

CAP A UNA TEORIA



Forn solar a, Odelló (Alta Cerdanya) (Foto: J. Nuet i Badia).

28 (juliol-agost 1980

innecessària. Així es rebutja el projecte de construir una gran central al Mont-Saint-Michel per a l'aprofitament de l'energia de les mareas.

Quant a la qüestió dels transports, hom preveu que el ciutadà francès no haurà de renunciar al cotxe. Hom pensa en l'existència de 20 milions de cotxes, amb un desplaçament anual mitjà de 8.000 km, davant, tanmateix, dels 14 milions de cotxes i els 11.500 km anuals corresponents a l'any 1973. Les diferències hauran d'ésser assumides pels transports col·lectius, com ja hem assenyalat.

En conjunt, el projecte preveu que la contribució de l'energia tèrmica a partir de l'energia solar ha d'ésser de 49 MTEP (Milions de Tones d'Equivalent en Petroli) i a partir de la biomassa de 40 MTEP. Globalment, les diverses aportacions de l'energia solar podrien arribar a 117 MTEP. Pel que fa a les possibilitats d'una transició gradual, hom preveu un ajut limitat de l'energia nuclear, amb clares limitacions en el temps; així i tot, una altra conclusió de l'informe exclou aquesta possibilitat.

La durada d'aquest període de transició seria de seixanta anys, fins que s'aconseguís un model energètic basat totalment en les energies alternatives.

Com a reflexió final, els autors del projecte Alter assenyalen que si hom adoptés la hipòtesi dels partidaris de l'energia nuclear pel que fa al creixement industrial continuat, a començaments del segle vinent el consum a França arribaria a 300 MTEP, cosa que comportaria una enorme dificultat de disposar d'energia de qualsevol tipus. En aquest cas, o tota l'energia hauria d'ésser nuclear o s'esdevindria un caos absolut. El projecte Alter no és més que una resposta seriosa a aquestes qüestions.

(Francesc Solé)

Materials de lectura

Amis de la Terre: *Tout solaire*. Ed. Jean-Jacques Pauvert, París 1978.
Commission of the European Communities: *Photovoltaic solar energy conference*. Luxemburg, setembre 1977. Reideil Publishing Company. Dordrecht, Holanda/Boston, EUA, 1978.

Societat Catalana de Ciències Físiques, Químiques i Matemàtiques: *Primer Col·loqui Internacional d'Energia Solar*. Institut d'Estudis Catalans, Barcelona 1980.

Societat Catalana de Ciències Físiques, Químiques i Matemàtiques: *Segon Col·loqui Internacional d'Energia Solar*. IEC, Barcelona (en curs de publicació).

per Ramon Margalef

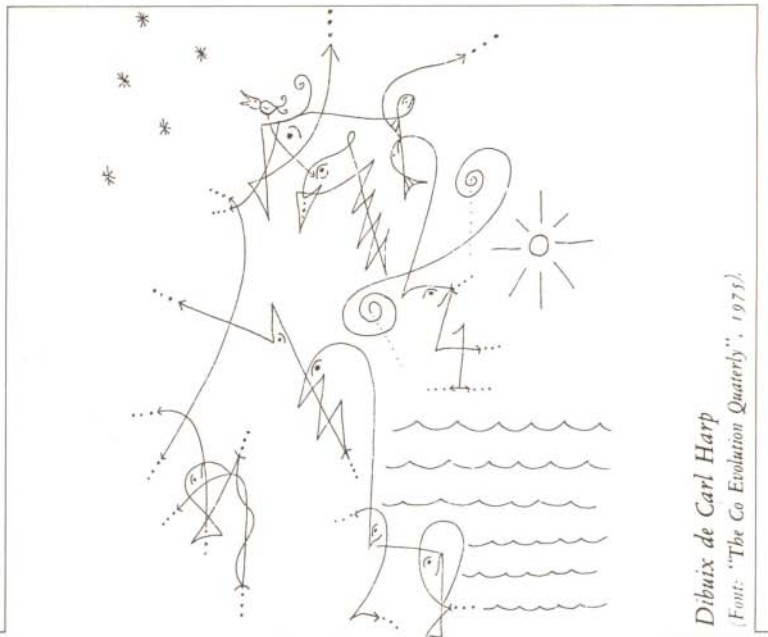
ciència 1)

Tractar d'oblidar molt del que es presenta com a teoria ecològica i referir directament la descripció dels fenòmens a les lleis físiques més generals; acceptar que el que podríem suposar particularitats de l'home a la biosfera són aspectes essencials de tots els ecosistemes; aquestes són les dues grans línies de pensament en les quals s'hauria de fonamentar el futur desenvolupament de l'Ecologia.

Ramon Margalef i López (Barcelona, 1919). Catedràtic d'ecologia a la Universitat de Barcelona i membre de nombroses societats científiques. De les seves publicacions destaquem: *Perspectives in Ecological theory* (Chicago, 1968); *Ecologia marina* (Caracas, 1967); *Ecologia* (Barcelona, 1974) i *La Biosfera. Entre la termodinàmica i el juego* (Barcelona, en curs de publicació).



Dintre de cada context cultural local, tota ciència fa camí movent-se en una sèrie de nivells, dels quals són més obvis els extrems: el nivell de l'observació i de l'experimentació més o menys precises i sempre limitades ("la dada per la dada") i el nivell d'una construcció intel·lectual més ampla que serveix de marc de referència ("la ciència per la ciència"). Certament que les dades són necessàries, elles fan créixer la ciència, però la ciència ve a ser essencialment un codi o gramàtica que permet abreujar les descripcions. Evidentment, les dades més elementals tenen un valor tot especial quan no es poden encabir en la representació teòrica del moment, i ens la fan modificar o ampliar. Jo penso que l'ecologia actual pateix d'un empatx de dades, sovint no prou documentades i, en tot cas, difícils de situar. Avui, són moda, per exemple, les avaluacions dels efectes d'impactes sobre l'ambient, que vénen a ser l'actualització de les topografies mèdiques de la fi del segle passat, amb moltes taules de xifres, la resurrecció de les quals sembla improbable. L'ecologia i els ecòlegs, al meu entendre, no han aprofitat degudament les oportunitats que han tingut en molts països, i potser no s'ha fet un esforç commensurat adreçat a satisfer la necessitat d'un edifici teòric suficient. En aquestes pàgines em proposo examinar algunes àrees en les quals crec que



l'avenç vers una síntesi, que tindrà caràcter més aviat abstracte i teòric, és possible i desitjable. En aquesta presentació faig un resum d'algunes línies de raonament que foren presentades en un llibret publicat el 1968 (*Perspectives in ecological theory*, Chicago University Press) i que fa poc ha estat traduït al castellà, així com d'unes consideracions complementàries i altres desenvolupaments que exposo en un volum que ha de sortir, aproximadament, quan aquestes ratlles es publiquin (*La Biosfera. Entre la termodinàmica y el juego*. Ediciones Omega).

Si se'm permet començar per una conclusió, sospito que el desenvolupament futur de l'ecologia es recolzarà força en dues línies de pensament. D'una part, tractant d'oblidar molt del que ara passa per teoria ecològica i referint directament la descripció dels fenòmens a les lleis físiques més generals; d'altra part, acceptant que el que podríem suposar particularitats de l'home, com l'ús d'energia exosomàtica, o l'acumulació en artefactes del que es pot dir cultura exosomàtica, són aspectes essencials de tots els ecosistemes, que no es poden oblidar. Potser la conclusió en serà que hauríem de canviar de cap i de nou l'enfocament de l'estudi, la recerca i l'ensenyament en el camp de l'ecologia. Però això són figures d'un altre paner o somnis d'una altra universitat.

Qualsevol teoria de la biosfera ens ha d'ajudar a entendre com funciona i com ha arribat a ser com és. Fóra plaent poder bastir una ecologia o biosferologia comparada, si les exploracions de l'espai ens haguessin dut senyals de vida en algun altre món, però no ens podem refiar d'aquest supòsit. Altrament podem pensar en la pobresa d'imaginació de tots els creadors de ficció científica, que, com monstres, fets de peces o parracs, no són més versemblants que les quimeres o els centaures igualment apedaçats. I, tanmateix, una certa imaginació en aquest nivell podria ajudar-nos. Ens hem aturat mai a pensar si seria possible una biosfera, en el sentit de coberta viva de la Terra, que no fos dividida en organismes, sinó que representés una pel·lícula contínua i més o menys homogènia? O bé, com seria una biosfera en la qual no s'hagués produït la diferenciació en classes, en plantes i animals? Puc assegurar-vos que meditar seriosament sobre aquest tipus d'hipòtesis resulta molt més instructiu que empassar-se volums de lletra impresa. Hi ha molts aspectes a matisar i problemes a debatre, o almenys a proposar, i en un article com aquest, això no és possible, malgrat el títol

pretensions que li he donat. Per seguir algun ordre, em proposo examinar successivament els temes següents:

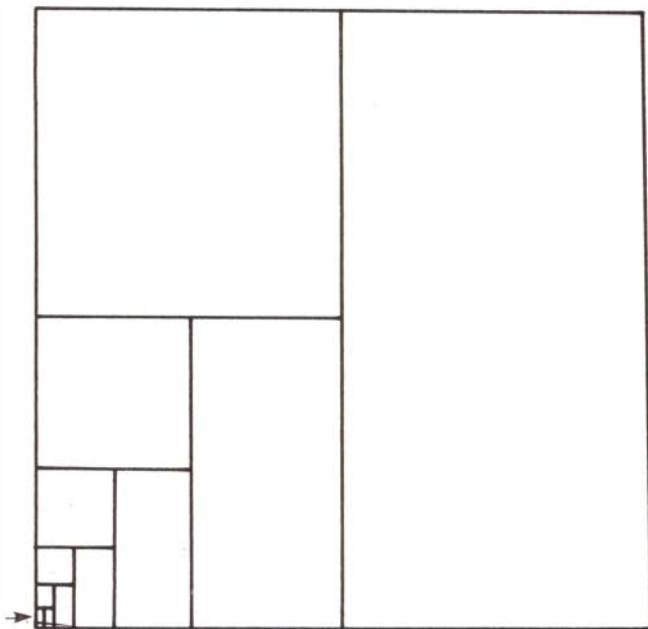
1. El marc donat pel món físic i especialment per les limitacions de la termodinàmica.
2. Anàlisi de sistemes en components elementals binaris o ternaris i reconstrucció a base d'aquests elements.
3. Generació i manteniment de la diversitat de la naturalesa.
4. Estabilitat i canvi en cada regió de la biosfera.
5. La il·lusió del progrés i les adherències entre successió i evolució.
6. L'home com a part de la biosfera.

