

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

Treballs de la SCB. Vol. 50 (2000) 47-59

ORGANITZACIÓ DE LA BIOSFERA I REFLEXIONS SOBRE EL PRESENT I EL FUTUR DE LA NOSTRA ESPÈCIE I DE LA CIÈNCIA ECOLÒGICA

RAMON MARGALEF

Departament d'Ecologia, Facultat de Biologia. Universitat de Barcelona.

Adreça per a la correspondència: Departament d'Ecologia. Facultat de Biologia. Universitat de Barcelona. Diagonal, 645. 08071 Barcelona.

INTRODUCCIÓ

Agraeixo que se m'hagi suggerit redactar unes pàgines sobre progressos recents i perspectives de l'ecologia, com a part d'una nova sèrie d'articles sobre «cap on va la biologia moderna», vint-i-vuit anys després d'una reunió, amb aquest títol, organitzada aleshores per la mateixa Societat Catalana de Biologia.

Tant per la meua edat com pels progressos inabastables que la biologia ha experimentat en aquests darrers trenta anys, ni puc ni voldria arriscar-me a fer comentaris sobre la biologia en general; però resulta temptador reprendre, una vegada més, els temes de sempre de tipus ecològic que suscita l'estudi de la coberta viva del nostre planeta. Almenys els mots ecologia i derivats han esdevingut d'ús comú, potser massa comú per mantenir un mínim de precisió i fins i tot de respectabilitat.

Una bona part del meu pensament queda exposat en la meua *Ecologia* de l'any 1974, un llibre que ja no es correspon amb la manera de tractar aquesta ciència de la major part de les universitats. Tampoc no han tingut gaire difusió altres escrits més abstractes o teòrics (Margalef, 1991, 1997) i jo mateix he anat canviant la manera de veure algunes qüestions inobviables. En les pàgines que segueixen, intentaré sintetitzar el meu pensament actual a propòsit d'algunes qüestions que crec importants, però no em proposaré passar revista de manera sistemàtica i formal als possibles continguts de l'ecologia.

No sols com a deure, sinó també com a lleure, segueixo fullejant i llegint llibres i articles que tracten d'aquest espai de la ciència i procuro seguir allò de què es parla en els congressos del ram. Tot plegat dóna idea del temps considerable que la gent inverteix en tota aquesta problemàtica. Un pensa

que al darrere hi ha el treball i les il·lusions de molts estudiants i també de recercadors més granats. Sovint hom hi troba una informació important per altres raons, encara que de vegades subvencionada o feta possible per algun títol que conté els mots ecològic o ecologia. Hauria estat massa feixuc per a la meua capacitat actual intentar fer un resum del que crec assimilable i positiu, o presentar les conclusions que es poden treure de nombrosos estudis sobre canvis possibles o probables en el nostre entorn, tant en l'atmosfera com en la circulació oceànica, incloent-hi prediccions per a tots els gustos, o en la intensitat de les modificacions o de la destrucció experimentada pels ecosistemes mundials o pels que han estat més o menys modificats per la humanitat, que actualment ja són tots. O tractar dels processos d'extinció de poblacions i d'espècies, incloent-hi els exemples d'expansió d'algunes d'elles, juntament amb els resultats dels sovint desaconsellables intents de reintroducció de formes alienes o de formes modificades per la tecnologia genètica del present.

Fa més de vint anys que encara s'intentava construir, de manera raonable i lògica, una ecologia teòrica. Després, tot ha anat quedant reduït a aplegar allò que se n'ha dit «conceptes» o «models parcials *ad hoc*», amb un acompanyament generós d'estadística, generalment no bayesiana. No hi ha ara voluntat de fer teoria general; es repeteix el cas d'una situació paral·lela de la qual en va es queixa Hsü (1995) pel que fa a la geologia. Per clarificar el panorama, penso que valdria la pena «deconstruir» una part considerable de molts conceptes i relacions que ara se'ns serveixen sota el rètol d'ecologia. I sap greu que es perdi molt de temps en aspectes trivials, que són proposats com a distracció, amb fites comercials o també amb segones intencions polítiques, sovint més o menys blasmables.

VIDA I HISTÒRIA

L'organització del món viu és històrica, s'expressa sobre el temps i això ha de quedar sempre molt clar. La vida es podria interpretar de maneres diverses, també com l'usdefruit d'un temps que s'escola fatalment, que així deixa rastre i conforma un futur, ric en informació. El desenvolupament de la teoria de l'evolució encaixaria en aquesta línia: usar una informació adquirida mentre es va construint un sistema cada vegada més tancat i aparentment més parsimoniós en el canvi. Això aquí i allà i una altra vegada. Com escriu Popper (1982, pag. 174), si el futur estigués contingut en el passat seria redundant i l'única alternativa que satisfà la nostra manera de ser és creure en la creació continuada.

L'ecologia reflexiona sobre la construcció i el manteniment dels ecosistemes, que són conjunts reals d'organismes, contemplats com a sistemes històrics que, com a portadors d'informació, permetrien en teoria una reconstrucció parcial del passat, i es consideren subjectes al que tradicionalment se n'ha dit *successió ecològica*. Són els tallers i alhora l'escenari de l'evolució creadora.

