poblacions de l'estany Baciver (Vall d'Aran)». Tesis doctoral, Universitat de Barcelona.
- GARDNER, W.; J. ROSEBAUM (1998). «Database protection and access to information». *Science*, núm. 281, pàg. 786-787.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. (1971). «The entropy law and the economic process». Cambridge: Harvard Univ. Press.
- GUASCH, H. (1995). «Producció primària dels biofilms epilítics en rius de règim mediterrani». Tesis doctoral, Universitat de Barcelona.
- HANSKI, I.; P. TURCHIN; E. KORPIMÄKI; H. HENTTONEN (1993). «Population oscillations of boreal rodents: regulation by mustelid predators leads to chaos». *Nature*, núm. 364, pàg. 232-235.
- HASTINGS, A.; C.L. HOM; S. ELLNER; P. TURCHIN; H.C.J. GODFRAY (1993). «Chaos in Ecology: Is Mother Nature a Strange Attractor?». *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, núm. 24, pàg. 1-33.
- MARGALEF, R. (1963). «On certain unifying principles in ecology». *Am. Nat.*, núm. 97, pàg. 357-374.
- MARGALEF, R. (1968). «Perspectives in ecological theory». The University of Chicago.
- MARGALEF, R. (1971). «Les lleis d'organització de la Biosfera, les necessitats i l'esdevenidor de l'home dins d'ella». A: MARGALEF, R. *Cap on va la Biologia moderna?* Barcelona: Societat Catalana de Biologia, pàg. 77-93.
- MARGALEF, R. (1980). *La Biosfera entre la termodinàmica y el juego*. Barcelona: Omega.
- MARTÍ, E. (1995). «Dinàmica dels nutrients en dos rius mediterranis de característiques fisiogràfiques diferents». Tesis doctoral, Universitat de Barcelona.
- MARTÍNEZ ALIER, J. (1994). *De la economía ecológica al ecologismo popular*. Barcelona: Icaria i FUHEM.

- MAY, R. M. (1973). *Stability and complexity in model ecosystems*. Princeton Univ. Press.
- MAY, R. M. (1974). «Biological Populations with Nonoverlapping Generations: Stable Points, Stable Cycles and Chaos». *Science*, núm. 186, pàg. 645-647.
- MCGRADY-STEED, J.; P. M. HARRIS; P. J. MORIN (1997). «Biodiversity regulates ecosystem predictability». *Nature*, núm. 390, pàg. 162-165.
- MÜLLER, F. (1997). «State-of-the-art in ecosystem theory». *Ecol. Model.*, núm. 100, pàg. 135-161.
- MYERS, N. (1995a). «The world's forests: need for a policy appraisal». *Science*, núm. 268, pàg. 823-824.
- MYERS, N. (1995b). «Environmental unknowns». *Science*, núm. 269, pàg. 358-360.
- NAEEM, S.; S. LI (1997). «Biodiversity enhances ecosystem reliability». *Nature*, núm. 390, pàg. 507-509.
- NICOLIS, G.; I. PRIGOGINE (1977). *Self-organization in nonequilibrium systems. From dissipative structures to order through fluctuations*. Nova York: John Wiley & Sons.
- ODUM, E. P. (1969). «The strategy of ecosystem development». *Science*, núm. 164, pàg. 262-270.
- ODUM, H. T.; R. C. PINKERTON (1955). «Time's speed regulator: the optimum efficiency output in physical and biological sciences». *Am. Sci.*, núm. 43, pàg. 331-343.
- PETERS, R. H. (1991). *A critique for ecology*. Cambridge Univ. Press.
- PIMENTEL, D.; C. HARVEY; P. RESOSUDARMO; K. SINCLAIR; D. KURZ; M. MCNAIR; S. CRIST; L. SHPRITZ; L. FITTON; R. SAFFOURI; R. BLAIR (1995a). «Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits». *Science*, núm. 267, pàg. 1117-1123.
- PIMENTEL, D.; C. HARVEY; P. RESOSUDARMO; K. SINCLAIR; D. KURZ; M. MCNAIR; S. CRIST; L. SHPRITZ; L. FITTON; R. SAFFOURI; R. BLAIR (1995b). «Reply». *Science*, núm. 269, pàg. 464-465.
- PIMM, S.L.; G.J. RUSSELL; J.L. GITTLEMAN; T.M. BROOKS (1995). «The future of biodiversity». *Science*, núm. 269, pàg. 347-350.
- POSTEL, S.L.; G.C. DAILY; P.R. EHRLICH (1996). «Human appropriation of renewable fresh water». *Science*, núm. 271, pàg. 785-788.
- PUEYO, S. (1997). «The study of chaotic dynamics by means of very short time series». *Physica D*, núm. 106, pàg. 57-65.
- PUEYO, S. (1999). «Biological irreversibility». *Sotmès*.
- SALMON, M. H.; J. EARMAN; C. GLYMOUR; J. G. LENNOX; P. MACHAMER; J. E. MCGUIRE; J. D. NORTON; W. C. SALMON; K. F. SCHAFFNER (1992). *Introduction to the philosophy of science*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- SUGIHARA, G.; R. M. MAY (1990). «Nonlinear forecasting as a way of distinguishing chaos from measurement error in time series». *Nature*, núm. 344, pàg. 734-741.
- TILMAN, D.; D. WEDIN (1991). «Oscillations and chaos in the dynamics of a perennial grass». *Nature*, núm. 353, pàg. 653-655.
- TILMAN, D.; D. WEDIN; J. KNOPS (1996). «Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems». *Nature*, núm. 379, pàg. 718-720.
- VITOUSEK, P.M.; P.R. EHRLICH; A.H. EHRLICH; P.A. MATSON (1986). «Human appropriation of the products of photosynthesis». *BioScience*, núm. 36, pàg. 368-373.
- VITOUSEK, P.M.; H.A. MOONEY; J. LUBCHENCO; J.M. MELILLO (1997). «Human domination of Earth's ecosystems». *Science*, núm. 277, pàg. 494-499.
- WESTOBY, M. (1997). «What does ecology mean?». *TREE*, núm. 12, pàg. 166.
- WMO; UNEP (1996). «Climate Change 1995. The science of climate change».