

MANIPULACIÓ A L'ESCALA DE L'ECOSISTEMA. GESTIÓ DE RECURSOS NATURALS

RAMON MARGALEF

Departament d'Ecologia. Universitat de Barcelona

1. Les percepcions de la naturalesa

Caldria començar amb una introducció que fós una versió abreujada de com l'autor veu el contingut de l'ecologia actual. És a dir, una declaració prèvia de posició. Crec que pot quedar clara en poques ratlles, malgrat que aquestes prenguin un camí que podrà semblar indirecte: un programa internacional que ha tingut força èxit aquestes darreres dècades fou batejat com MAB (*man and biosphere*). Tot i reconeixent el su èxit diverses vegades he dit, i fins escrit, que a mi m'hauria agradat més, com a designació per a una empresa d'aquest caire, MIB (*man in biosphere*). Personalment, parlar de l'home i la biosfera em suggeria la imatge de dos interlocutors enfrontats entorn d'una taula, visió que em sembla poc atractiva. MIB pot ser vehicle d'una imatge més harmònica i potencialment més efectiva, tot reconeixent que l'home es troba en el sí d'un sistema més complex, on ha nascut.

Podria ser que la diferència entre MAB i MIB, que em semblava, si no trivial, no mereixedora de gastar massa paper, fós, en realitat, important. En un assaig del filòsof Jaume Llopis (1987) trobo la diferència entre EN i I que és la meua distinció entre MAB i MIB) dignificada fins al punt de servir per fer la distinció entre dos grups de filòsofs. Llopis ha tingut la paciència extraordinària de llegir-se la meua Biosfera (1980), troba en la seva capacitat un contingut filosòfic i em classifica, junt amb Heràclit, dit per alguns «l'obscur», i Parmènides, i d'altres, entre els presocràtics. Ara reconec que, realment, MAB i MIB fan, o poden fer, una gran diferència. El punt de vista del MAB (I) implica que la interacció amb la naturalesa pot convertir-se en una escalada d'impactes i respostes no necessàriament connectats lateralment, i que poden acabar en catàstrofe. En aquesta filosofia sembla que es pot fer un pacte amb la naturalesa, tractant punt per punt un arranjament que té més de jurídic que de filosòfic. Dintre aquesta filosofia s'insereix el clam que se'ns ha repetit tantes vegades: més que entendre la naturalesa, el que hem d'intentar és canviar-la. I també en el mateix discurs s'insereix el propòsit o el desig, que sempre m'ha semblat absurd, de «salvar la naturalesa».

Diferentment, la filosofia de EN (MIB) pressuposa una certa trama de relacions entre els diversos components, i s'hi pot reconèixer un sentit tant o més dinàmic que regulador. Però

és una regulació ben innocent: el sistema ha persistit més o menys semblant a sí mateix per molts temps durant el qual ha sofert una selecció històrica que li haurà donat una capacitat creixent d'absorbir perturbacions. No és confiança alegre i gratuïta; més aviat representa la versió actual de l'antiga màxima: sols obeint-la es pot dirigir o menar la naturalesa. Això sol anar unit a una actitud més personal de trobar-se bé en la naturalesa tal com era i encara és en l'essencial. Hi ha una altra diferència que val en relació amb l'educació: el punt de vista I (MAB) pot ser pedagògicament més còmode perquè accepta benèvolament qual-sevol classificació: la de les plantes i animals, la d'ecosistemes i parts d'ecosistemes, la de «nínxols» ecològics, amb totes les possibilitats de fer dissenysicolors impressionants. En canvi, el punt de vista EN (MIB) voldria parlar més al sentiment i al respecte, i, si voleu, a la transcendència, s'interessa en allò de més profund que hi pot haver darrera d'una classificació, la qual en principi, no rebutja, però que tampoc troba plenament satisfactòria.

Crec que val la pena retenir que l'home no és aliè a la naturalesa i que les seves activitats, malgrat assolir un nivell preocupant, no es poden tractar separatament d'un model general i comú aplicable a la biosfera prehumana i actual. Tal visió de l'ecologia no ens proposa, per a la consideració de la biosfera, un model senzill, caracteritzat per cicles regulars i repetibles, expressió d'un mític equilibri ecològic, que s'altera –i es recompon– solament per intervencions definibles. Més aviat és un model que té presents: primer, l'espai, expressió i substrat de la constructivitat de la naturalesa; després, la discontinuïtat o quantificació en els sers vius, i, finalment, el segon principi de la termodinàmica. Organismes i ecosistemes, l'entera biosfera, no poden repetir cicles idèntics d'esdeveniments, com tampoc una màquina no pot donar dues voltes mantenint-se exactament igual a ella mateixa, ja que experimentarà un cer desgast, o com no hi pot haver una economia estable. En el cas de la biosfera i dels ecosistemes, hi haurà tendència a disminuir el quocient producció / biomassa, i, probablement, a una major participació d'individus més grossos en la biomassa i a una més persistent i complexa organització de l'espai.