El lector podrà combinar com vulgui les nocions i pensaments que dono en cada secció i, si li serveixen per a fer més intel·ligible o més admirable (l'admiració és un camí per entendre) la biosfera, millor que millor.

1. Les limitacions de la termodinàmica

Els escrits sobre ciència gairebé mai no brollen de cop; van creixent amb un aparent desordre, com la brolla d'un bosc, i sovint acaben també condemnats al foc. Part de les notes de les quals ara faig un resum, portaren durant un temps el títol provisorï d'"El joc i la termodinàmica". Aquest llibre volia ser una mena de contrapunt al conegut llibre de Monod *L'atzar i la necessitat*, matisant el sentit de dos conceptes clau en biologia. Dit amb poques paraules i, segurament, amb precisió insuficient: L'atzar es pot simbolitzar pel resultat de llançar una peça a cara o creu, mentre que el joc és quelcom més, si prenem com a model una partida d'escacs. Malgrat que cada moviment conserva un determinat grau d'indeterminació —si no, no seria joc— depèn molt del passat i de com es distribueixen les peces en una regió més extensa que aquella on es tira una moneda, i que és el tauler. És cert que tant es pot guanyar o perdre als daus com als escacs, però als escacs la partida acaba sovint en taules i, si imaginem un tauler d'enormes dimensions, és a dir, amb molts més escacs, les partides podrien fer-se inacabables, amb un mínim de prudència com el que la vida ha après per selecció.

Per altra part, l'expressió més correcta de la necessitat es troba en les lleis de la termodinàmica, que són les regles del joc en el seu límit, és a dir, el que està permès i el que no està permès en el món físic o en la naturalesa. Segurament, hi ha més coses permeses de les que ens pensem. Fet i fet, la substitució del simple atzar de llançar una moneda per un joc més complicat, i una consideració més profunda de la



La informació es pot relacionar amb la divisibilitat mental i augmenta en proporció a la informació que ja s'ha aconseguit. Aquest esquema vol indicar que sempre és més fàcil fer noves distincions en una porció ja dividida de manera que la informació té caràcter convergent cap a les porcions més estructurades.

(Font: Ramon Margalef:

La Biosfera, entre la termodinàmica y el juego.

fig. 3, pàg. 28. Ed. Omega.

Barcelona. 1980).

naturalesa del món físic, ens fan veure que l'enorme flexibilitat de la vida no és pas aliena a propietats bàsiques de tot l'univers.

Les relacions entre la física i la biologia han portat, i encara porten, a debats inacabables, potser per culpa de les beceroles de la termodinàmica a què hem estat exposats tots. Recordeu que gairebé sempre es tractava d'imaginar una certa quantitat de gas dintre d'un recipient, de les parets del qual ningú no s'ocupava mai. El resultat previsible era una distribució indiferent, a l'atzar, de les molècules del gas, i d'ací es feia camí fins a arribar a un caos final o a una mort tèrmica de l'univers. I això a repèl que veiem entorn nostre una naturalesa cada cop més complicada o estructurada.

Avui, hom tendeix a preveure les coses d'una altra manera. És cert que una quantitat d'energia no es pot usar de la mateixa manera dues vegades seguides. Si l'energia no té interacció amb la matèria, no ha passat res ni ens en podem adonar. Si té interacció amb la matèria, ja no és la mateixa, s'ha degradat, però la matèria serva senyal de la interacció. Després de qualsevol interacció, per un costat constatem l'augment del valor d'una funció matemàtica, dita entropia, computable sobre el sistema, i que ens diu que la fracció d'energia que no es pot usar com abans, va creixent. D'altra part, la matèria pot conservar senyal del que ha passat, en forma d'augment d'informació, traduïble sovint com augment d'organització. És curiós com molts científics, i sobretot divulgadors de la ciència, han insistit més sobre el concepte negatiu d'augment d'entropia que sobre el concepte positiu o creador d'augment d'informació.

Aquest augment constant d'informació és una propietat general de l'univers tal com el veiem. Un altre principi molt general és la discretització o quantificació de totes les parts, des del nivell subatòmic al de les galàxies. És una propietat molt important. Ara, qualsevol entitat o sistema que s'estén més o menys en l'espai i en el temps, amb certa interacció o unitat interna, que el qualifica com a sistema, està automàticament fora d'equilibri respecte al continu extern. Avui dia s'ha desenvolupat una nova branca de la termodinàmica, que tracta especialment dels sistemes oberts fora d'equilibri, el conreador més conegut de la qual és Prigogine. Potser no cal exagerar la importància d'aquests punts de vista més o menys nous, perquè els biòlegs fa bastant de temps que tenen idees pròpies en relació amb una certa inevitabilitat de l'organitza-

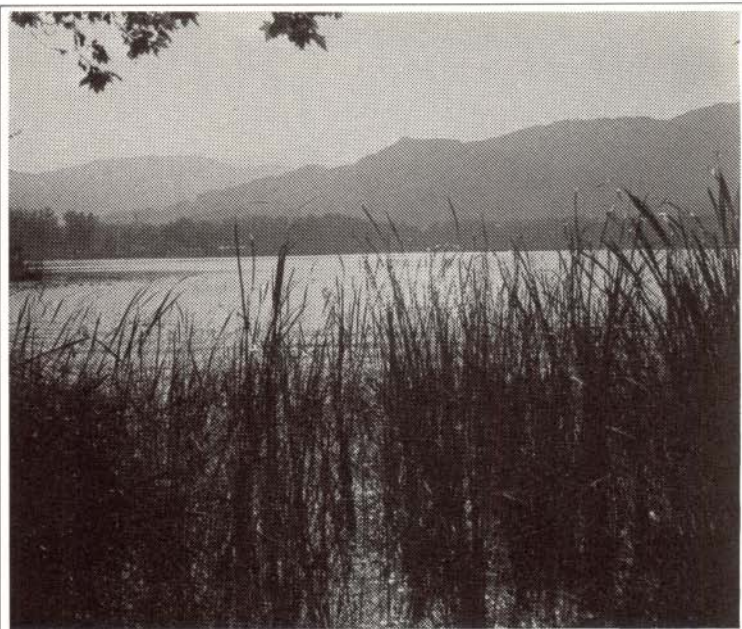
ció, però sempre resulta falaguer saber-se dintre d'una ortodòxia de les ciències més rigoroses.

L'èxit de la quantificació de la vida, el descobriment de l'individu, i el paper de les diferents unitats dins del joc de l'evolució, es comprenen millor al si del marc intel·lectual al qual s'ha fet referència. Es tracta dels problemes elementals posats per la contemplació de la nostra biosfera. Per exemple, el lloc secundari en el qual es troben els bacteris, malgrat llur efectivitat metabòlica. La diferenciació entre plantes i animals ve del fet que les plantes assimilen més que no pas respiren i el balanç es tanca en la biosfera, on hi ha també bacteris i animals. Es pot dir, en cert sentit, que aquests organismes exploten els productors primaris, o sigui, els vegetals.

Tot intercanvi entre dues entitats diferents porta a un augment desigual de la informació útil. Les coses passen de manera que hi ha un augment major de la informació utilitzable precisament en aquella organització que ja en tenia més. A aquesta forma de distribució aparentment injusta que, en realitat, no és res més que un creixement desigual de certa propietat, se li ha dit el principi de Sant Mateu, fent al·lusió a un conegut fragment del seu evangeli. Repeteixo que no es pot dir que la informació es transfereixi, sinó simplement que creix a velocitat diferent. No es pot dir tampoc que l'entropia és produïda o exportada pels éssers vius, sinó simplement que hi ha una variació desigual de la funció entropia a les diferents regions en les quals en fixem. Però hi ha moltes formes de parlar, i crec que d'una manera relativament figurada és acceptable dir que un sistema que, materialment i energèticament n'explota un altre, en treu una quantitat d'informació o bé li exporta entropia. Però la relació no és senzilla, ja que l'augment d'informació no va necessàriament unit a l'explotació i, fins i tot, es pot donar una relació inversa.

És, per altra part, impossible precisar què és informació per a un organisme. La base de la seva estructura, de la seva capacitat d'avançar-se a l'esdevenidor, la que li dona la mesura de la supervivència, a tort i a dret dintre d'una matriu física d'una riquesa sense mesura. Ara mateix, davant la taula on escric i fora de la finestra, suspeses d'una teula, tremolen les gotes d'aigua d'una pluja recent. Cada gota, al besllum, em dona una imatge pròpia de la llunyania, que va canviant a mesura que les gotes creixen i cauen, de primer força de pressa, després més a poc a poc, deixant seguir amb la imaginació l'evolució de la imatge que la meva retina recull.