Fa temps que maldo per divulgar l'essencial del pensament de Volterra (1937) i recomanar que se n'aprofundeixi més l'estudi. Volterra associa la manifestació temporal dels canvis en els sistemes compostos per éssers vius amb fer mínim el que anomena *acció biològica*, proposta que equival, de manera molt general, a introduir un principi de mínima acció (aquí *acció biològica*). Això faria costat a altres formes d'expressió més generalitzades en física, segurament intuïdes d'antic i formulades almenys des del temps de Maupertuis (1698-1759). Es tracta d'arribar al més ràpidament possible i amb la mínima despesa energètica total (la menor *producció* d'entropia) a una situació de relatiu repòs (algú diria de relativa estabili-

tat), que sempre acostuma a resultar almenys més complexa (major diversitat) que qualsevol situació precedent. Evidentment, un sistema que s'organitzi segons aquestes línies començarà amb el predomini d'uns pocs components que creixeran molt ràpidament i gradualment anirà augmentant en complexitat i parsimònia.

Aquesta mena de relacions es perceben prou bé quan tractem de visualitzar la successió en un ecosistema, no solament com varien els fluxs, sinó també la «diversitat» global apreciada sobre el conjunt de les entitats històriques (espècies) que coexisteixen en cada moment; conjunt generat a partir dels gèrmens a disposició – per exemple, els que es troben en els sòls o sediments – i regulada (la diversitat) per les interaccions biològiques entre unes i altres espècies. Les poblacions deriven totes dels gèrmens que el sistema viu extreu o rep de la reserva biòtica local, del que se'n diu la *biodiversitat*, que pot contenir unitats actives i d'altres de quiescents. La successió ecològica representa una mena d'organització estesa sobre el temps que es podria comparar amb moltes històries particulars, com la del sistema immunitari individual, en la seva resposta a successius estímuls.

LA SUCCESSIÓ

La formulació general de la successió ecològica, així com la seva percepció en el sentit de Volterra, tendeix, progressivament, a situacions menys fluctuants que les del principi i a minimitzar el cost fisiològic de manteniment per unitat d'estructura (o d'informació). Crec que les qüestions relatives a la diversitat i a la biodiversitat han estat molt inflades artificialment i no sempre de manera prou intel·ligent. Tant els conceptes dits com la seva mecànica queden notablement aclarits des de la visió

suggestida que no és del tot nova. Vindria a proposar que la continuïtat de la història troba una expressió i alhora depèn de les relacions recíproques i circulars entre diversitat, o composició local dels ecosistemes, i biodiversitat, o sigui, la reserva genètica de la naturalesa, representada per les diverses soques o els seus gèrmens, de què es disposa en aquell moment del temps i lloc de l'espai.

La successió ecològica seria una història, entre d'altres possibles, repetida una i altra vegada, però mai exactament en els mateixos termes, tothora creativa, és a dir, amb capacitat d'influir sobre l'evolució biològica, i fortament dependent de la capacitat dels organismes d'arranjar els entorns respectius i fins i tot de construir estructures auxiliars desproveïdes de vida, que van des de la fusta de les plantes vasculars, en el sentit biològic, fins als gratacels i als avions.

Sempre m'ha semblat que en els temps que corren es tendeix a rebaixar la importància del tema de la successió. Potser la regressió generalitzada dels ecosistemes, sota l'imperi humà, contribueix a l'oblit. Segueixo creient que els mecanismes de la successió són un aspecte fonamental de tots els sistemes històrics, que afegixen estructures i funcions exosomàtiques amb el pas del temps. Aquest enfocament clarifica i destria els conceptes de diversitat i biodiversitat.

L'expressió fonamental de Volterra és de l'any 1937 i té la forma següent:

$$A = \int_0^t \left[\sum_{i=1}^n (a_i N_i \log N_i) \right] dt$$

on N_i és el nombre d'individus de l'espècie i , a_i una constant i t el temps. Aquesta equació s'aplica a la successió i inclou el que és una expressió de la diversitat, que normalment

ha d'augmentar amb el pas del temps. Aquesta part correspon a una fórmula de Shannon que s'ha usat per expressar la diversitat biològica: $H = - \sum (p_i \log_2 p_i)$, on p_i és la proporció d'individus de l'espècie i , però la publicació fonamental de Shannon és de l'any 1948.

Des del punt de vista de la termodinàmica, el més important és l'asimetria entre trajectòries oposades dins de les fluctuacions. La reconstrucció, quan és possible, fa veure que la selecció operada en un canvi d'entorn en un sentit mai no és inversa del canvi que continua quan el sentit del proper canvi esdevé invers del precedent. La tardor no és com la primavera presa a l'inrevés, la barreja vertical en llacs i oceans no és un procés invers a l'estratificació de l'aigua per densitats, i el bosc que es crema no és la imatge invertida del bosc que creix. Ha estat massa sistemàticament oblidat que la repetició de trajectòries de canvi, ara en un sentit, ara en un altre sentit, ha de canalitzar l'evolució en un únic, sigui d'augment de mida dels organismes individuals, sigui de modificacions, suposadament progressives, en relació amb l'efecte selectiu de segments relativament extensos de la successió ecològica. Els geòlegs, en camps veïns, han reconegut canvis fluctuants, com els cicles de sedimentació dits de Bouma, que poden tenir un efecte selectiu, sovint unidireccional, sobre els organismes continguts en el registre fòssil.

La fonamentació teòrica seria la irreversibilitat en el tractament de la informació: la impossibilitat de desmuntar ordenadament un sistema informàtic (memòria, organització, l'individu) que s'ha anat integrant també de manera gradual. És la llei que regeix les activitats vitals, i en especial les que impliquen informació, organització: mai no es poden repetir en sentit invers. Realment, la vida no pot donar cap pas enrere i el final de tot és la mort individual.