L'ecologia ha estat fins ara fortament inspirada per un punt de vista que podríem qualificar de newtonià o de laplacià, on no compta gaire la transformació o recuperació de l'entropia augmentada en tots els canvis energètics, recuperació que es faria en forma d'informació. Tanmateix, en l'actual teoria de l'evolució es nota la mateixa necessitat. Tenim la selecció natural, que és un mecanisme acceptable per a tothom; però cal suplementar-lo amb la noció d'augment de la complexitat dels sistemes, quelcom inevitable i que no és la mateixa cosa, i que canvia el marc on opera la selecció. L'augment de complexitat opera com una «vorticitat» damunt de la llarga cadena lineal d'episodis de selecció. No fa gaire, recordava (Margalef 1986 a) que «el fantasma de Lamarck és difícil d'exorcitzar en les discussions sobre evolució, perquè la idea fonamental, o sí, més no, la idea aprofitable de Lamarck, no és l'herència dels caràcters adquirits, sinó que els hàbits i les apetències poden guiar l'evolució futura perquè configuren, d'una manera o d'una altra, la constel·lació de les característiques que són escollides per fonamentar-hi el procés de decisió, o el de selecció. La configuració de decisió –fruit de l'exploració per l'organisme i de l'èxit que aconsegueix– es pot organitzar d'una manera complexa e indefinida, i pot fer-nos la impressió que hi pren part l'atzar i que, malgrat tot, aquests elements són retinguts si no es demostren nocius d'una manera manifesta, com en tantes tradicions culturals humanes».

Potser per la condició personal d'haver estat molt interessat en l'estudi de plàncton, poc a poc he anat acceptant un important condicionament extern, físic, dels ecosistemes, que ara em sembla decisiu.

Hi veig el predomini de l'energia externa o exosomàtica, que és un estímul continu en l'operació internalitzadora de la vida, de manera que l'evolució consisteix a assimilar –dolorosament, es podria dir– nova informació que porta a nivells més alts de resistència. A fi

de comptes l'espectre de perturbacions, que el futur guarda, és el filtre selectiu que hi ha per davant. Ara bé, l'home, des de dintre, ha canviat i està canviant de manera important aquest espectre. Penso que aquest punt pot ser el més important, en la pràctica, dintre la filosofia de la EN (MIB). Fixeu-vos que totes, o la major part, de les formes d'actuar que l'home té amb la resta de la naturalesa produeixen efectes coincidents o paral·lels. Aquest paral·lelisme en el canvi i la seva coherència lògica han de servir de base a una ecologia de la perturbació. Aporta una simplificació benvinguda a un conjunt vast de problemes que, a primera vista, semblen diversos (explotació, contaminació, maneig energètic, conservació). Totes les formes de perturbació fan pujar el quocient producció / biomassa, substitueixen individus d'espècies rares per individus d'espècies que eren ja freqüents, i, probablement, la mida dels nous individus serà menor. En termes de successió ecològica, hi ha un retorn vers etapes ja passades o més simples, és a dir, una regressió, que pot arribar a la que, amb un neologisme pres de l'àrea del maneig dels ordinadors, podríem anomenar una «reinicialització».

2. Què té a veure la perturbació amb l'origen dels organismes.

Els conferenciantes que m'han precedit han tractat de qüestions fonamentals en relació amb l'origen i l'evolució de la vida. L'ecologia –també en relació amb l'home– s'ha de considerar com una ciència unitària, integrada a la resta de la biologia. Voldria portar a examen i debat un tema que fa un parell d'anys que em preocupa i que, crec, és rellevant també en relació amb l'ecologia de la perturbació. És propietat fonamental de la vida el manteniment d'un complex relativament estacionari de relacions internes, enfront d'una major variabilitat de l'entorn. Tots els sistemes, certament, i amb ells els organismes i els ecosistemes, conserven certa flexibilitat interna: si no la tinguessin serien « objectes » i no sistemes, però aquesta distinció és massa imaginativa, perquè probablement no existeixen objectes rígids en tot l'univers. Afegim la polaritat que oposa els canvis d'energia, més sensibles a l'exterior, i l'acumulació d'estructura o informació, més significativa a l'interior. Entre d'altres aspectes d'aquesta polaritat, tenim que l'energia fa de pont damunt l'espai; la informació, de pont damunt del temps.

En tot debat sobre el problema de la conservació (de la vida i dels ecosistemes) ocupa un lloc central entendre la persistència de sistemes que estan subjectes a una mena de cursa d'obstacles. L'organització és filtrada, o seleccionada, a través d'un espectre de perturbacions més o menys aleatòries, de les quals es pot dir solament que les molt intenses són poc freqüents, i les de menys importància són més freqüents. Continuar aquest raonament ens porta directament a la paradoxa de Teller, segons la qual hi hauria una probabilitat infinitament petita per una perturbació infinitament gran. Això ho podem entendre o aplicar-ho amb referència al «big bang» o inici del nostre univers. Però mai com a excusa per a no preocupar-nos tant com cal pel risc d'una guerra nuclear.