*L'estany de Banyoles,
un exemple d'ecosistema aquàtic
(Foto: J. Nuet i Badia).*



Ès un exemple de moment, si volem banal, però que fa pensar en la immensa quantitat d'informació, d'estructura, de forma, que té tota la matèria, i de la qual els organismes retallem bocinets, els reactivem, juguem amb ells i fem que influencin el nostre futur. Reconèixer una informació porta automàticament a influir l'acció o el pensament, i tanca l'organisme (se'n pot dir una estratègia), que ignora les immenses possibilitats que no seran mai ni cercades ni usades. En línies molt generals, sembla com si qualsevol cosa que es busqui es pugui trobar. L'univers ofereix molts camins a la vida, i una infinitud de possibilitats dormen arreu. Les circumstàncies locals, personals i l'atzar ens porten a una visió molt particular del món i aquesta afirmació es pot traslladar sense perdre el seu valor a un nivell orgànic molt més general. Els diversos organismes ens apareixen com a fruit d'aquesta divergència d'estratègies en l'evolució que es torna complementarietat en el funcionalisme de la biosfera.

2. Entendre un ecosistema partint d'elements simples

El nivell de referència dins de l'estudi de la biosfera és el que se'n diu l'ecosistema, format per individus de diferents espècies que actuen els uns sobre els altres, al si d'una matriu o ambient físic. No es tracta d'unitats sinó de nivell d'organització. L'objecte de l'ecologia és la seva anàlisi. I aquesta anàlisi emprà diferents tècniques i enfocaments.

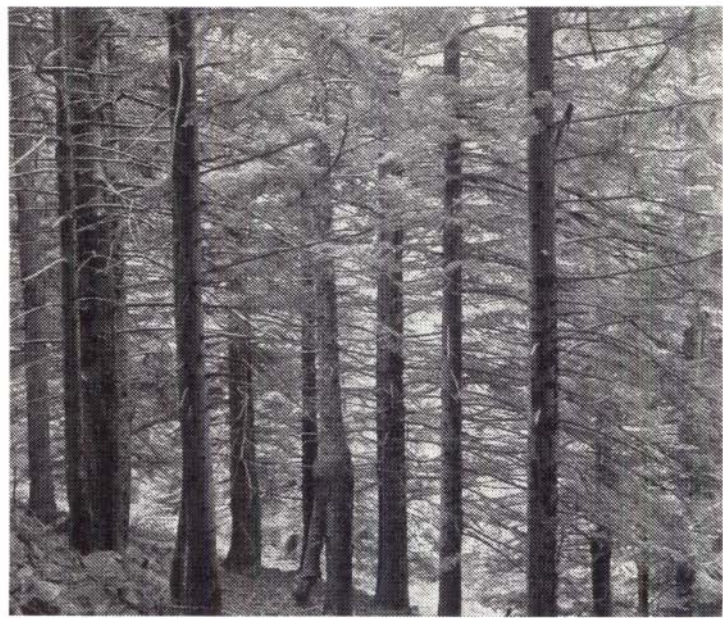
L'èxit de la ciència actual es deu al fet que segueix l'escala de dalt a baix i que explica el conjunt pels seus elements. Es basa en l'anàlisi pacient i detallada de l'estructura i de les funcions elementals per entendre el funcionament del conjunt. Sin un sistema es veu molt complicat, se'l divideix en blocs menors, que s'analitzen al seu entorn.

Ès clar que la unitat més acceptable en l'estudi ecològic és la població uniespecífica, és a dir, el conjunt d'individus de la mateixa espècie que viuen en un lloc arbitràriament definit, amb les seves característiques genètiques i demogràfiques. En realitat, donar aquesta informació pertany més aviat a d'altres branques de la biologia, que l'ecòleg recull. L'anàlisi ecològica, en un dels seus aspectes, s'ocupa de les relacions entre les diferents espècies i, per començar, es fixa en parells d'espècies. Entorn d'aquest enfocament s'ha desenvolupat una aproximació matemàtica, de la qual el promotor més il·lustre fou l'italià Volterra, durant la dècada dels anys vint d'aquest segle. Bàsicament, es tracta d'escriure equacions, en les quals

la taxa infinitesimal d'augment dels efectius d'una població, en el temps, es fa igual a una combinació lineal de densitats de la mateixa espècie i d'altres espècies. El més senzill d'aquests models matemàtics és el que pretén descriure el comportament d'un sistema binari format per un depredador i una presa, obé un animal vegetarià i el seu aliment, o, encara, un paràsit i el seu hoste, o una explotació pesquera i el peix. En la forma en què fou introduït, aquest model matemàtic no pretén res més que una aproximació; no es té en compte l'espai i l'organització a què dona lloc i se suposa la població com una magnitud diferenciable. En realitat no ho és, ja que els individus que la formen són discontinus i no admeten fraccions. Precisament el contrast entre la possibilitat de mesurar l'intercanvi de matèria i energia en forma de magnituds contínues, i la discretització o quantificació en l'estima de les poblacions, ens porta a l'essència del significat de la discontinuïtat com a agent generador de coses noves. Ès una pena que l'ecologia tradicional no hagi aprofundit en l'examen de l'esmentat contrast, i ací remarcaré solament que la discontinuïtat dels individus ens porta naturalment a usar la teoria dels jocs. Cada individu es juga contínuament la vida i tant la persistència de l'espècie com la seva evolució es fonamenten en l'èxit que pugui tenir la repetició de les jugades amb els mateixos genotips o amb genotips més o menys canviats.

No cal baixar al detall de la formulació matemàtica per a entendre que el sistema ideal format per poblacions de dues espècies, una de les quals es menja l'altra, funciona com un oscil·lador i sovint hauria de produir cicles regulars en la intensitat d'augment net de les poblacions i en llurs efectius. En termes cibernètics, el parell d'espècies formen un circuit recurrent negatiu o estabilitzador. Això en teoria, perquè en la realitat, les oscil·lacions regulars són rares i fins i tot inversemblants, si no és en condicions ambientals molt particulars. La causa n'és que mai no hi ha sistemes tan sols formats per dues espècies. Però l'examen de les possibilitats del sistema binari senzill ha tingut molt entretinguts els ecòlegs teòrics. N'hi ha prou de fullejar "American Naturalist", per exemple, per a adonar-se'n.

Un pas immediat vers la comprensió de l'ecosistema sembla que hauria de ser estudiar sistemes ternaris, formats per tres espècies. Ultra ser, segons sembla, un pas endavant per passar a sistemes complexos, hi ha una altra raó que en desvetlla l'interès. Les usuals expressions matemàtiques aplicables a



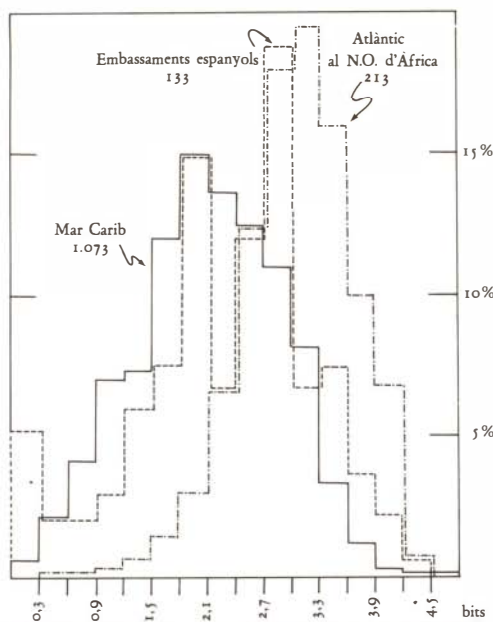
*Avetosa de Panivets (Montseny),
una mostra d'ecosistema
terrestre (Foto: J. Nuet i Badia).*

sistemes binaris reflecteixen el traspàs de matèria i energia d'una espècie a l'altra, és a dir, descriuen una relació que es pot qualificar d'explotació. Però un altre caràcter quantitatiu molt important en tota organització, que és l'augment d'informació en cada element o peça del sistema, no té pas una relació senzilla amb aquella transferència. No és cert que, en tota relació d'explotació, la informació, o previsibilitat de futur, augmenti automàticament en l'explotador molt més que en l'explotat, o, almenys no ho fa de manera proporcional a la quantitat de matèria i energia transferides. Si entre diversos elements (espècies) tenim, doncs, dues modalitats no coincidents de relacions (una que es refereix a matèria i energia i, un altra, generalment oblidada fins ara, consistent en un augment diferencial d'informació), sembla que el nombre més reduït d'elements que cal estudiar per a entendre els resultats de la combinació dels dos tipus de relacions serà de tres. I hom comprèn que la informació pot ser decisiva en aquests sistemes ternaris. En jocs entre tres persones, si dues d'elles es posen d'acord, guanyen i es parteixen el guany; sempre hi ha una pèrdua per a la tercera. Però unes aliances semblants són inestables i les conclusions canvien de lloc, sovint mogudes per lleus indicis que sempre representen una informació. El sistema és difícil de modelar. Els físics consideren el sistema que anomenen de tres cossos com força vegades intractable i, psicològicament, les relacions entre tres persones són les que donen més joc. Una fracció considerable de la producció literària s'hi basa.