Alguns aspectes de la successió produeixen resultats admirables. Un exemple dels que més admiro és el joc entre els boscos de ribera tropicals i la dinàmica de meandres dels rius respectius. L'expressió geomètrica d'aquesta dinàmica dóna com a resultat que la vora del riu que avança sobre terra talla perpendicularment tot un paquet o una sèrie d'etapes successives d'una successió ja vella, mentre que al llarg de la riba que retrocedeix es troba la seqüència, en faixes paral·leles a la mateixa riba, de les fases juvenils de la mateixa successió. I per les ironies de la vida, hagueren de ser investigadors finesos els que explicaren aquest elegant mecanisme en estudiar els afluents de l'Amazones (Saló *et al.*, 1986).

LES UNITATS INTERACTUANTS I EL RESULTAT DE LES INTERACCIONS

El model de depredador i presa, tal i com es proposa correntment, hauria de contenir el que és un component inevitable d'evolució. Podem partir del model del depredador i de la presa, del gat i de la rata, que prefereixo qualificar de model de Tom i Jerry, per significar que a l'augment de la capacitat de trapperia d'un dels «interlocutors» segueix inevitablement una nova astúcia corresponent de l'altre. Per això, en qualsevol espai de fase en què es comparin els nombres d'individus de les dues espècies que interaccionen, les trajectòries mai no poden ser corbes senzilles i tancades, sinó espirals obertes, com escau a la dinàmica successional en conjunts de moltes espècies i, per les tensions generades, a l'evolució en el sentit darwinian; perquè amb el temps cal anticipar una reducció de l'amplitud de les fluctuacions i, per tant, un estalvi en el sentit termodinàmic.

Els ecosistemes són els bressols i els escenaris de l'evolució, i les interaccions en-

tre les espècies generen una cursa comuna, amb una resultant obligada que opera com una mena de *vis at ergo* del qual ningú no s'escapa i que porta totes les espècies implicades a noves situacions, on qualsevol equilibri aconseguït tampoc no serà més que transitori. Tot això, és clar, suposant que s'acompleixi el model de Volterra, que correspon a la successió ideal, que mai no es desenvolupa sense entrebancs. La complexificació de l'ecosistema en el curs de la successió ecològica no pot deixar d'influir sobre l'evolució de cadascuna de les espècies implicades, ja que contínuament es troben subjectes a pressions que varien de manera sistemàtica. Tals pressions ofereixen tantes característiques comunes o relacionades entre elles – en part com a fruit de l'evolució passada – que no poden deixar de donar algun sentit, definible *a posteriori*, a les tendències evolutives. I possiblement entre els resultats més previsibles d'aquesta dinàmica es troben l'augment de mida i l'allargament de la vida individual en la majoria de les entitats preses en el joc, almenys en les que ocupen nivells tròfics més alts.

És notable que la manera tradicional de veure-ho sigui tan poc darwiniana i tan poc científica que no hagi acceptat com a cosa corrent haver de prendre en consideració els valors extremadament petits en les pressions i en les efectivitats d'una selecció molt persistent. Es prescindeix del temps, cosa que potser lliga amb la predilecció de l'ecologia tradicional per l'estadística no bayesiana.

Els paradigmes de Kuhn serien senzillament un altre exemple de dinàmica successional, sota l'imperi d'un *vis at ergo* de tipus cultural, del qual no es surt si no és en forma de daltabaix. La mateixa dificultat d'entendre les asimetries es propaga, tant en l'antiga consideració de la successió com en la moderna del canvi global.

ALTRES ASPECTES REFERENTS A TERMODINÀMICA I ORGANITZACIÓ

En el seu origen, la termodinàmica s'interessà exclusivament o de manera principal en els fluids. En desenvolupar el concepte d'*entropia*, no s'esmentaven les parts sòlides dels respectius sistemes. Es discuteix el destí dels fluids, però no, per exemple, el de les parets dels cilindres de les màquines de vapor, o l'estructura d'un aparell circulatori precís, on poden quedar empremtes de desgast o de reconstruccions i, per tant, testimonis del passat interpretables com una informació, el coneixement de la qual ajudaria eventualment un observador extern a reconstruir part d'una història. El cert és que amb els canvis d'energia, part d'aquesta no resulta ja mai més a l'abast, però la seva degradació ha pogut deixar una empremta material que decanta, en un o en altre sentit, les propensions o probabilitats assignables a possibles esdeveniments futurs.

Si es miren les coses més senzillament, tenint en compte la fàcil producció de còpies a bon preu i la selecció natural, s'explica l'èxit de la vida. L'esplet de creació del món orgànic (en termes d'informació) es correspon a la sumació del que es considera com a augments d'entropia, associables a tots els canvis físics corresponents ocorreguts fins al moment de l'observació.

Estem acostumats a modelar i expressar el canvi demogràfic segons una taxa a l'estil de l'interès compost i suposem que aquesta taxa és influïda per la densitat momentània que té la població a la qual s'aplica, en relació amb la capacitat de suport del corresponent entorn, que acaba frenant el propi increment quan la densitat ja assolida és prou gran. Diguem que si la població momentània és N , la màxima població tolerable és K , i la taxa instantània i efectiva de multiplicació r , ja des de Pierre-François Verhulst (1804-1849) se suposa que l'augment va de-

creixent i s'anul·la finalment quan la població N arriba al seu límit superior que, anomenarem K ; escriurem:

$$\frac{dN}{dt} = rN \left(1 - \frac{N}{k} \right) = rN - \left(\frac{r}{K} \right) N^2$$

Aquest model és d'aplicació molt general i l'efecte de frenada pot ser de naturalesa molt diversa; fins pot incloure raons culturals com les que es manifesten en la limitació dels naixements entre els humans. Es pot generalitzar qualsevol model d'aquesta mena, posant:

$$\frac{dN}{dt} = rN - aN^2 - bN^3 - cN^4$$

Expressió que podria acceptar també potències no enteres. Aquesta expressió es pot aplicar a molts processos de regulació per retroalimentació com és, per exemple, l'entrada de calor a la Terra, que depèn del que rep del Sol (R) i és poc variable, i la seva emissió vers l'espai, que és proporcional a la potència 4 de la temperatura de la superfície irradiant, de manera que hi ha regulació, ara en la forma $dT = aR - bT^4$. És clar que el detall de la distribució de l'emissió en cada moment i en cada punt i la manera com cal integrar-la, depenen de l'albedo de la superfície del planeta.