L'afirmació que la freqüència de les perturbacions és inversament proporcional a llur intensitat s'ha d'acollir amb reserves, i és a posta per a fer pensar. ¿No deu ser que els subjectes –els organismes o ecosistemes– trien les perturbacions a llur mida? –un altra temptació a caure en l'heterodòxia lamarckiana. La regularitat en un espectre de perturbacions pot existir en la turbulència d'un fluid. Això és palès en la circulació marina, on l'energia cau en cascada des dels grans sistemes de corrents, que mobilitzen molta energia sobre espais extensos, passant a través de remolins menors, fins a petar en la viscositat. Aquest espectre seguiria la regularitat proposada per Kolmogorov, genial científic suara traspassat, sense més desviacions que les induïdes per les entrades especials d'e-

nergia, en finestres assenyalades per ritmes còsmics importants, com el dia, el període de marea o l'any. Aquest model és apropiat a la consideració de l'ecosistema pelàgic, i resulta molt suggerent en l'estudi de plàncton; de com la distribució i estructura de les comunitats d'organismes s'acobla a l'anatomia funcional de les masses d'aigua. Es pot afegir que a l'estructura física de medi marí, expressable com un espectre d'energia, s'ha de fer correspondre una mesura de la covariància o coincidència en les distribucions dels factors de producció (cèl·lules, nodriment, llum). La interacció de les dues quantitats (energia externa i covariància) ha de donar una mesura de la producció, i si la producció neta és nul·la, com ho és per al conjunt de la biosfera, l'espectre d'energia externa i l'espectre de covariància en la distribució dels factors de producció són ortogonals, en un paral·lisme tan inexplicable com ho ha sigut la relació entre l'ànima i el cos, per a generacions de metafísics. Jo penso que aquesta mena de relacions poden ajudar a entendre, també, les peculiars organitzacions de l'espai i del paisatge que l'home força amb la manipulació de quantitats cada vegada més grans d'energia.

L'activitat de la vida, o algunes de les activitats de la vida, han internalitzat gradualment les pertorbacions de període més curt, internalització que fou indispensable per a la supervivència, o per a continuar l'aventura. Pel fet d'haver-les superades, tals pertorbacions ens semblen ara poc importants, com a tals les classifiquem i creiem que no invaliden, ans bé suporten, la regla de la relació inversa entre freqüència i intensitat de les pertorbacions. Tot això és pertinent en relació als problemes de l'ecologia de sistemes humanitzats; però ara vull presentar un altre caire del mateix problema. La resistència s'adquireix de maneres diverses: resistència, indiferència i anticipació, i Conrad (1983) ha tractat el tema de manera molt convincent, des del punt de vista de la informació. L'anticipació és especialment necessària — organitzadora de la cel·lula — en relació al cicle diari. És curt, d'una gran freqüència, però *molt important*, biofísicament i bioquímicament, perquè implica dues fases tant diferents com «el dia i la nit», en parla corrent. Jo no puc estar-me de pensar que el dia ha estat fonamental en l'evolució. Vull dir que la duració moderada del dia en la nostra Terra, comparada amb la duració que pot tenir en altres planetes, és *important*. Jo l'afegiria als factors que han configurat la nostra vida, vull dir la vida del planeta.

Tals condicions imposaren restriccions molt definides a l'organització dels sistemes vius primitius, o als primers organismes fotosintètics. La quantificació d'un organisme combina una dimensió en l'espai, i un altra en el temps. Segurament imposa també una doble indeterminació. En relació amb la mida, cal que la menor unitat pugui contenir un mecanisme que integra, per sobre del temps, les funcions que solament es poden dur a terme durant el dia i les que continuen durant la nit i també donar allotjament a un volum mínim de reserves de materials orgànics sintetitzats, i contenir, a l'ensem, el suport per a un cicle cel·lular relativament llarg. I la llargada d'aquest ha de combinar una fase il·luminada i una altra obscura. Si pensem en una cadena mínima de comanda o de jerarquia: ADN, ARN, enzims, substrats; en els pesos moleculars de les molècules implicades; en les dimensions menors que podem assignar a cada estructura, probablement arribarem a la conclusió que, en un dia de 24 hores, els organismes independents o productors primaris poden ser petits fins a un μm ; però probablement la mida mínima seria major en un planeta de dia més llarg. Es pot fer un model, però crec que la demostració de la hipòtesi és llunyana. Potser ha d'esperar trobar vida en un altre planeta. En tot cas aquest aspecte o aquest condicionament per a l'origen de la vida mai no ha estat suficientment apreciat.

3. La successió ecològica i l'asimetria del canvi

Un dels temes centrals de l'ecologia és la successió. Així s'anomena el procés d'auto-organització a què estan subjectes els ecosistemes. No es pot descriure llur història a base de cicles regulars, sinó més aviat per una mena d'helicoidal. La successió és, naturalment, discutida, i cal posar la seva problemàtica en un context realista. La successió no és el procés majestuós que, a vegades, es diu que portaria a una *clímax* gairebé mítica, entesa com un estat de «perfecció ecològica», o, més modestament, un estat de dinàmica retardada, amb augment de complexitat. La dinàmica bàsica de la successió és esperable d'una producció dependent de la superfície i d'una respiració dependent del volum. El joc entre producció, biomassa i respiració porta a un desenvolupament en alçada de les comunitats, bàsicament de llur vegetació en les comunitats continentals.