Volterra i d'altres autors pioners de l'aproximació matemàtica a l'ecologia en foren conscients i escamotejaren simplement el problema. Dues espècies depredadores que exploten una presa de comú formen un sistema ternari dels que estem parlant. Se suposa simplement que el recurs d'ús comú no és limitant i el problema es converteix en l'estudi d'una relació binària entre els dos competidors. Ja que es tracta de dos circuits cibernètics negatius en paral·lel, apareix un efecte desestabilitzador o positiu entre els competidors i la teoria ecològica corrent diu que un d'ells haurà d'eliminar forçosament l'altre, i que és del tot impossible la coexistència de dues espècies amb necessitats comunes. Malgrat tot, la natura és plena d'exemples de coexistència de formes pròximes i no hi ha dubte que la transferència, l'augment i la manca de superposició de les informacions rellevants hi juguen un paper considerable. Fins ara parlava com si el camí adient en l'anàlisi de l'ecosistema fos partir de les relacions més simples, binàries o

ternàries i anar component-les progressivament. Ens podem preguntar si no podem seguir el camí invers, venint de l'ecosistema enter. Potser cal que ens fem a la idea que des de fora s'imposen a un ecosistema determinades condicions, que en fixen l'aflux d'energia, la reserva de matèries i el caire de les fluctuacions ambientals, i el sistema s'organitza com pot, a base dels gèrmens o espècies a l'abast. Les regularitats implícites en l'expressió "com pot" serien les que caldria estudiar. Probablement el més prudent és seguir els dos camins, tot cercant un punt de convergència. El punt de sortida sinòptic o sintètic en la consideració de l'ecosistema porta a una mena de mecànica estadística ecològica, és a dir, contempla la possibilitat que un ecosistema format per moltes espècies sigui caracteritzable per algunes mesures generals, com la diversitat d'espècies, o el quocient de la producció primària partida per la biomassa o matèria viva total. Es pot pensar, a més, que certs canvis siguin més probables que d'altres. Per exemple, en el nostre cas —i sense que això vulgui dir que és una regularitat general, sinó una via freqüent que sembla d'acord amb les prediccions de la termodinàmica de sistemes oberts fora d'equilibri—, seria d'esperar que la tendència al canvi en els ecosistemes portés vers una més gran diversitat i un quocient més baix entre el flux d'energia i la massa material.

Hom creuria que aquestes discussions són purament acadèmiques, en el sentit pejoratiu del mot, és a dir, construccions subjectives sense gaire lligam amb el funcionament de la naturalesa i amb el que podem fer-hi. Però és cert que la manera de veure la naturalesa influeix sobre la manera d'actuar i la capacitat de predicció. El model reduccionista que analitza l'ecosistema a base de petits sistemes binaris, porta a veure l'ecosistema compost de peces fixes, que es lliguen les unes a les altres, gairebé com en un joc de construccions. La present exhibició ecològica al British Museum, molt basada en la consideració de lligams tròfics entre espècies, porta a veure l'ecosistema com una màquina complicadíssima i embullada. Acceptar aquesta interpretació porta a creure en l'encert de la lluita puntual contra espècies amb enemics també específics, o pretendre usar elements molt definits com a clau de l'èxit de la cria d'animals, o proposar models molt restrictius d'explotació pesquera. Però aquesta línia de pensament, que sovint ens permet lligar caps entre l'ecologia i les dades experimentals de la fisiologia, resulta desencorajadorament pobre en la predicció.



Freqüències dels diferents valors de diversitat en tres col·leccions de mostres de fitoplàncton, dues d'aigua marina i una d'aigua dolça. Es dona el nombre de mostres de cada sèrie. La sèrie del N.O. d'Àfrica segons dades de M. Estrada, la dels embassaments espanyols, segons dades de B. Planas, la del Carib, segons dades pròpies.

(Font: Op. cit. Margalef 1.980, fig. 7, pag. 63)

Per altra part, l'ecosistema funciona i es manté amb la mateixa simplicitat amb què la flor s'obre i un infant se la mira. Potser sí que l'ecosistema s'organitza com pot amb una certa flexibilitat a l'hora d'establir relacions internes, una mica com si sacsegéssim una bossa o una capsa dintre de la qual hi ha una munió de peces que poden enganxar-se les unes amb les altres de manera no rigorosament precisada d'antuvi. És clar que aquest model, per la seva vaguetat mateixa, sols permet una predicció poc precisa i que, per tant, no es pot demostrar falsa tan sovint. Però pot tenir aspectes positius. Si disposem d'un cert medi, que volem fer servir per a cultiu d'algun animal aquàtic, per exemple, val més que deixem que s'hi faci un sistema propi, amb les espècies naturalment a l'abast, que no pas pretendre portar un control específic de la base de cultiu, usant per exemple cert menut flagel·lat perquè en cert laboratori l'han emprat, amb el que això representa com a esforç i diners. Vull dir que el sistema es pot guiar suficientment amb l'aport de nodriment d'energia externa i la intensitat i forma d'explotació, sense considerar cada un dels seus elements com una peça fixa i especificada. Unes consideracions semblants es poden fer a propòsit de pesca, de conreus, de tractament de plagues. És una filosofia de la naturalesa que dona més importància a la capacitat d'autoorganització dels sistemes.

3. La diversitat en la natura

En la descripció física del conjunt de cada ecosistema, els conceptes més fonamentals són potser els de biomassa i de producció. La biomassa és la matèria orgànica viva present en un cert instant en un espai determinat. L'altre concepte important es refereix a l'energia invertida en la síntesi de nova biomassa que substitueix la que es va descomponent i esdevé el que s'acostuma a anomenar la producció. Així la biomassa, o cada compartiment o fracció caracteritzable d'aquesta, té una taxa definida de renovació, basada en la disposició i en els traspassos d'energia. La taxa de renovació és més elevada en les fulles que en el tronc d'un arbre, més gran en els herbívors que en els carnívors, i en general, major en la sang que en el cervell.

Com dèiem, en la consideració del món, a més de la matèria i l'energia és important la forma o informació, que és la manera com aquelles es disposen, la qual és una conseqüència d'un desenvolupament històric i ha estat pagada per l'augment de l'entropia. La informació del món no es pot mesurar, és

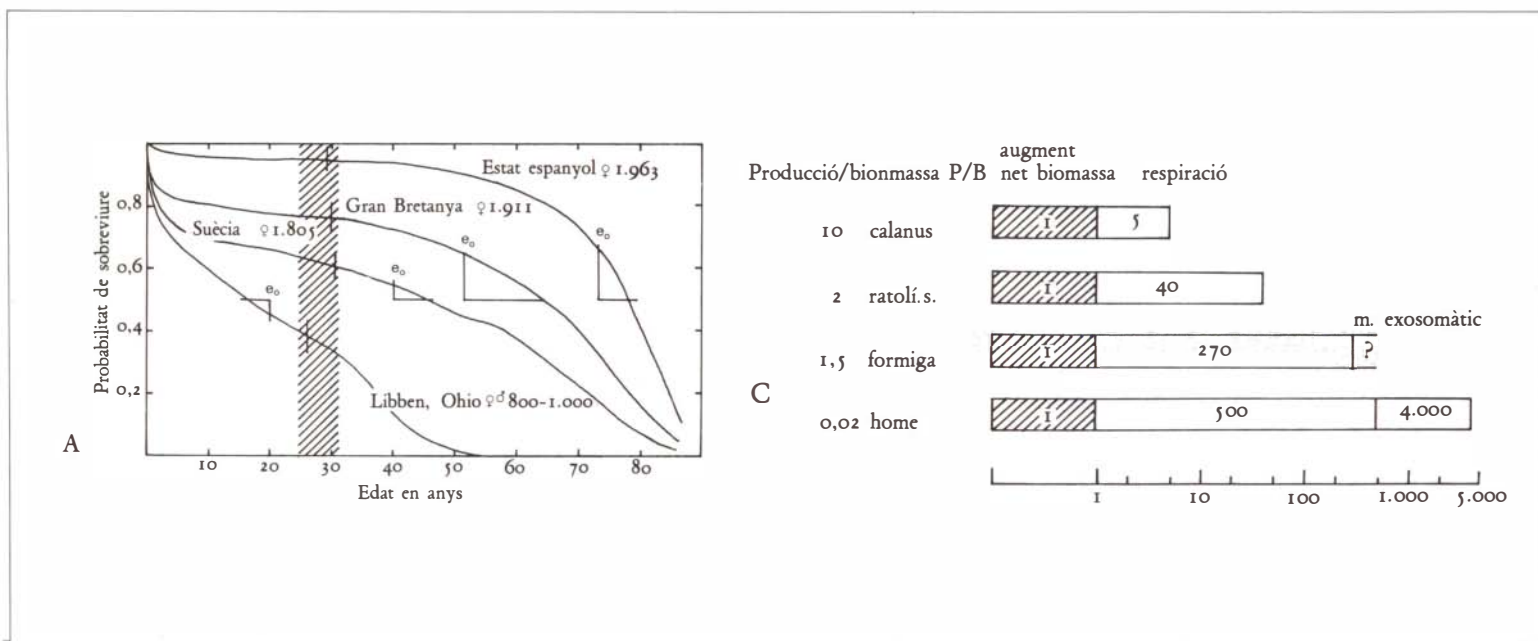
molta i aclaparadora, però en podem reconèixer diferents nivells. Hi ha informació a les memòries individuals; hi ha informació a nivell genètic. Una part de la informació al nivell que podríem dir ecològic es reflecteix en la varietat d'espècies presents i en llurs proporcions respectives. És el que se'n diu la diversitat, que serà mínima, per exemple, en una gespa o en un conreu amb una sola espècie dominant, i màxima en ecosistemes de gran riquesa com són els boscos tropicals o els esculls coral·lins.

Sempre m'he sentit molt atret per l'estudi de la diversitat, talment que a les publicacions de la Societat Catalana de Biologia, surt en el text d'una conferència meua que en comenta diversos aspectes (*La teoria de la informació en ecologia a vint anys de distància*). Com que aquesta revisió recent estarà a l'abast del lector, prefereixo ací tractar del tema vist sota d'un altre angle, que per altra part espero que serà suficient per a qui no llegeixi res més a propòsit de la diversitat i de la seva aplicació a problemes ecològics.