Expressions d'aquesta mena resulten força útils per a comparar les influències de factors diversos —entre d'altres els que són funció de la densitat de població— sobre diferents situacions complexes i només cal recordar que la potència 3 pot aparèixer en solitons, a manera d'ona única o fluctuació senzilla que arriba i se'n va. També permet entendre millor les fluctuacions en sistemes segons si estan controlats a través dels nivells tròfics inferiors (*bottom-up*), com succeeix normalment al començament de les proliferacions del plancton, o bé en els nivells

superiors, cosa que s'escau més sovint a mesura que passa el temps (*top-down control*). Remarquem que la successió de les dues modalitats de control, primer *bottom-up*, després *top-down*, es reconeix també en els daltabaixos socials.

Una aproximació comparable seria d'aplicació a subsistemes elementals compostos per tres poblacions o sistemes vius reactius, sistemes que són intrínsecament inestables. Potser la terna més durable seria amb dos circuits paral·lels de retroalimentació negativa i amb el tercer circuit positiu (actuaria com a desestabilitzador, el que portaria a la llarga a la pèrdua de la relació triangular). Dins la successió ecològica, cal esperar, com a resultat d'un sistema complex de regulacions, una certa coincidència en els estils de canvi vers el futur, que tal vegada operen sobre l'evolució de totes i cadascuna de les nissagues preses en el joc, com ja he deixat entendre. Crec que es justifica parlar d'una força resultant de la successió, com un sistema de pressions de selecció que actuen de manera paral·lela i fatal, inescapable, com el que ja s'ha dit: *un vis at ergo*; perquè unes espècies creixien més (estaven millor adaptades) a una situació passada i altres ho fan a la present o ho faran a la futura. Per altra part, sabem la importància de la mida de les diferents entitats individuals i la relació que té amb la seva persistència.

Realment, queda molt a fer en l'anàlisi de les interaccions, que ha d'incloure la consideració de les relacions d'espai entre els individus, problema que els ordinadors faciliten encara ara amb relativa adequació. L'evolució d'un depredador que interacciona successivament amb diversos individus presa, amb la possibilitat d'aprendre de manera més directa, ha de ser diferent de l'evolució de la presa per a la qual el contacte amb el depredador de torn serà únic i fatal. L'observació de fronteres naturals, més o

menys persistents, és font de consideracions força instructives.

COMPONENTS ENDOSOMÀTICS I EXOSOMÀTICS

Les estructures vives i l'energia que capten i transformen, en general interiorment, es qualifiquen apropiadament d'endosomàtiques. En el cas de l'espècie humana estem familiaritzats amb estructures exosomàtiques (habitaclles, vies de comunicació, instruments, vehicles, vestits...), a què corresponen energies igualment exosomàtiques (energia del foc, del vent, del carbó i dels hidrocarburs fòssils, energia nuclear...). És evident que els formiguers, vespers i termiters són veritables estructures exosomàtiques socials, confegides i disposades pels respectius insectes. La fusta té moltes característiques exosomàtiques: fa principalment de suport, però té una funció important en el transport i ha tingut una posició decisiva en l'evolució de la vida vegetal i explica l'èxit que ha tingut en l'ocupació de la superfície dels continents.

El sistema fotosintetitzador dels vegetals està organitzat de tal manera que no s'atura automàticament quan arriba el moment en que ja no pot continuar la síntesi de la més genuïna matèria vivent, que sempre conté fòsfor com en els àcids nucleics, perquè s'ha esgotat completament la disponibilitat de l'esmentat element. Es podria comparar a la dinamo d'un cotxe, que pot seguir voltant quan la bateria ja està carregada. Aleshores, en el cas dels vegetals vasculars, el poder reductor que ve amb els fotons de la llum absorbida acaba fent-se efectiu altrament i de manera que podria semblar menys rellevant per a la vida del que és la multiplicació de cèl·lules completes. Normalment, aleshores s'utilitza el poder químic de reducció i no solament per fer passar el nitrat a nitrit en

l'aigua dels oceans, o fabricar fusta (cel·lulosa i lignina), sinó també per produir hidrocarburs diversos: terpens, essències de plantes aromàtiques, tòxics potents com els de les dinoflagel·lades del plàncton (aigües roges) o altres menes de secrecions en hemípters i tèrmites, cases d'apendicularies i de briozous...

Una vegada un arbre ha desenvolupat un tronc poderós, fa ombra a les altres plantes de menor altura i té capacitat per aspirar, més avall, una major quantitat d'aigua del sòl, amb els nutrients que pugui contenir. La dominància així aconseguida fa que ja no valgui la pena que l'arbre entri en competència per aspectes menors o secundaris. Potser per això l'evolució es torna aleshores relativament lenta, amb el resultat que la vegetació arbòria sovint presenta característiques més arcaiques que l'herbàcia associada. I, amb un paral·lelisme evident, el poder de la nostra cultura opera, per altra part, com un fre efectiu sobre vies possibles de futura evolució dins de la nostra pròpia nissaga.