Aquest programa no succeeix ni prospera en la generalitat dels casos, altrament tota la superfície de la Terra estaria en situació qualificable de *clímax*, i no és cert. Però tampoc cal negar la realitat de la successió, com ho prova la represa de la vegetació espontània, en un camp el conreu del qual s'ha abandonat, o en una duna, o en el llit d'un riu del qual un fil d'aigua se n'ha anat a divagar més enllà. I en aquests exemples podem veure que la successió és relativament lenta, almenys més lenta que qualsevol procés de destrucció i, com més avança la successió, més a poc a poc va. Un bosc tarda cinquanta anys a créixer, i en cinquanta anys més ja no canviarà gaire d'aspecte; però es crema o es talla en un dia. Aquesta és l'asimetria a què em referia abans, i que fa que es pugui proposar un model de successió inspirat en el joc de l'oca o en qualsevol altre de semblant. Amb una diferència important. En el joc de l'oca els forats o els paranys ocupen una posició fixa, i l'avenç és aleatori, definit pel resultat de llençar un dau. La successió ecològica avança amb velocitat descelerada, de manera bastant regular; però les caigudes a un estat anterior, la pertorbació, es fa de manera aleatòria, i tot el que es pot confegir és un espectre de probabilitats de pertorbació, amb les característiques discutides abans, i que ens han servit per tractar de la internalització de les pertorbacions de freqüència gran i de possibles regularitats de tot l'espectre.

Si podem caracteritzar d'alguna manera les comunitats diverses que entren en un sistema ecològic local, on intervenen processos de successió, aquesta, és a dir, la successió, es caracteritza estadísticament a través d'una matriu de transició. Ella dóna les possibilitats de pas d'una comunitat a una altra, expressades amb referències a anys, a dècades, o com sigui més convenient. Les etapes que la successió segueix naturalment es caracteritzen per probabilitats petites que descriuen una seqüència única o no gaire complicada (més sovint convergent que divergent). Però, afegim, sempre hi ha probabilitats finites d'anar a raure a una situació ja passada, i fins i tot inicial, allò que he anomenat «reinicialització», quan s'ha de començar de bell nou. Usant aquesta matriu de probabilitats, suposant que la seva perfecció fos possible, cosa que inclouria la constància en les probabilitats de transició, es podria calcular l'extensió mitjana que cada tipus de comunitat ocuparia en una extensió donada. (És clar que no cal «creure» en comunitats per aplicar aquest model, ja que s'aplica exactament igual a conjunts de poblacions).

Combinem l'observació directa del canvi, en superfícies conegudes, amb un estudi de les distribucions globals, que avui dia es pot fer comparant fotografies aèries fetes amb intervals definits de temps. En una anàlisi més profunda, aquesta matriu es pot descompondre en dues parts, una part feta per les probabilitats d'anar endavant; una altra per les probabilitats d'anar «enrera». En certa manera es pot comparar amb les matrius de Leslie usades en demografia, on anar avant és la probabilitat de sobreviure, i tornar a començar és la generació d'individus nous que entren a la brega. La matriu de Leslie, no millorada,

dóna una dinàmica estable, com la matriu de successió. Les matrius de successió aplicables a les comunitats d'una tartera, o dels marges d'un riu, o d'un plàncton seran tals que donaran una probabilitat relativament gran per la presència d'estadis pioners o inicials.

La situació actual, sota la influència de l'home, és que les probabilitats de regressió són molt augmentades, principalment en els ecosistemes continentals. Repetim que en la matriu de probabilitats de transició entre les diferents comunitats s'hi reconeixen dues components: la progressiva o que correspon al procés d'autoorganització, que va endavant, i la de retorn enrera o regressió. Tot depèn de l'espectreacle de pertorbació que opera damunt l'àrea en qüestió. Existeix un espectre de pertorbació natural —la probabilitat que es moguin les pedres de la tartera en el nostre exemple—; però, en general, els espectres de pertorbació, efectius ara sobre la major part dels ecosistemes, han estat molt modificats sota la influència de l'home. Aquests espectres es caracteritzen per la freqüència relativa dels diferents salts enrera, quantificables pel nombre de passos de successió que comporten desfer. Una anàlisi estadística, comparant petits elements de paisatge entre fotografies aèries separades per intervals semblants de temps, posen de manifest el creixement de l'acció regressiva els darrers anys. El resultat estadístic és que hi ha un predomini cada vegada més gran de comunitats que corresponen a les primeres etapes de les successions, és a dir, una regressió general de la naturalesa. Hi ha regions on la predicció més segura és que dintre uns quants anys tot estarà cobert per ciment o asfalt. Però, en situacions menys extremes, encara que molt generals, és com si la «població d'ecosistemes» s'hagués rejuenit.

Hi ha una diferència sistemàtica entre etapes pioneres i etapes avançades de la successió, que cal incorporar en tot model de simulació: els límits. En les etapes primeres, són d'esperar fronteres de poca complicació i les taques apareixen a qualsevol lloc; en etapes més avançades, o, si es vol, més properes a la clímax, els límits es fan sinuosos, o apareixen totalment confosos (fractals!), i les noves situacions es presenten per evolució d'etapes anteriors i, per tant, són adjacents normalment a àrees on persisteixen etapes immediatament precedents. Seguint aquests pocs criteris es fan models quantitius molt realistes i instructius.