Meccano, aparells electrònics, models per a mesurar la diversitat en la natura

Aquest estiu caigué sobre els meus ulls un llibre il·lustratiu de models del joc de construccions Meccano, generalment molt més complicats que els que havia bastit en la meua infantesa o en la infantesa dels meus fills. A cada model hi havia una llista de les peces necessàries per a construir-lo. Tot d'una vaig veure que aquestes llistes recordaven sorprenentment les llistes o taules de composició dels ecosistemes, on es posa tants individus per metre quadrat d'una espècie, tants de l'altra, etc. La semblança s'estén fins als valors numèrics de les relacions. Òbviament no hi ha cap ecosistema on totes les espècies siguin igualment representades. No podria funcionar, com tampoc no podria funcionar una màquina feta amb peces equipfregüents.

Un joc de construccions permet desfer els models, desar les peces i després fer-les servir per bastir-ne d'altres. Les espècies vénen a ser igualment peces soltes sense una funció gaire rígida i que poden entrar en diverses combinacions materialitzades en els ecosistemes reals. Es pot calcular una mesura de la diversitat referida a la participació de les diferents espècies en un ecosistema, o de les diferents menes de peces en un model del Meccano. L'expressió més adient és igual a $-\sum p_i \log_2 p_i$, en la qual els termes p_i representen la fracció en què està representada l'espècie i dintre del total



(naturalment $\sum p_i = 1$). Aquest índex en la naturalesa poques vegades passa de 5 i els valors més alts queden entorn del 5,2. Depèn de la història, de les fluctuacions i del dinamisme amb el qual el sistema viu respon. És alt en vells ecosistemes establerts sota condicions poc canviants i és baix (2 o 3) en ecosistemes de curta durada, sotmesos sempre a trasbals. És notable que en models de Meccano es tenen valors semblants en l'estudi de la diversitat de peces, amb altres coincidències summament interessants: per exemple, models rudimentaris o no funcionals tenen una diversitat molt més baixa que models que són veritables màquines, com grues o telers, de les quals la diversitat és de 4,2 a 4,5. La conclusió és que tot sistema que funcioni, amb certes relacions internes, format per diferents elements, fixa d'alguna manera les proporcions numèriques que aquests elements han de tenir.

Satisfet d'aquesta analogia, se'm va ocórrer examinar la diversitat de components electrònics en diversos aparells de mesura i control. Les distribucions resulten semblants, però el valor numèric de les diversitats respectives, calculat de la manera que s'ha dit, era sistemàticament més alt, excessiu respecte al que hom esperava. Per exemple, eren freqüents valors entre 5,8 i 6,0. Per què? Es veu de seguida que hi ha un excés de peces solitàries, és a dir, representades per una sola unitat en cada muntatge. Al més sovint són resistències o d'altres elements de poc preu que es poden fer fàcilment d'un valor volgut, en lloc d'aconseguir aquest valor combinant peces normalitzades de valors rodons. Aquestes peces es justifiquen en aparells que, un cop muntats, s'usen i no es modifiquen. Però la naturalesa de les espècies biològiques fa que no puguin existir en igual mesura espècies extremament rares, ja que és més probable que s'extingeixin, o per la improbabilitat de trobar-ne els sexes si la reproducció ho demana. Per això la diversitat dels sistemes biològics s'apropa més a la diversitat d'una joguina de peces mòbils que a la diversitat dels components d'aparells electrònics que es muntan de manera definitiva. Afegiré que els sistemes electrònics permeten introduir molt millor el problema de la connectivitat, és a dir, el quocient entre les relacions realitzades i les relacions possibles. Ni un ecosistema ni un aparell electrònic poden funcionar amb una connectivitat total ni amb una connectivitat massa baixa, sinó amb valors intermedis. Cada espècie es relaciona solament amb un petit nombre d'altres espècies (no directament amb totes), i això és bàsic per a mantenir l'organització.

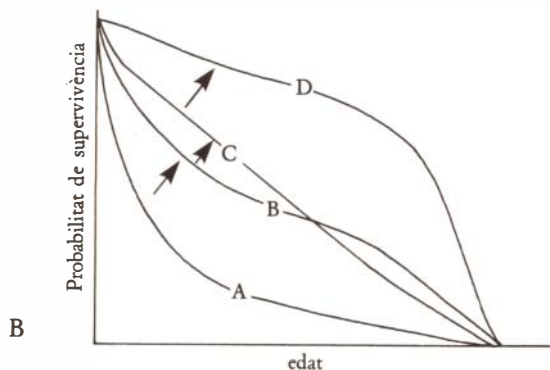
Els ecosistemes de llarga història sota condicions poc canviants i favorables a la vida en general, han pogut anar acumulant moltes espècies rares. Sense que el valor numèric de la diversitat total, o funcional, en sigui molt augmentat. El nombre d'espècies en molts ecosistemes tropicals és extremament elevat. És clar que moltes d'elles són molt escasses i esparses, i donen molt de misteri als respectius ecosistemes. Són culs-de-sac, és a dir, allò que resta dels focs d'artifici de l'evolució. Pensem que, amb moltes menys espècies, es podrien compondre ecosistemes semblants, en termes de biomassa o de flux d'energia.

L'home tendeix a eliminar organismes al seu entorn i, en el millor dels casos, a substituir els individus d'espècies rares per altres individus d'espècies més comunes (conreades o ruderals, per exemple) i, l'efecte final, dintre del marc de les consideracions precedents i de les formes de calcular diversitats que han estat proposades, és sempre una disminució de la diversitat. Aquesta només és augmentada artificialment i fins a un cert punt en jardins botànics i zoològics, i al preu d'una considerable despesa d'energia suplementària.

L'analogia de la diversitat natural amb la de mecanismes fets de parts distintes no és, però, la més interessant. Haig de dir que l'interès per la teoria de la informació o de la comunicació i la seva aplicació a la mesura de la diversitat ecològica em vingué a través de la consideració del llenguatge i de l'estil. Es pot calcular la diversitat d'un text (o d'una obra musical) en la distribució de les diferents paraules, fonemes, lletres o qualsevol element adient de composició. La diversitat caracteritza un estil, que va, podríem dir, de l'estil fred d'alta diversitat del qui usa un diccionari de sinònims, fins a l'estil calent, de baixa diversitat, que s'associa amb un ús molt repetit d'expletius. Evidentment unes tals consideracions ens portaren a tractar de copsar l'estil del "llibre de la natura", tal com es representa en les comunitats naturals o ecosistemes, estudiant les freqüències i la recurrència dels individus de les diferents espècies, que en són els components. Però és clar que aquesta aproximació no esgota totes les possibilitats. De tota manera, el manteniment d'un cert valor de diversitat és el resultat momentani d'un gran nombre de forces i processos, de tal manera que l'estudi comparat de la diversitat porta a conclusions d'interès.

4. Estabilitat i canvi a la biosfera

L'equilibri de la naturalesa, l'estabilitat dels ecosistemes, són



A. Corbes de supervivència de les poblacions humanes que s'indiquen. En cada cas, la durada mitjana de la generació queda en la zona ratllada (entre 25 i 31 anys). Es dona també la durada mitjana de la vida (e). Dades de N. Keyfitz i W. Flieger, World Population. An analysis of vital data. Univ. Chicago Press, 1968, i de C.O. Love-Joy i col·laboradors "Science", 1977, 198: 291 per a un cementiri indi d'Ohio (A. D. 800 a 1.100).

B. Corbes hipotètiques de supervivència per a diferents espècies unides per relacions topogràfiques i les fletxes indiquen la direcció en què es transfereix l'energia.

C. L'evolució de la supervivència sol anar cap a un retard de la taxa de renovació de les poblacions, però això té un cost i, en les poblacions animals i humanes la corba de supervivència de les quals té una forma més rectangular, una major proporció de l'energia s'usa en la respiració, en el moviment, la termoregulació i la protecció de la prole. La partició del metabolisme total en energia usada en la respiració i energia invertida en creixement i reproducció es relaciona naturalment amb la taxa de renovació de les poblacions. Aquesta regularitat, no solament és vàlida per a espècies i grups d'espècies, sinó també en la comparació entre poblacions d'una mateixa espècie. L'evolució de la corba de supervivència en l'home continua aquesta tendència i ha pogut avançar gràcies al metabolisme exosomàtic. És a dir, l'energia externa, des de la revolució industrial, ha pagat el preu d'una part de la nostra cultura i el canvi de forma de la corba de supervivència, tal com la veiem en A.

ja tòpics. Certament aquell equilibri és molt precari i gairebé inexistent a escala puntual. Però tenim la sensació que la sorpresa o imprevisibilitat a petita escala se situa dintre de quelcom que ens sembla com una simfonia harmoniosa. L'home pertorba contínuament la resta de la biosfera, de vegades localment, d'altres sobre àrees més extenses. Podríem creure que és imminent una catàstrofe. Però també hi ha motius per creure que el sentit de catàstrofe ve de la distància entre el que veiem com a límits culturals (la màxima densitat de població que podem tolerar, per exemple) i els límits biològics (la màxima densitat possible amb un nivell de vida que considerariem molt "baix") i que, si tot va tan malament, es podrà parlar de catàstrofe a escala local, però més aviat d'un atur o retard pausat a escala global.

En parlar de fins a quin punt l'home pot explotar o malmetre la resta de la natura sovint es fa servir el concepte d'estabilitat, com si cada sistema pogués resistir fins a un cert punt, i a partir d'aquell, s'ensorrís com un pont o una casa. Aquest criteri és absurd, perquè no hi ha explotació ni intervenció, per minsa que sigui, que no vagi seguida d'algun canvi. L'important és la relació entre impacte i conseqüència, al llarg d'un continu, i, si cal, veure fins a quin punt el canvi és o ens sembla tolerable. És impossible una conservació total, si no és deixant d'intervenir damunt la naturalesa. No és estrany que molts ecòlegs defugin de fixar límits a perturbacions "permissibles" (com la càrrega de matèria orgànica que seria tolerable abocar en un riu, etc.) perquè els efectes de qualsevulla perturbació són funció d'altres variables molt complexes, que no es poden tenir en compte en una llei o reglament. Per altra part, tant la naturalesa mateixa dels ecosistemes, com la mena d'atacs per part de l'home, fan que sigui pràcticament impossible suggerir límits amb un coeficient de seguretat semblant als dels que s'usen per fer un pont o un vaixell. És cert que hom treballa sempre més a prop d'allà on el canvi és potser perillós o imprevisible, de manera que el maneig de la naturalesa, en aquest aspecte, recorda més la construcció i operació d'un avió o d'una central nuclear que altres peces més convencionals de l'enginyeria. Malauradament, tots els problemes relatius a la intervenció de l'home en el món es tracten d'una manera massa barroera.