ECOLOGIA I ECONOMIA

Quan en l'estudi de les interaccions arriba a l'àmbit humà, cal prendre en consideració la fabricació i l'ús de tota mena d'eines i d'altres atuellis. Aquests semblen entrar en un procés d'evolució pròpia que repeteix l'evolució de línies filètiques naturals, com es constata que ocorre en vestits, instruments musicals, vehicles, llibres, ordinadors... Sovint, en la història de cada tipus d'artefacte, vaixells, avions, aparells fotogràfics... es reconeixen lleis o regularitats molt anàlogues a les que mostra l'evolució de nissagues d'organismes.

Es poden qualificar d'exosomàtics els materials, les estructures i fins i tot el metabolisme, quan són perifèrics i, en aquest sentit, pròpiament aliens a l'organisme. Molts

rizòpodes i tintínnids, les larves de tricòpters i altres insectes aquàtics viuen dintre de cases fetes de materials diversos. Aquesta ampliació perifèrica de les unitats vitals ha representat un avantatge evolutiu cert per a tots els organismes que l'han adoptada i possiblement resulta transcendental en l'organització de la present biosfera.

L'ús de materials i, especialment, d'energia d'origen extern ha tingut una importància cabdal en l'evolució de la humanitat. Ha anat associada amb el que es pot qualificar de transmissió i evolució cultural quan les formes de comportament i l'acumulació de coneixements es propaguen per imitació o ensinistrament, afavorits a través d'una selecció natural prèvia del suport necessari, com si diguéssim de l'ordinador personal que portem incorporat de naixença, el contingut de la memòria del qual resulta ampliable a gratcient, fins al punt que, al seu torn, ha estat capaç d'enginyar processadors exosomàtics d'informació suplementària.

A LA RECERCA D'UNA VISIÓ GLOBAL

Reflexionant sobre la nostra Terra i la seva coberta viva podríem arribar a veure el món com una obra d'art. No existeixen tots els elements ni tots els compostos químics imaginables. Algú hi podrà veure la gràcia del transcendent. Davant d'una obra d'art genuïna, generalment no pensem —almenys jo no hi penso— en altres imatges o no-imatges que hauria pogut expressar un artista, el mateix artista. L'Univers es pot veure amb la qualitat d'una obra d'art que porta una informació no gratuïta que encapsula almenys tota una obra passada, difícilment o gens repetible i, segurament, encara més coses. ¿Hem de considerar l'Univers com una obra d'art, perquè és un entre un nombre infinit d'universos possibles o pensables i nosal-

tres hem arribat per selecció natural a atrevir-nos a fer consideracions d'aquesta mena? ¿I, per què, en aquest món, queda tant d'espai per al sofriment i per a la culpa?

No és bo enlairar-nos massa. Molt menys quan pensem que, al costat d'aquestes emocions més o menys genuïnes, continuem subjectes a pressions de qualitat dubtosa com, per exemple, l'imperi del diner, que es podria veure com a expressió, limitada a la nostra espècie, d'un equivalent o afegit a l'instint de territori que compartim amb molts animals i que porta fins a l'avidesa més exagerada. Georgescu Roegen és dels pocs economistes que ha intentat una aproximació crítica entre les dues ciències que comencen amb el prefix *eco*. Suposem que les plantes vasculares serien un model més apte de l'economia que les *Chlamydomonas*, encara que només sigui per allò que l'evolució d'una fàbrica és la continuació de l'evolució d'un producte. Un arbre fa ombra per molts anys i pot extreure aigües de fondàries que poden arribar molt avall. La simbiosi amb fongs és una ajuda que sovint s'hi afegeix. La mida d'un arbre és comparable amb extensió al territori d'una colònia d'animals (formiguer, vesper, ciutat...). Aquestes i altres consideracions, que són bones de fer, ens poden portar a generalitzar diversos aspectes de la naturalesa i sospitar que la propietat, el diner, tenen molt en comú amb l'expressió del comportament territorial «d'altres animals superiors».

RESPONSABILITATS VELLES I NOVES

Moltes d'aquestes qüestions ni esclareixen la problemàtica real ni s'avenen gaire bé amb les propagandes de moda, en el terreny que se suposa propi d'una «ecologia assenyada». Ens podem preguntar si no caldria canviar els símbols de la defensa de l'entorn i no defugir ja més la discussió dels temes

que estan més relacionats amb l'evolució cultural, els canvis socials i el poder financer. No crec que sigui jugar net posar preu als ecosistemes mundials, com alguns han intentat ja fer, i tampoc crec que això es pugui justificar mirant l'entorn simplement com a espai, escenari i objecte de competició.

M'excuso d'insistir sobre qüestions en les quals discrepo sovint de la majoria i a propòsit de les quals he pogut convèncer molt poca gent amb els meus arguments. En un llibre recent escrivia que, pel que toca a l'ecologia, preferia els poetes als advocats, una confessió que, segons sembla, no l'han vist gaire oportuna la majoria dels pocs que li han concedit una mínima atenció.