Hi ha una explotació natural que manté els ecosistemes en una etapa més allunyada de la clímax: hem parlat ja de la vegetació d'una tartera. D'una manera més suau, en gran part de la zona temperada, per detenció periòdica de la vegetació a causa del fred —en altres llocs, per raó de la sequera— s'atura o retarda el funcionament de l'ecosistema, amb una pèrdua de materials (mort i caiguda de la fulla o d'altres parts de les plantes, etc.) que mantenen el sistema relativament rejuenit. I explotable, ja que en aquestes situacions el sòl conserva una major capacitat de dipòsit i és millor com a base per a una explotació agrícola que no pas els sòls, més pobres, d'ecosistemes que viuen sota condicions més càlides i constants, i que s'apropen més a una clímax ideal.

4. Desviacions en el funcionalisme original introduïdes per l'home i responsabilitats de gestió

Hi ha una llista llarguíssima de «problemes ecològics» i de malvestats inflingides per l'home a la resta de la biosfera. Són conseqüències naturals de l'expansió i de les activitats d'un organisme bastant peculiar. Però les hem d'entendre dintre del context de la visió EN (MIB). Aleshores l'enteniment i la solució d'allò que anomenem problemes, i ho són per a nosaltres, poden ser més propers. A més, hom veu que hi ha relacions molt estretes entre el que, sovint, es pretén que són problemes diferents, i s'intenten resoldre separatament.

En una primera etapa, podem reunir molts «problemes ecològics» en quatre blocs. Tenen també la gràcia de correspondre a conjunts de problemes que han anat apareixent de manera successiva, des del neolític, o abans, fins avui. Primer els recursos com a tals, després la contaminació; l'ús de l'energia ens ofereix solucions, però també nous problemes. Finalment, ara ens estem introduint en la intimitat de la «cuina» i de la generació de la vida, i les perspectives que s'obren així no són encara prou clares.

Producció i explotació.

La biosfera té una producció primària que s'estima a l'entorn de 70 mil milions de tones anyals de carboni orgànic, aproximadament meitat i meitat en terra i en els oceans. Per unitat de superfície, a la mar li correspon molt menys. Una humanitat de 5 mil milions d'individus demana cap a 500 milions de tones de carboni a l'any. Comparar aquestes dues xifres de manera poc crítica podria portar a una visió massa optimista: pensem també que matèria orgànica d'origen animal forma part de la nostra dieta. Però és un fet que la fam és més qüestió de mala distribució que de mancances en la producció. A poc a poc, la humanitat ha anat substituint la seva pròpia biomassa per la de la fusta i per la dels animals, mentre la producció primària de la biosfera es mantenia aproximadament constant.

Aproximadament el 15% de la superfície dels continents està sota conreu directe, i potser el doble d'aquesta superfície s'explota com a pastures o d'altra manera. La producció primària dels conreus no difereix gaire de la dels ecosistemes locals; però es gasta molt de treball –energia– a mantenir els sistemes agraris oberts, lluitant contra competidors –males herbes i animals– i reservant a l'home l'ús de la producció neta. L'energia de suport, en forma de treball, adobs i aigua, ajuda a mantenir el sistema obert i polsant, a fer-lo més productiu. Aquesta energia externa, en l'agricultura intensiva, es va apropant a l'energia de la producció primària, i algú ha pogut escriure que l'agricultura moderna és l'art de fer menjable l'energia del petroli. A través dels sistemes agrícoles es força un gran flux d'energia: es mantenen grans extensions en un estat inicial de la successió ecològica, amb tendència al monocultiu, i es descarrega espontàniament una fracció important dels elements en circulació. Els camps perden molt de nitrogen vers l'atmosfera –i vers les aigües, pol·luint-les– i una part de fòsfor queda immobilitzat en els sòls. Sòls congènitament pobres en fòsfor mobilitzable donen collites de plantes particularment riques en carboni, però en poca cosa més –oli, vi, cautxú, cel·lulosa–. El nombre d'espècies conreades i criades per l'home és relativament reduït, i l'expansió dels conreus contribueix fortament a la simplificació –i acceleració– de la naturalesa. Altres organismes associats a l'home –plantes ruderals, etc.– comparteixen característiques dels organismes sota conreu.

Contaminació

La contaminació es pot considerar com una malaltia dels cicles de transport naturals. La situació típica es dona quan s'importen recursos d'una àrea productiva extensa, s'utilitzen a mitges en una regió d'alta densitat humana, i els residus s'amunteguen localment. Els rius estaven predestinats a servir d'evacuadors, potser perquè naturalment ja portaven a mar l'u per cent de la producció de la superfície dels continents. Però tanmateix n'hem fet un gra massa. Les depuradores estan inspirades en el funcionament dels rius i n'acceleren la funció. Evidentment, molts problemes de contaminació es poden resoldre amb més energia: per exemple, tornant els residus al mateix lloc del seu origen. Però sovint no es vol

fer la despesa de pagar el viatge de retorn. Els problemes de la contaminació es veuen de manera menys dramàtica si pensem en l'enorme quantitat de matèria morta, encara no totalment descomposta, que suporta el planeta: entre 10 i 14 vegades la quantitat de matèria viva.