Diferents concepcions de l'estabilitat

La preocupació per veure poc pertorbada l'estabilitat o l'equilibri de la naturalesa adquireix diferents formes segons sigui la

concepció d'ecosistema que ens sigui preferida. El qui veu l'ecosistema com una xarxa fixa de relacions, potser es preocuparà massa per la introducció d'espècies alienes, per la lluita biològica, i probablement creurà que un sistema complex és delicat perquè es pot descompondre de moltes maneres diverses. Es diu que tot el que pot fallar acaba fallant —i potser comença fallant. D'altra part, la visió de l'ecosistema com quelcom que s'organitza a la bona de Déu, porta a veure amb major indiferència el destí d'espècies isolades i a creure que el conjunt es pot fer derivar en cert sentit a través d'un control extern, que el sistema respon a canvis de les condicions externes, per exemple de la disponibilitat o aportació d'energia. Aquesta concepció pensa també que moltes coses poden fallar, en el sentit que canviaran, però accepta que la complexitat no és dolenta i que pot ser efectiva en esmorteir els canvis o en proporcionar una més gran capacitat de maniobra o de canvi oportú. Probablement, el naturalista que treballa al camp es trobarà en un punt intermedi i moderat de les dues formes extremes de pensar. Però la idea d'estabilitat resulta sempre preocupant.

El físic diu que un sistema és estable si retorna a la situació o estat anterior després que n'ha estat desviat per alguna causa de curta durada. Es pot reconèixer en un ecosistema aquesta qualitat d'estabilitat? Si ho pregunteu als ecòlegs veureu que no hi estan d'acord. Si demaneu a algú un exemple d'un ecosistema estable, us parlarà potser del bosc tropical, on, malgrat les diferències paleses entre un punt i un altre i les fluctuacions associades amb la substitució dels arbres individuals, es veu una estructura molt rica que es manté semblant a ella mateixa, per la pròpia activitat de l'ecosistema, i això malgrat petites perturbacions locals, que són peces i part de l'ecosistema. Però un altre naturalista us farà remarcar la fragilitat extrema del bosc tropical enfront de l'acció de l'home i és possible que aquest interlocutor continuï el seu argument donant com exemples del que ell entén per ecosistemes estables un camp on any darrera any es fa el mateix conreu, o els pobladors d'una fossa sèptica. Però el primer, amb el qual l'autor d'aquestes ratlles s'identifica amb més gust, farà remarcar que si isolem de l'acció humana el camp i el pou mort, aquests es modificaran espontàniament, en el sentit que el camp s'omplirà de brolla i potser acabarà en bosc, i l'aigua bruta, un cop digerida la reserva de matèria orgànica, acabarà contenint comunitats d'organismes aquàtics molt diferents dels inicials. En un cas es veu l'home com a causa d'estabili-

tat, en l'altre com a causa d'instabilitat. Per això aclarir aquests conceptes ajuda també a precisar conflictes i responsabilitats.

Tot el que existeix és estable...

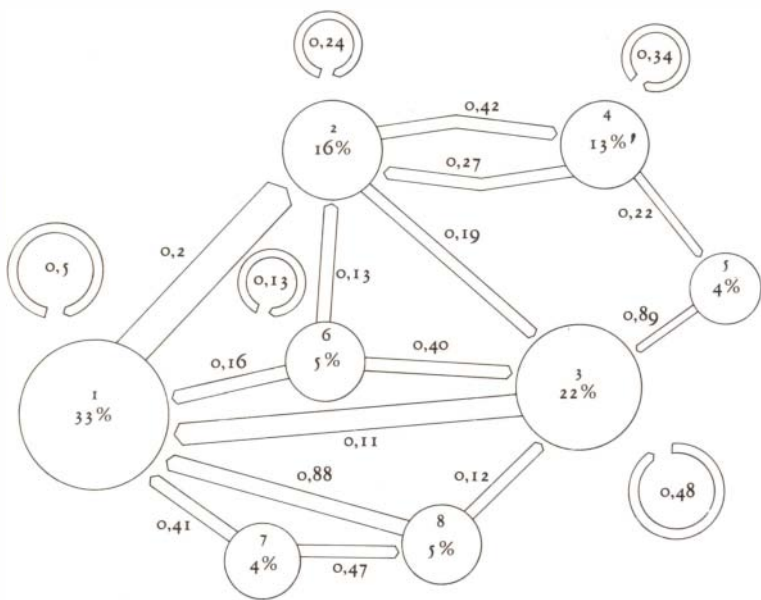
Cal resoldre les paradoxes tot augmentant el nivell de contemplació. Podríem dir que tot el que existeix és estable, perquè el que no era estable ja ha estat emportat. (En un altre pla, i en relació amb l'evolució, podríem dir igualment que totes les espècies que sobreviuen estan igualment adaptades, perquè les que han quedat enrera en la cursa ja han estat eliminades). De fet, l'anàlisi a què porta l'acceptació, almenys provisional, de la validesa d'aquest estirabot, és que quan es parla d'estabilitat, en realitat es parla de com és aconseguida la situació persistent que és un fet. Hi ha ecosistemes que es poden considerar dividits en parcel·les, cada una de les quals té els mecanismes necessaris per a persistir, i és aquest el cas del bosc tropical i de molts altres tipus d'ecosistemes. Evidentment, aquests sistemes organitzats entorn d'una dimensió vertical definida per la llum i la gravetat, després d'una història molt llarga són particularment sensibles a qualsevol explotació o transport material en el sentit horitzontal. Per entendre'ns, al llarg de la seva evolució, el bosc tropical ha desenvolupat un ciclatge local quasi tancat i perfecte, però no ha tingut ocasió d'aprendre, per selecció, un comportament especial en presència del nou vingut que és l'home modern. Altres ecosistemes tenen parts diferents, cada una de les quals s'altera ràpidament si se separa de les altres, però el conjunt pot tenir un cicle equilibrat o relativament tancat, que comporta un considerable transport horitzontal dels materials. Remarqueu que un conreu i l'home formen, junts, un sistema d'aquest tipus, sistema que es descompon, o es manifesta inestable en desconnectar els seus components funcionals. En la naturalesa hi ha molts sistemes complementaris semblants; per exemple els organismes del plàncton, que formen la vida suspesa a les aigües, tenen en conjunt un excés de producció —igual que una zona rural— i s'acoblen harmònicament amb el bentos, que és la vida del fons de les aigües, on predominen animals o organismes que respiren amb escreix, com les ciutats.

Podem trobar analogies en les societats humanes que ens permetran fixar el concepte d'estabilitat. Certs països, els menys desenvolupats, es podrien dividir en segments de persistència indefinida, autosuficients; en altres països, una sepa-

ració o isolament entre zones agrícoles i zones industrialitzades desequilibraria el conjunt. Són, respectivament, els que s'havien dit models xinès i soviètic, o els qualificats amb les expressions "el petit és bonic" i el "però el gran és el poderós".

5. La il·lusió del progrés

Un dels experiments més fascinadors i instructius és seguir l'organització d'un ecosistema. N'hi ha prou d'exposar un recipient ple d'aigua a la pols i a la llum, o deixar unes pedres dintre d'un riu o de la mar, o bé netejar un tros de terra i abandonar-la al procés natural de colonització. A poc a poc, en cada cas, es va organitzant un ecosistema i l'experiment ens mostra que les espècies que creixen han d'ajustar-se a certes exigències del medi, que unes es van emmotllant a les altres, i que potser es troben regularitats que semblen regir a nivell general, un xic independentment de la identitat de l'espècie que apareix o de l'espècie que se'n va. Entre aquestes lleis generals, potser la més evident és que primer han de créixer els vegetals, després els animals, i que perquè hi hagi el desenvolupament inicial dels vegetals hi ha d'haver un excés de producció, que es capitalitza i fa que la biomassa del sistema augmenti. La producció primària és funció de la superfície i hi ha un límit superior, condicionat per la natura i les limitacions del mecanisme fotosintètic. Aquest límit s'apropa a 1g de carbó orgànic assimilat per metre quadrat i hora; però la biomassa podria augmentar gairebé indefinidament i en tenim una prova en boscos vells i frondosos. La biomassa total, formada per les mateixes plantes, per bacteris i animals, pot anar augmentant fins que la respiració del conjunt d'organismes equilibra exactament la producció primària. A partir d'aquest moment encara seria possible introduir canvis importants a base, per exemple, de substituir biomassa que respira molt per biomassa que respira menys. Però, en el seu detall, tot procés de successió és sempre una història irreproduïble i única. Podríem pensar que la successió, en ecologia, pot ocupar un lloc tan central com l'evolució en biologia, per una sèrie de característiques fenomenològiques semblants. La tendència general a un augment màxim de la biomassa en relació amb el flux d'energia o producció primària, que és definit per l'entorn i és fonamentalment una funció de la superfície, cauria dintre de la moderna termodinàmica o compliria les prediccions. Si es confirmés, podria ser un principi molt important dintre d'una teoria de la biosfera.



Es podrien trobar altres regularitats en els canvis que experimenta la diversitat i els espectres de diversitat, tots ells descriptius de l'operació progressiva de certes regles d'organització sobre sistemes que van acumulant informació.