A més dels problemes presents, els temps contínuament ens n'apropen altres d'inèdits i realment preocupants. Per exemple, sospito i temo que d'aquí a poc temps es farà generalment acceptable l'abocament massiu de deixalles al fons dels oceans. Realment, l'estat present de totes les qüestions relatives a abocadors, incineradores i reciclat de residus no ofereix un futur afalagador. La revista *Journal of Marine Systems* (vol. 14, núm. 3-4, 1998) ha publicat un *Special Volume* amb prop de dues-centes pàgines dedicades al tema «*Abyssal Seafloor Waste Isolation: a Technical, Economic, and Environmental Assessment of a Waste Management Option*». Admirem la finor del redactat, delicadament i ecològicament correcte pel que estem acostumats. Interpreto aquest recull en el sentit que ja no hi ha qui aturi el proper abocament de brossa i deixalles de tota mena, conduïdes tal vegada per vaixells escombriaires de la mida de superpetroliers, fins a les grans fondàries marines. Puc dir que no són els primers tempteigs en aquest sentit, però potser ara va de bo, perquè les deixalles se'ns mengen i en el projecte hi ha molts diners a fer. Possiblement algunes almoines podran anar als països poc desenvolupats

que puguin quedar prop dels abocadors. I el més probable és que els seus dirigents les inverteixin immediatament en armament. La recent exposició universal de Lisboa (1998) donà peu a una discussió més general – i molt parcial – d'alguns temes d'ecologia marina (*Science*, núm. 281, pàg. 190-240), especialment amb un article signat per Costanza i altres (1998), en el qual els interessos econòmics es manifesten plenament.

A favor del projecte, en un sentit molt ampli (*sustainable governance of the oceans*) cal reconèixer que, en els temps presents, els grans fons oceànics estan ben ventilats, potser com mai no ho havien estat. És per això que actualment estarien absorbint molt diòxid de carboni de l'atmosfera, si no fos per la vàlvula biològica dels estrats superiors, vàlvula que, d'altra banda, com segurament deuran fer valer els paladins del nou projecte, ens podrà protegir tanmateix del fet que un futur excés de CO₂ en el mar pugui fugir vers l'atmosfera.

Cal canviar els símbols de defensa de l'entorn. Principalment, no defugint les qüestions de l'evolució social i del poder financer, un tema encetat per Georgesco Roegen, l'obra fonamental del qual val la pena que sigui coneguda per ecòlegs i ecologistes. Publicada en 1971, ha estat recentment editada en castellà (Fundación Argentaria, 1996). Les relacions entre economia i ecologia han estat considerades també per uns altres autors més proper a nosaltres (Martínez-Alier i Schulnepmann, 1987). De fet, la societat actual queda sota l'imperi del diner, que és l'expressió ampliada, pràcticament sense límits, del que es pot veure com un equivalent de l'instint de territori.

Aquesta qüestió es complica cada dia més. El diner en circuits d'especulació ara sobrepassa en més de cinquanta-cinc vegades la circulació monetària que correspon, en sentit invers, a la circulació de béns i serveis. De manera que la quantitat de diner en

els esmentats circuits d'especulació ha arribat a tenir una capacitat de control fora mida. El diner lubrica relacions i permet l'explotació descarada de la resta, per una part relativament limitada del sistema econòmic. El tronc dels arbres i el territori del formiguer són certament capitals i un es podria preguntar fins a quin punt el diner és una mena d'equivalent cultural de «l'esperit del formiguer».

QÜESTIONS SOBRE LA CONSTRUCCIÓ DE LA NATURA QUE ENS RETORNEN DE NOU A LA BIOLOGIA TRADICIONAL

Les pàgines anteriors, preparades amb un confessat sentit del deure, expressen una visió cànvida i força crítica, espero que amb un punt de subversió, d'un ecòleg a l'antiga. Poden deixar mal regust, especialment en relació amb la generació de forces internes a la humanitat i el poder que tenen aquestes forces per a crear el que veiem com a injustícies i conflictes.

Dit això, proposo retornar a temes més afins a la biologia general i omplir uns fulls més per tractar d'atreure l'atenció envers algunes regularitats observables i encara poc explorades, relatives al món orgànic. En això seguiré l'exemple d'un botànic espanyol que, al final d'unes pàgines on malparlava d'algun col·lega, posava la descripció d'alguna espècie nova, per tal que el lector, suposant que conservés una mica d'esperit científic, no llancés directament el pamflet a la paperera.

La constructivitat de la naturalesa té camins poc explorats, tot i que ara la investigació genètica va reconeixent mecanismes que operen de manera sistemàtica i semblant en l'embriologia d'organismes aparentment molt diversos. Simplifiquen i acceleren processos històrics i estableixen controls admi-

rables. Suposo que deuen tenir alguna relació amb una expressió molt general del mateix principi de Maupertuis-Volterra ja esmentat. Es tractaria d'atènyer, al més ràpidament possible, una situació de relativa estabilitat, després d'haver obert noves finestres i possibilitats en un món en perpètua transició, en el qual tota evolució no solament genera alguna cosa nova, sinó que, de retruc, mobilitza canvis que estaven en potència en altres organismes.

Les relacions a les quals vull referir-me toquen tant l'estudi de l'ecologia com qualsevol visió subjectiva més generalitzable de com funciona el món. Sembla que la vida de vegades tingui pressa i altres vegades sembla que no repari en el temps, però sempre acaba trobant solucions relativament senzilles i elegants. En tot cas, molts estaríem disposats a acceptar que la vida aprofita de manera admirable un temps que sembla escolar-se sense remei.

Un tema molt general ha de referir-se al control i evolució de la mida dels organismes i de la manera com els canvis de mida es reflecteixen sobre la forma i les funcions. És tema venerable, especialment en alguns dels seus aspectes més espectaculars. Entre nosaltres fou bastant llegit el llibre d'Arcy Thompson, *On Growth and Form*, traduït al castellà, en edició abreujada, amb el títol *Sobre el crecimiento y la forma*. El tema ha interessat molt els paleontòlegs i és el clàssic *Tempo and mode in evolution*, de G. G. Simpson (1944) que es pot dir que actuà durant bastants anys com un estímul persistent.