En el sí de la naturalesa viva, l'evolució ha creat molècules especialment resistents, com les de la fusta, les de molts materials de reserva (greixos i hidrocarburs) i les d'antibiòtics i feromones. Llur funció requeria que fossin poc degradables. En el cas de l'home ens trobem amb el mateix: hi ha una quantitat enorme d'artefactes i materials que no han de ser biodegradables, i també és natural que els insecticides ho siguin poc. De manera que els tractaments suaus, naturals, de depuració, sovint serveixen per a acumular en el residu final les molècules potencialment més nocives. Afegim a això els «cadàvers» d'automòbils i de tota mena d'artefactes de la nostra civilització, que demanem un reciclatge més efectiu i, a poder ser, poc ofensiu. Es pot establir una regla de tres que és aproximadament vàlida: la producció de residus sòlids exosomàtics és a la producció d'excrement sòlid tant com l'ús d'energia externa o exosomàtica (llum, transport, etc.; vegeu més endavant) és a l'energia metabòlica normal.

L'acceleració dels sistemes naturals per l'acció humana genera canvis que es poden considerar com una contaminació generalitzada o sistemàtica. La fotosíntesi dóna poder reductor a la cèl·lula, que s'aplica al carboni, al nitrogen i al sofre. El retorn consisteix en l'oxidació dels mateixos composts, que es converteixen en productes de fórmules generals CO_x , NO_x , SO_x . Si la «necrosfera», o material reduït, orgànic, que hi havia a la terra, es destrueix ràpidament —destruir boscos, sòls, combustibles fòssils— és natural que aquells materials apareguin en l'atmosfera, i determinin l'augment de l'anhidrid carbònic i, eventualment, l'efecte estufa i les pluges àcides. Tot és una resposta a l'estrès, a l'acceleració a què sotmetem la biosfera, i els diferents aspectes s'han de tractar conjuntament. L'enfocament ha de ser necessàriament molt ampli: explotar els boscos per treure fusta, sense fertilitzar per retornar el material extret, que depèn, és clar, de la composició de la fusta —sobre la qual hi ha massa poques dades— empobreix el sòl excessivament en bases i agreuja, o multiplica per dos, el problema de les pluges àcides, almenys en països de roques predominantment silíciques.

L'energia nuclear conserva una qualitat de misteri que fa que la vegem amb un temor possiblement excessiu, al mateix temps que manca la decisió per rebutjar-la de ple. Té de dolent l'emetre radiacions ionitzants indiscriminades, que no respecten la individualitat que tant valorem. I no es tracta sols de redistribuir elements radioactius existents, sino de crear més radioactivitat: radioactivitat artificial. La vida no pogué sortir de l'aigua fins que l'atmosfera desenrotllà un estrat ric en ozó, protector de la radiació electromagnètica d'ona curta, procedent del sol, i també ionitzant; és xocant que ara el darrer dels plançons de la vida introdueixi radiació igualment nociva al nivell més baix en l'espai de la biosfera. Però la nuclear és de les poques energies concentrades de què es pot disposar i, si no ha progressat més el seu maneig, es deu probablement que el petroli no s'ha encarit prou.

Energia

Avui dia és clar per a tothom que l'energia endosomàtica, que ingerim amb els aliments i que fa funcionar la màquina del nostre cos, és complementada per una energia exosomàtica, emprada en cuinar, en fer-nos llum, en acondicionament climàtic, transport, i un llarg etcètera. Una vegada convençuts d'aquesta dualitat d'energies, la retrobem en la naturalesa: tots els ecosistemes reben un suport d'energia externa o exosomàtica: el

plàncton a través de corrents ascendents que retornen a aigües fondes, riques en nodriment, a la llum; la vegetació terrestre a través de la pluja. En tots els casos, l'energia externa identificable com a rellevant, en cada cas analitzat, és ordinàriament entre 20 i 50 vegades l'energia interna. En realitat deu ser força més gran, si recordem que l'energia esmerçada en la producció primària de la biosfera és no més que una mil·lèsima part de l'energia que ens arriba del sol i que, en el seu conjunt, configura les propietats de la Terra, en tant que suport d'una biosfera.

El problema de maneig apareix a mesura que l'home és capaç de controlar fraccions creixents d'aquesta energia externa: energia hidràulica, eòlica i energia interna d'ecosistemes del passat (carbó, petroli) que ara actua com energia externa enfront dels sistemes presents. Aquest ús o control de l'energia externa o exosomàtica ha anat creixent, tant que ara, en tot el món globalment, és entre quinze i vint vegades el total de l'energia endosomàtica. Aquest augment continu porta molts problemes secundaris de contaminació (tèrmica, nuclear, etc.), però encara estem lluny que l'energia externa canviada per unitat de superfície sigui comparable amb l'energia que intervé naturalment en els estats del temps i del clima, i que és d'aprop de 300 watts per metre quadrat. Però ens hi estem atancant, principalment en àrees com Manhattan o el Ruhr. Un bon indicador de la posició relativa dels països, en una escala «d'impacte ecològic», és l'energia exosomàtica canviada per unitat de superfície. Per donar un sol exemple, és, per metre quadrat, d'uns 0,25 watts a Espanya i de 2,5 watts a Bèlgica.