La naturalesa sempre defuig els nostres esquemes mentals simplificats. La naturalesa es manifesta com un mosaic de comunitats molt diverses, i els canvis són aparentment imprevisibles. La teoria de la successió que he traçat de manera rudimentària i que és, més o menys, com es troba en molts llibres, sembla força criticable des d'un punt de vista empíric. Cal reconèixer que moltes successions són ideals i compostes damunt del paper, enfilant comunitats observades segons una visió apriorística de com hauria de ser la successió. Aquest procediment no és original, és el mateix dels constructors d'arbres filogenètics, quan es refien més de qualsevol teoria pròpia sobre les tendències a esperar en l'evolució, que de la consideració crítica de seqüències reals de fòssils en estrats superposats.

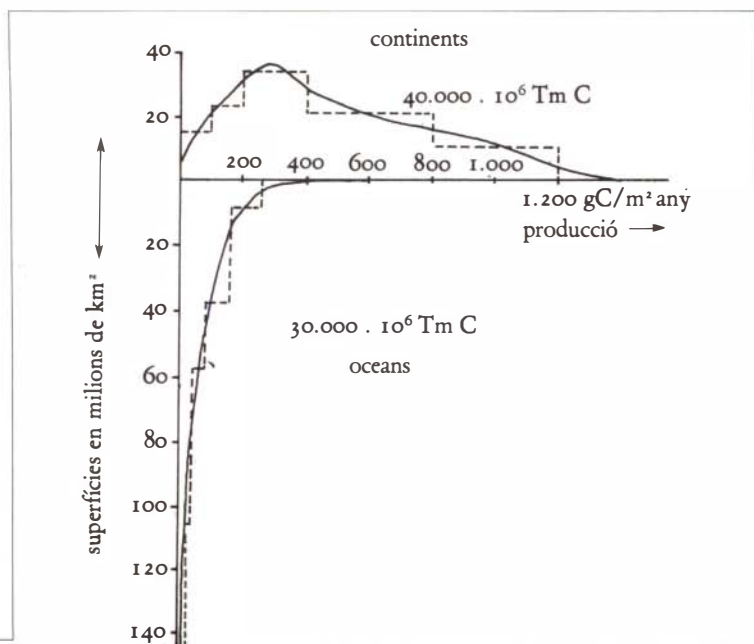
Sovint es té informació sobre canvis observats, però referits a períodes curts. Tals dades es poden usar per construir una taula que doni la probabilitat que una comunitat determinada, en una unitat de temps, persisteixi en la mateixa forma, o es transformi en una altra. L'exemple següent descriu les probabilitats de pas entre vuit tipus d'ecosistemes pelàgics, reconeguts durant un estudi fet al golf de Biscaia, entre 1976/77, per Jordi Flos. En les successions de plàncton, dies i setmanes

són equivalents a decennis i segles de la vida d'un bosc. La situació, que està en equilibri amb les probabilitats de pas vigents, s'aproxima a l'extensió relativa observada als diferents tipus d'ecosistema. El mateix model d'estudi es pot aplicar a l'anàlisi de fotografies aèries preses en temps successius, en les quals es descobreix el canvi que experimenta cada una de les petites unitats de sòl que es prenen com a base de l'estudi, canvis que poden expressar-se probabilísticament. (La predicció serà sovint desencoratjadora, en el sentit que l'estat final probable és sempre un augment de la superfície coberta per ciment.)

En aquesta representació es distingeixen vuit tipus d'ecosistema, i, per a cada un, es dona el percentatge que ocupen en l'extensió total estudiada, en l'espai i en el temps. Les sagetes indiquen transformació o persistència (tancades sobre el mateix cercle) i les probabilitats de pas a un altre o al mateix ecosistema. Per simplificar el diagrama s'hi han omès les fletxes si la probabilitat és inferior a 0,1.

Un diagrama com aquest —i se'n poden fer de relatius a tota mena d'ecosistemes— mostra que no hi ha vies úniques, sinó que certs canvis poden anar en un sentit i alhora en l'oposat. Una constatació com aquesta fa trontollar la fe en una successió única i un clímax ideal. Els qui s'ocupen de comunitats aquàtiques que canvien amb rapidesa accepten amb facilitat que les fluctuacions regulars o no regulars, fora d'una línia rígida, són una característica essencial de les comunitats. Però sovint hom es veu incòmode davant de canvis que van en contra de la teoria preferida. Qualsevulla que sigui aquesta teoria, fins i tot la de la manca total de regularitat. En aquest punt topem amb prejudicis teòrics més profunds, que poden ser profitosos de considerar.

L'analogia entre successió i evolució es reforça també en comparar la successió amb el desenvolupament d'un organisme i, tot plegat, s'associa de manera més o menys conscient amb la idea de progrés. L'èxit de Darwin fou d'interessar-se pel mecanisme de l'evolució, deixant de banda una idea molt més antiga que veu en l'evolució la realització d'un ideal de progrés, i que està implícita en diversos sistemes filosòfics. En un altre aspecte, és fàcil comprendre com poden haver-hi lligams entre successió i evolució, que justifiquen posar una sageta de direcció preferent a tot l'esquema. L'evolució de qualsevol nissaga pot ser afavorida en el sentit d'adaptació a condicions més "progressives", implicant un control més gran o una independència major de l'ambient, i un quocient producció/



Superfície i producció primària totals dels continents (a dalt) i dels oceans (a baix), amb la distribució aproximada de les superfícies totals en classes, segons la seva productivitat per unitat de superfície. (Font: Op. cit. Margalef 1980, fig 21, pàg. 183)

biomassa més baix si s'emmotlla a la successió habitual, perquè aquesta ofereix, amb reiteració, canvis d'ambient en el sentit adequat. Els canvis en sentit oposat, tal com comentem, són menys freqüents i menys regulars (qualitats que fan que caracteritzem els canvis com catastròfics), i no podem emmotllar tan regularment la successió i l'evolució. L'adherència entre successió i evolució que en resulta aclareix algunes regularitats observades en l'evolució, però tampoc (ni aquella adherència ni aquestes regles) no té un valor absolut, sinó simplement es tracta d'un condicionament que depèn de probabilitats diferents.

Regularitats i accidents en un ecosistema

El més inquietant en aquest complex de problemes és que sembla que el comportament de l'ecosistema, com a sistema termodinàmic, no és sempre el mateix. He parlat ja d'una regularitat molt general que consisteix en la disminució de l'energia bescanviada per unitat de biomassa mantinguda. Això és vàlid en les successions que podríem qualificar de convergents o tancades (que són les que els ecòlegs estudien amb delectació), però no ho és pas mentre hi ha canvis catastròfics, quan es pot dir que l'ecosistema sembla obert a tots els vents. Això és bo d'estudiar en qualsevol successió, per exemple en els fems de bestiar boví a la muntanya. Al principi, l'ocupació és caòtica i l'eficiència en l'ús de l'energia no és alta, ja que tant bacteris com fongs usen molta energia per mantenir una biomassa petita, i aquesta energia es degrada ràpidament. El marc de la termodinàmica tradicional permetria anticipar aquests esdeveniments, caracteritzats per reaccions ràpides amb un sobtat augment de la funció d'entropia. A mesura que passa el temps, acudeixen més organismes (mosques, escarabats), es deixa sentir la limitació de recursos i persisteix millor qualsevol sistema o part del sistema que manté un quocient producció/biomassa més baix. En aquest moment som ja dintre del segment de tota successió que interessa més els naturalistes, perquè té quelcom de previsible, i es realitza la predicció a la qual porta l'estudi de la termodinàmica de sistemes oberts que es troben lluny de l'equilibri. El mateix succeeix al mar o en un llac. Hi ha una fase de retorn, amb barreja, agitació i enriquiment de l'aigua, i una fase de successió genuïna quan l'aigua s'estratifica i el nodriment es va exhaurint. Al cap i a la fi, les dues fases es troben arreu i són la mateixa substància de la vida. No podem

preveure l'accident que ens colpeix sobtadament, però fins a cert punt podem avançar, des d'ara, el que faríem després d'un suposat accident. Per això l'ecòleg ha de reconèixer que els canvis en la naturalesa van en diverses direccions i alternen canvis ràpids imprevisibles determinats de l'exterior, generalment, amb fortes entrades d'energia, i canvis regulars, amb una pausada acumulació d'història on la predicció podria ser fàcil o, almenys, on es reconeixerien les regularitats que tant plauen a l'ecòleg. La conseqüència és que les prediccions de l'ecòleg són factibles només quan són menys necessàries, la qual cosa és un motiu innegable de modèstia, humilitat i fins i tot de frustració per a la nostra ciència.

Potser hauríem de desar definitivament la fletxa escrita "progrés". Però els canvis en direccions oposades no són en va, ja que, sovint, porten a poder resistir millor en el futur impactes importants i relativament imprevisibles. Un bosc més fet pot resistir millor impactes negatius que un bosc jove. És com si la successió i l'evolució fessin marxar una mena de cinta transportadora que vibra dintre de la biosfera i certes "millores" salten per damunt de les fluctuacions. Potser sí que els mamífers són, en cert aspecte, "superiors" als rèptils, i les fanerògames a les antigues criptògames. En tot cas una teoria crítica de la biosfera porta a treure importància a qualsevol ordenació lineal massa impregnada de la idea de progrés.