L'evolució és l'aventura dels camins infinits. El que ara escriuré s'ha de prendre més com a suggeriment que no pas com a anàlisi acabada i em detindrà especialment en temes poc fressats i que fan referència principalment a organismes de mida petita i mitjana. Tant en els organismes com en les cèl·lules, el futur no està contingut en el pasat ni es pot predir a través d'aquest, i les

possibilitats de nous viaranys i de futures exploracions deuen ser moltes i semblen indeterminades.

Hi ha formes de variació amb regularitats que fan pensar. Així entre clorofícies colonials i cenobials (*Volvox*, *Gonium*, *Pediatrum*, *Scenedesmus*, *Hydrodictyon*...), el nombre variable de successives divisions vegetatives que porten a una nova generació influeix sobre la quantitat (4, 8, 16...) i, el que és més important, també sobre l'ordre en què es disposen les cèl·lules resultants, quan romanen associades en una unitat de grau superior. Entre altres propietats, aquesta ordenació en l'espai condiciona també la relació entre nombre de cèl·lules perifèriques i nombre de cèl·lules centrals, i aquesta relació influeix, al seu torn, sobre aspectes de mobilitat, sedimentació, probabilitat d'ingestió per animals i capacitat de creixement de les respectives entitats compostes. Es donen, tanmateix, fluctuacions regulars que varien en dependència de les localitats, les condicions de vida i el pas de les estacions.

Hi hauria altres històries meravelloses per explicar —algú ho farà algun dia— que fan referència a mides, formes, vida i capacitat de competició en grups d'espècies d'artròpodes, quan entre aquestes espècies existeixen relacions de parentiu indubtable. Comparant espècies prou afins per ser classificades dins d'un mateix gènere, Hutchinson s'interessà per la diferència de mida entre parells d'espècies veïnes, que hom podria esperar que fos suficient per fer que les esmentades espècies tinguessin necessitats i règims de vida no coincidents, en un grau tal que permetés a les dues espècies coexistir en un mateix entorn, per haver alleugerit els efectes, esperables o possibles, de la competència entre unes i altres. Això Hutchinson ho exposa per primera vegada en un article, el títol del qual comença per «Homage to Santa Rosalia...», per recordar que el problema li havia suggerit l'observació de

dues espècies d'hemípters coríxids (adults de *Corixa punctata*, de 13-15 mm, i de *Corixa affinis*, de 8-9 mm) que conviuen en un aljub al costat de la cova de santa Rosalia, en l'entorn de la ciutat de Palermo. No faltà el mal educat que li replicà, en un article encapçalat: «Santa Rosalia was a goat», probablement fent al·lusió a la identitat dels ossos trobats en la tomba de la Santa (es veu que aquest autor ignorava que en els països més devots, entre els quals Espanya, els ossos dels sants eren tan apreciats —fins i tot comercialment— que sovint eren extrets dels respectius sarcòfags i substituïts per peces d'origen biològic divers, a les quals no es demanava altra cosa que la de fer un embalum adient).

Tornant a la diferència de mida necessària per evitar una competició intensa, poc després, el mateix Hutchinson em va comentar personalment la seva perplexa admiració en comprovar que en joguines d'infants, en el seu cas tricicles produïts en mides diverses, la relació entre mides consecutives era semblant a la trobada entre coríxids coexistents. Em sembla que el mateix passa, més o menys, amb olles, cassoles, paelles i altres estris d'ús comú. El mateix tema ha estat comentat per Eadie, Brookhoven i Colgan (1987) que afegeixen un nombre considerable de referències, encara que creuen que la constant suggerida inicialment per Hutchinson pot ser un artefacte.

Un examen més acurat porta a veure que, almenys en alguns grups d'artròpodes, les proporcions que assegurarien una suposada absència de competició seriosa podrien ser les mateixes que existeixen entre els successius estadis de creixement (mudes) en una mateixa espècie. Més senzillament, si el volum es duplica a cada muda, com passa sovint, les corresponents mesures lineals, suposant que les proporcions es mantinguin semblants, haurien de variar com l'arrel cúbica de 2, és a dir, entorn d'1,3.

En els cladòcers (dàfnies i parentela), per comprovar la duplicació del nombre de cèl·lules a cada muda, basta comptar les cèl·lules que es veuen delimitades formant un reticle en les valves que envolten el cos. El nombre es duplica, certament, a cada muda. En aquests animals, la fertilitat no sempre s'aconsegueix a la mateixa edat i el creixement pot no ser tan regular ni el nombre de mudes tan fix com en els insectes. Les ales dels insectes són tan apropiades com les valves dels cladòcers per comptar les cèl·lules i aquesta facilitat esdevé més còmoda si a cada cèl·lula li correspon un petit pèl, o bé suporta escates de distribució regular.

Era sabut que dintre d'una mateixa espècie, les mosques més grosses ho són perquè tenen les cèl·lules més grosses, no perquè en tinguin més, encara que «oficialment» (almenys en la revista *Nature*) no se n'hagi parlat fins fa relativament poc (Alexander, 1995). Ara bé, dins d'un mateix grup taxonòmic d'insectes, un troba formes en proximitat taxonòmica i filogenètica que difereixen, o difereixen també, per valors múltiples en el nombre de cèl·lules de les ales. Això passa entre mosques, papallones, diversos grups de neuròpters... Fins al punt que podríem dir que hi ha mosques del número u , del dos... fins a les grans *Pollenia*. Cal dir que la possible variació en la mida de cada cèl·lula, dins d'aquest esquema en general, és relativament molt menor i, en part, depèn de factors externs, com pot ser la temperatura. És per a mi un deure molt plaent agrair a la professora Mercè Durfort tot un seguit d'excel·lents fotografies d'ales de mosques que facilitaren sensiblement aquestes observacions.