El tema ens podria portar molt lluny, però em limitaré a assenyalar dos aspectes essencials des del punt de vista d'aquests fells. En primer lloc la diferència extrema en l'ús d'energia externa que en els diversos pobles, els diversos grups i els diversos individus, que s'estén entre una energia exosomàtica pràcticament nul·la, i valors més de mil vegades més alts que l'endosomàtica. La distribució mundial de l'energia interna té una forma aproximadament normal, ja que queda limitada entre la mort per inanició i la mort produïda per les malalties de l'excés; però l'energia externa es multiplica a si mateixa. Qui n'usa més, pot augmentar el seu ús més fàcilment, i s'arriba a distribucions estadístiques de tipus brownià, on la variança és proporcional al quadrat de la mitjana. Això dona lloc a diferències exagerades, i perilloses per llur injustícia. Altrament, l'ús d'energia externa va acompanyat de l'ús de tota mena d'artefactes exosomàtics, i el seu conjunt és un dispositiu que fa de commutador i multiplicador en les vies naturals del fluir de les energies. Els meus exemples predilectes són dos: en la via pacífica el de l'individu que mena una màquina de moure terra, amb la qual fa una sèquia o una presa, i així canvia l'ús i disponibilitats d'energia en el futur, i, en la via tremendista, el del qui prem el «botó» que indica una guerra nuclear. És indiscutible, tanmateix, que la disponibilitat d'energia externa condiciona l'organització de l'espai, i l'organització en general, dels països.

Estic convençut que la humanitat ha entrat, ara deu fer una o dues dècades, en una nova època, en la qual la manipulació de l'energia és i serà més important que la senzilla explotació dels recursos materials de la terra.

Bioteχνologia i conservació

Avui dia, la bioteχνologia apareix com un monstre de dues cares: promesa de beneficis i amenaça de perills. Esperem que ni una cosa ni l'altra siguin realment greus. La selecció ha estat sempre més important que la mutació, en la marxa de l'evolució, i probablement continuarà igual. Es pot accelerar un procés que hauria esdevingut de totes maneres. Es podran fer correr ràpidament, en el laboratori, cadenes d'evolució alguns passos intermedis

dels quals no serien viables a la natura, i així introduir una altra mena d'evolució lamarckiana. És a dir, fer la «mutació» a mida dels requeriments, eliminant la necessitat de selecció «a l'aire lliure», entre moltes alternatives.

Hem de tenir present que el funcionament de la biosfera ha mantingut característiques, aparentment uniformes o molt semblants, de productivitat i biomassa durant molts milions d'anys. En aquest temps s'han extingit moltes espècies i se n'han format de noves. En la biosfera, que funciona com una màquina d'evolució, entraven i entren unes espècies i en surten d'altres. Seria el moment de fer una pregunta indiscreta sobre el que vol dir la «fitness». Ens podem preguntar, a més, com continuarà funcionant aquest mecanisme sota la influència humana. De moment sabem que s'han extingit moltes espècies; però això ha succeït també en altres èpoques de la història de la Terra, sense que això vulgui dir que ens hem de sentir descansats o justificats. El tema es sintetitza en una senzilla pregunta: ¿què és més fàcil d'afegir a un ecosistema: una espècie o un individu?. Evidentment ho és afegir una espècie en un ecosistema saturat, climàtic, no explotat des de fora; però és més fàcil afegir un individu de qualsevol espècie ja freqüent en un ecosistema influït per l'home.

Jo voldria creure, de manera més positiva, que la nostra aproximació als mecanismes informàtics de la vida ens farà augmentar l'estima i, si pot ser, el respecte, per la gran varietat de la vida que encara queda al nostre entorn. És a dir, per reforçar un sentiment de respecte i fins de joia en la naturalesa. Però cal que també inspire mesures més pràctiques de conservació. Els parcs i reserves naturals tenen generalment un valor només testimonial, ja que són relativament petits (en els nostres països) i potser massa concorreguts (si més no, per caps d'estat). Cal estendre el concepte de conservació a tots els retalls de paisatge. Això ens porta a una qüestió més fonamental: ¿cal aplicar la pressió d'explotació uniformement sobre el país, o es millor respectar certes àrees i intensificar fins al límit la «domesticació» d'algunes altres regions?. Jo estaria per la darrera alternativa que comporta, com és natural, una sèrie de noves qüestions, com per exemple una distinció més clara entre boscos per a explotació i boscos per a conservació, introduir nous punts de vista sobre l'erosió, reconeixent la seva importància cabdal, etc.

5. Més enllà de l'estudi dels impactes. És possible racionalitzar la qüestió?

Hauríem de tractar d'entendre la naturalesa abans d'actuar sobre ella. Però això és demanar massa. Alternativament, hem d'aprendre dels nostres errors, que paga la naturalesa i, per tant, nosaltres mateixos. Tot el rebombori ecològic, i els exemples de mal fer que veiem al nostre entorn, han portat a donar èmfasi a aspectes pràctics de la gestió de l'entorn. Potser no hem tractat prou d'entendre el funcionament de la naturalesa. Però, evidentment, hi ha una sol·licitació contínua per als problemes aplicats, per als conflictes de cada dia. Voldria contribuir a la discussió d'avui amb un parell de comentaris, que no son nous.