6. L'home com a part de la biosfera

L'ús que l'home fa de l'energia encaixa dintre del mateix model. El descobriment i assequibilitat de cada nova font d'energia provoquen la disbauxa inicial. Ara hi som, però ja intuïm que en el futur tindrà algun avantatge qui mantingui una biomassa o una informació a un cost energètic millor. Però encara no som en aquest punt, sinó que el veiem com una avançada cultural. De fet, les avançades culturals en l'home tenen tanta importància com l'anticipació basada en els ritmes interns als organismes. Pot ser-hi vàlid l'exemple de la diatomea *Hantzschia* que viu a les platges fangoses de les costes sotmeses a marees. Puja a la superfície després que l'aigua se n'ha anat, s'hi assimila, vivint dins l'aigua capil·lar, però torna a enfonsar-se en el substracte abans que arribi l'aigua de la plenamar propera. Si no ho fes així, si esperés la presència de l'aigua per endinsar-se en la sorra, les cèl·lules serien suspeses en l'aigua i la població es dispersaria. Avançar-se als esdeveniments amb un ritme controlat per un re-

llogte intern és una adaptació possible, que necessàriament ha estat recollida per la selecció. En l'home una projecció equivalent del futur pot ser un factor de supervivència. Abans d'arribar al límit biològic —l'aigua que s'enduu la població de diatomees; una mortaldat massiva d'animals i de l'home per esgotament d'aliment— apareix un mecanisme avançador. El límit cultural de màxima densitat tolerable de població és molt més baix que el límit biològic, perquè hi ha moltes comoditats a les quals no hem de renunciar; tanmateix, la distància no és la mateixa per a tothom. El mateix que passa amb la densitat de població succeeix amb les disponibilitats d'energia.

Algunes consideracions fetes a propòsit de la successió serveixen per a emmarcar bastant bé l'activitat de l'home sobre la resta de la biosfera. Si la successió representa ordinàriament la capitalització d'un excés de producció, tot sistema explotat, o resta automàticament privat d'avançar vers altres estats, o torna enrera; i això passa en sistemes explotats naturalment (vegetació de tarteres, boscos d'arbres de fulla caduca) o bé resulta de l'explotació humana. Diverses vegades he escrit que la clau del problema de la conservació es troba en l'oposició íntima entre successió i explotació. És clar, conservació total voldria dir no intervenir en absolut sobre la naturalesa. També hem vist que una energia desfermada pot portar el sistema a una situació inicial, i pot ser l'artigada, el foc, etc. Mentre que l'explotació "suau" comporta una senzilla reorganització de la màquina de produir que és l'ecosistema, aquells canvis més profunds poden menar a una substitució total dels mecanismes. Ja he dit que la intervenció de l'home fa disminuir fatalment la diversitat. A més a més, l'acció humana, en mesura proporcional a l'energia de què disposa, intensifica el transport horitzontal, pertorbant així el cicle típic de reciclatge en els ecosistemes que, deixats al seu albir, tendiran a organitzar-se sobre la vertical.

L'home com a agent simplificador de la biosfera

L'esmentada aportació d'energia amb la intensificació del transport horitzontal defineix estructures en l'espai que poden ser periòdiques. L'aspecte actual de la biosfera, la distribució de la vegetació terrestre i d'altres comunitats d'organismes, seria difícil de descriure de manera abreujada. És un afer molt complicat, perquè es tracta del resultat d'un procés històric llarg i enrevessat. Però molts canvis recents es poden inter-

pretar com a resultat d'un procés que és possible descriure en termes més senzills. De la mateixa manera que els models com els de Volterra preveuen que dues espècies que interactuen descriuen cicles asimètrics en el temps, llur projecció sobre l'espai (quan el depredador i la presa, o el zooplàncton i el fitoplàncton, per exemple, tenen diverses mobilitats o capacitats de difusió) dona un motiu topològicament asimètric, fet de nuclis o taques allà on és més abundant l'organisme que fa de presa, envoltat per un àrea en forma de bresca, on el que fa de depredador té més influència. Tot això interessa també en l'ecologia humana. En un segle, l'home ha augmentat el transport horitzontal, que actua com una difusió, i ha portat l'estructura natural i molt complicada de la biosfera a una estructura més simplificada, que s'assembla més que altre temps a taques grolleres, on és ben palès l'efecte d'un procés recent, procés nou, generat per l'home. Però en el fons, les estructures humanitzades sempre són fetes d'àrees rurals discontinues (on predomina la producció primària), disperses entre una estructura reticulada en què dominen ciutats i vies de comunicació. Precisament com en el plàncton. Seria important arribar a definir les dimensions més apropiades dels elements del paisatge humanitzat, en funció de l'energia de què es podrà disposar.

Aquests i altres problemes ens mostren que l'operació de l'home no és substancialment diversa de la d'altres factors de la biosfera. L'home n'és un element i no un monstre aliè. D'altres característiques de l'home o formes d'actuar entren igualment dins dels mateixos esquemes. Parlem molt de l'energia exosomàtica que usa l'home (calefacció, cuina, transport, etc.), però la retrobem també en els ecosistemes naturals, fins al punt que l'energia captada en la fotosíntesi baixaria pràcticament a zero si no fos potenciada per una energia externa que tant fa ploure com fertilitza els ecosistemes aquàtics. Remarquem, de passada, que l'aprofitament de l'energia que ens ve del sol d'una manera directa és molt petita, i es basa precisament en l'ús d'energia d'una altra qualitat —llum—, juntament amb la química, són les úniques formes energètiques que poden utilitzar entitats miniatritzades, com els organismes, per raons termodinàmiques. Resulta obvi, doncs, que l'aprofitament per l'home de l'energia solar hauria de seguir la mateixa via, és a dir, aprofitar més la radiació d'ona més curta i més la llum amb elements fotovoltaics, i no tant la calor amb els deliciosos artefactes de vidre, aigua i plàstic, artefactes que, òbviament, no tenen futur.

TÉ L'ACUPUNTURA

per Lu Gwei-Djen i Josep Needham

40 (juliol-agost 1980

ciència 1)

Els problemes de conservació (que és una malaltia en el transport) que tant preocupen són, al meu entendre i com diuen els anglo-saxons, anticlimàtics, enfront d'altres problemes més directament relacionats amb la població i amb l'energia. I encara, entre aquests, crec que els més importants no són els que passen per tals. Vull dir que crec que tant o més important que l'augment de població, que ja posa en funcionament mecanismes culturals d'atur, ho és l'augment del quocient entre la durada mitjana de la vida i la durada d'una generació (29 anys). Aquest quocient ha anat augmentant i s'apropa a tres, xifra que significa la superposició creixent de generacions amb tota mena de tensions. Pel que fa a l'energia, més que l'increment del seu ús i el desig d'augmentar-lo, és la desigualtat de l'energia a l'abast d'uns i d'altres grups humans el que condiciona el control dels uns pels altres.

És clar que la conjunció dels dos fenòmens, el fenomen demogràfic i el canvi energètic, porten a una escissió de la humanitat en grups i al seu enfrontament fatal. La diferència d'estratègies ha incidit i incideix probablement també en les propietats dels respectius sistemes genètics, però no és aquest el lloc d'escatir-ho.

Com prou bé sap el lector, els punts de vista basats en l'estudi dels sistemes naturals no troben massa ressò ni entre els defensors oficials de la naturalesa, o del medi ambient, com diuen els bàrbars, ni entre els ecologistes que no saben deslliurar-se de llurs obsessions. Però crec fermament que una visió de conjunt de la biosfera pot contribuir també al fet que l'home es conegui millor a si mateix.

(Ramon Margalef)

Materials de Lectura.

Margalef, R., *Perspectivas de la teoria ecológica*, Ed. Blume, Barcelona 1978.

Margalef, R., *La Biosfera. Entre la termodinàmica y el juego*, Ed. Omega, Barcelona 1980.

Margalef, R., *La teoria de la informació en Ecologia a vint anys de distància*, Societat Catalana de Biologia, Barcelona (en curs de publicació).

Monod, J., *El azar y la necesidad*, Barral ed., Barcelona 1971.

Prigogine, I., *Introduction to thermodynamics of irreversible processes*, C. C. Thomas Publ., Springfield 1955.

Quan hom parla d'acupuntura, les reaccions són quasi sempre apassionades. Per uns, es tracta d'una medicina tradicional que pot guarir màgicament qualsevol mal; per altres és l'expressió de pràctiques paracientífiques superades per l'avenç de la medicina moderna. Té l'acupuntura una base científica? Dos grans especialistes mundials d'aquesta matèria ens ho aclareixen.



Lu Gwei-Djen és membre de mèrit del Lucy Cavendish College de la Universitat de Cambridge.

Joseph Needham és membre de la Royal Society, editor principal i autor de *Science and civilisation in China* (7 volums publicats a la Cambridge University Press), la millor obra enciclopèdica existent sobre la matèria. Fa poc es retirà com a director del Gonville and Caius College, també a Cambridge.

El present article fou publicat a "The Sciences", revista de The New York Academy of Sciences, en el número de maig/juny del 1979. (Traducció: Roser Nogués).

Aquesta pràctica mèdica tan antiga podria basar-se en mecanismes fisiològics.



El sistema de l'acupuntura es compta entre les més antigues components de les arts mèdiques xineses i constitueix, potser, la més complexa de les seves característiques. És un sistema terapèutic —i d'alleujament del dolor— que ha estat en ús constant a tota l'àrea cultural d'influència xinesa durant uns dos mil cinc-cents anys. El treball de milers de practicants que s'hi han dedicat al llarg dels segles li ha donat un nivell molt elevat tant en la teoria com en la pràctica.

Tanmateix el seu estudi presenta grans dificultats, en part degudes al fet que els llibres sobre acupuntura, escrits durant les diferents dinasties, han estat elements d'un llarg i gradual desenvolupament, i no sempre han estat autoconsistents ni lliures d'elaboracions sinuoses que ara han caigut més o menys en desús. A més, en raó de l'antiguitat de la fisiologia i patologia d'aquest sistema, no podem esperar obtenir-ne les concepcions i definicions precises a què ens té tan acostumats la ciència moderna. Al llarg dels segles, diversos mestres n'han relatat amb gran èmfasi alguns aspectes i procediments concrets com a resultat del seu propi estudi detallat i de