No és estrany, doncs, que, per exemple, les llargades anteriors de les ales de papallones diurnes mostrin majors freqüències entorn de mides fixes, per ventura i aproximadament, de 10, 14, 20, 28, 40, 57, 80 mm, en forma d'una progressió geomètrica de

raó propera a l'arrel quadrada de dos, perquè les ales són òrgans de poc i semblant gruix, llurs cèl·lules són aplanades, i la seva variació majorment restringida al pla de l'ala. Però els pesos respectius dels insectes enters deuen variar d'acord amb una sèrie de duplicacions successives: 1, 2, 4, 8... Una conseqüència és que la càrrega per unitat de superfície alar no s'incrementa tant com altrament succeiria a mesura que augmenta la mida d'un insecte volador, el que ofereix un avantatge gens discutible i aprofitable del punt de vista de l'aeronavegació.

Val a dir que fa temps que els entomòlegs s'havien adonat de regularitats d'aquesta mena, expressades per l'anomenada llei de Dyar, que acceptaria relacions mètriques lineals aproximadament d'1,4 entre estadis succesius del desenvolupament.

En bona mecànica de la vida, sempre deu ser més planera la duplicació que la reducció a la meitat, que sembla que deuria implicar un major grau de dificultat o conflicte.

Quan sorgeixen, de manera sovint casual, temes com l'indicat, penso en Schlichter, que el 1926 demostrà el canvi relativament ràpid en les dimensions dels eritròcits de peixos en funció de la temperatura a què havien estat recentment exposats. Que jo sàpiga, ningú no s'ha preocupat de proposar alguna hipòtesi explicativa, per ventura, de posar-ho en relació amb les freqüències relatives dels ponts d'hidrogen en l'aigua, sota temperatures diverses. Relacions semblants entre mida i temperatura són manifestes en les valves de diatomees i queden reflectides en les fluctuacions regulars, presumiblement anuals, de diatomees del gènere *Aulacosira* (antigament *Melosira*) que formen una gran part del rebliment del llac fòssil de la Cerdanya, dels temps miocènics. Hi ha moltes coses a fer encara i a cost relativament baix, en temes que poden semblar trivials, però que no crec que siguin curiosi-

tats intrascendents, sinó que tenen real importància en ecologia i també en evolució.

BIBLIOGRAFIA

- ALEXANDER, R. M. (1995). «Big flies have bigger cells». *Nature*, núm. 375, pàg. 20.
- BEATON, M. J.; P. D. N. HEBERT, (1999). «Shifts in post-embryonic somatic ploidy levels in *Daphnia pulex*». *Hydrobiologia*, núm. 394, pàg. 29-39.
- COSTANZA, R. *et al.* (1997). «The value of the world's ecosystem services and natural capital». *Nature*, núm. 387, pàg. 253-260.
- COSTANZA, R. (1998). «Principles for sustainable governance of the oceans». *Science*, núm. 281, pàg. 198-199.
- DIXON, A. F. G.; P. KINDLMANN, (1999). «Cost of flight apparatus and optimum body size of aphid migrants». *Ecology*, núm. 80, pàg. 1678-1690.
- GEORGESCO ROEGEN, N. (1971). *The entropy law and the economic process*. Harvard Univ. Press. Traducció: 1996. *La ley de la entropía y el proceso económico*. Madrid: Fundación Argentaria.
- HSÜ, K. J. (1995). *The geology of Switzerland*. Princeton NJ.: Princeton University Press.
- HUTCHINSON, G. E. (1959). «Homage to Santa Rosalia or why are there so many kinds of animals». *Amer. Natur.*, núm. 93, pàg. 155-160.
- MARGALEF, R. (1974). *Ecología*. Barcelona: Omega.
- (1991). *Teoría de los sistemas ecológicos*. Barcelona: Universitat de Barcelona.
- (1997). «Our biosphere». *Ecol. Inst.*, Oldendor/luhe., pàg. 1-176.
- MARTÍNEZ ALIER, J. ; K. SCHLUEPMANN, (1987). *Ecological economics. Energy, environment and society*. Oxford: Basil Blackwell.
- POPPER, K. R. (1982). *Postscript to the logic of scientific discovery*. Traducció del text i apèndixs: *La lògica de la investigació científica*. Barcelona: Laia.
- SALÓ, J. *et al.* (1986). «River dynamics and the diversity of Amazon lowland forest». *Nature*, núm. 322, pàg. 254-258.
- SCHLICHER, J. (1926). «Vergleichende physiologische Untersuchungen der Blutkörperzahlen bei Knochenfischen». *Zool. Janrb. Abt. Allgem. Zool. Unit. Physiol.*, núm. 43, pàg. 121-200.
- SIMPSON, G. G. (1944). *Tempo and mode in evolution*. Nova York: Columbia Univ. Press.
- THOMPSON D'ARCY, W. (1961). *On growth and form*. Cambridge: Cambridge Univ. Press. Traducció del text abreujat: *Sobre el crecimiento y la forma*. Madrid: Blume.
- VOLTERRA, V. (1937). «Principes de biologie mathématique». *Acta biotheor.*, núm. 3, pàg. 1-36.