El primer es refereix als perills de l'energia externa, amb el seu poder nascut dels multiplicadors que hem construït, que se sumen als que ja existien naturalment, i que potser no eren tants, perquè la tendència en la naturalesa és més aviat vers l'amortiment que vers l'amplificació. Hem de pensar en termes d'espectres de perturbacions importants, és a dir, que porten a «reinicialitzacions» repetides. Cal recordar com les màquines de moure terra permeten desviar rius, ràpidament. Però coneixem poc el resultat de molts canvis.

Els escarments repetits han aconsellat de fer precedir cada obra important d'una «avaluació d'impacte ambiental», tractant d'anticipar el que pugui passar més endavant, per prendre, si cal, mesures, o per assignar responsabilitats. És essencial que aquests

exercicis tinguin un seguiment, per veure què passa veritablement després, si es compleixen les prediccions primeres o no. Molt sovint és que no. Veus disperses han assenyalat l'absoluta necessitat de seguir amb detall les conseqüències de qualsevol manipulació (Munro i col·ls., 1986). Però propostes d'aquest gènere no són populars: troben moltes reticències per part de l'administració, dels consultors que prepararen l'avaluació d'impacte i, com és natural, de l'empresa que ha causat l'impacte. Encara més si alguns d'aquests interessos tenen lligams en diferents països.

Però, al marge d'interessos més o menys respectables, cal aprofitar de manera sistemàtica les conseqüències de totes les alteracions passades, per «aprendre de l'experiència», per anar construint una ecologia de la pertorbació. I com podem veure que s'integra, de manera no forçada, a través de les quatre idees ací presentades, en la ciència ecològica fonamental. Tot aquest programa és tant més interessant quan veiem que tota la naturalesa va, podríem dir, a «cops de peu»: pulsacions discontinues mantenen la dinàmica planctònica i l'asimetria successional és essencial per entendre fins i tot l'evolució (Margalet, 1986 b). La fluctuació primaveral de la zona temperada dóna un excés de producció i atrau als animals migrants. L'home ha anat gradualment superant i internalitzant pertorbacions externes, el pas de les estacions i fins fluctuacions climàtiques. Però l'home és causa, al seu torn, de noves pertorbacions. No és aquesta dialèctica una de les coses més característiques de la conjunció entre ecologia i evolució?

Bibliografia

1. CONRAD M. (1983) *Adaptability: The Significance of Variability from Molecule to Ecosystem*. Plenum, New York.
2. HASLER A.D., i altres (eds) (1972). *Man in the Living Environment, A Report on Global Ecological Problems*. Publisher for the Institute of Ecology by the University of Wisconsin Press, 288 pp.
3. LLOPIS J. (1987). *Lo visible y lo oculto. Los caminos del Ser*. Barcelona, 282 pp. (manuscrit)
4. MARGALEF R. (1980). *La biosfera, entre la termodinàmica y el juego*. Ediciones Omega, Barcelona, 236 pp.
5. MARGALEF R. (1983). *La ciencia ecológica y los problemas ambientales: Técnicos, sociales y humanos. Diez años después de Estocolmo*. CIFCA. Madrid, pp. 177-220.
6. MARGALEF R. (1986a). *Variaciones sobre el tema de la selección natural. Exploración, selección i decisión en sistemas complejos de poca energía*. *Saber*, n. 7, pp. 7-13.
7. MARGALEF R. (1986b). *Sucesión y evolución: su proyección biogeográfica*. *Paleontología i Evolución*, 20: 7-26.
8. MUNRO D.A., Bryant T.J. i Matte-Baker A. (1986). *Learning from experience: A state-of-the-art review and evaluation of environmental impact assessment audits*. CEARC (CCREE) Canadian Environmental Assessment Research Council, 48 pp.

Abstract

There are different attitudes concerning ecology and applied ecology. The author prefers an outlook that emphasizes consideration of mutual dependences, space, quantification, and thermodynamics, as opposed to more individualistic models, that would allow for stationary cycles.

Environmental fluctuations and unpredictable inputs provide a challenge to life: It is suggested that daily fluctuations, in light, have been material in the scaling of size and life length in the primitive primary producers. The substance of ecological succession does not

consist in any trend towards autoorganization, but rather in the asymmetry of change. The matrix of transition probabilities, between different «communities», reflects the spectrum of disturbance acting upon them; such a spectrum, when supported or complemented by human action, is a good reference in applied ecology. Most practical problems can be distributed in four blocks, for which interest or awareness has appeared successively in the course of time: 1) resources, 2) pollution, 3) energy, and 4) conservation-biotechnology. Inside each block there are many relations, as, for instance, those existing in block 2 between greenhouse affects, acid rain, and forest exploitation, with loss of soil components. The usual assessments of environmental impact have to be followed, or audited, in each major work, in order to accumulate materials for building a true ecology of disturbance.