

38

38

2006
Octubre
October

Margalef, “el biòleg de la biosfera”

Margalef, “el biólogo de la biosfera”
Margalef, “the biosphere biologist”



Generalitat de Catalunya
Departament de Medi Ambient
i Habitatge

Margalef, “el biòleg de la biosfera”

Mestre d'ecòlegs
i d'ecologistes

Joandomènec Ros

Margalef i l'ecologia
terrestre

Jaume Terradas

Margalef i l'oceanografia

Marta Estrada

Records personals

Carles Bas

L'ecòleg marí més influent
des de Darwin

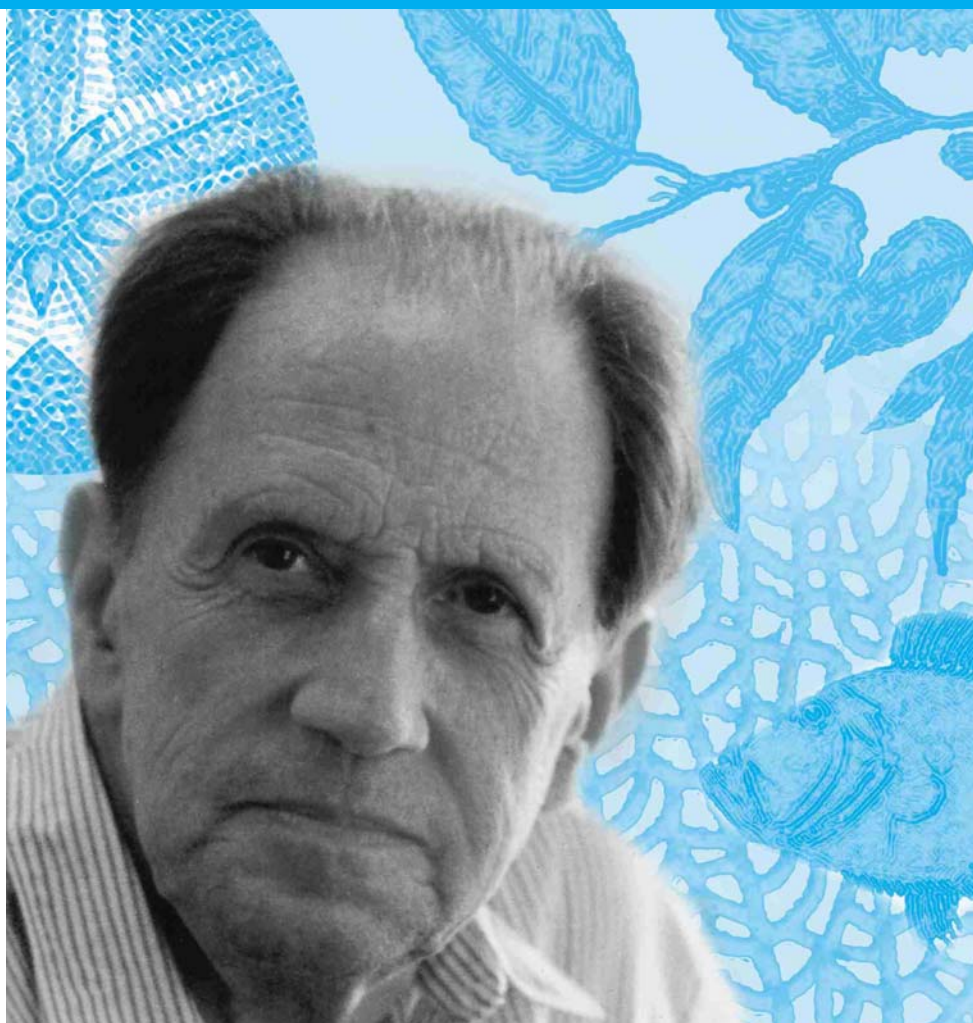
Paul Dayton

Entrevista a Ramon Margalef

Lluís Reales

La teoria ecològica
i la predicció en l'estudi
de la interacció entre
l'home i la biosfera

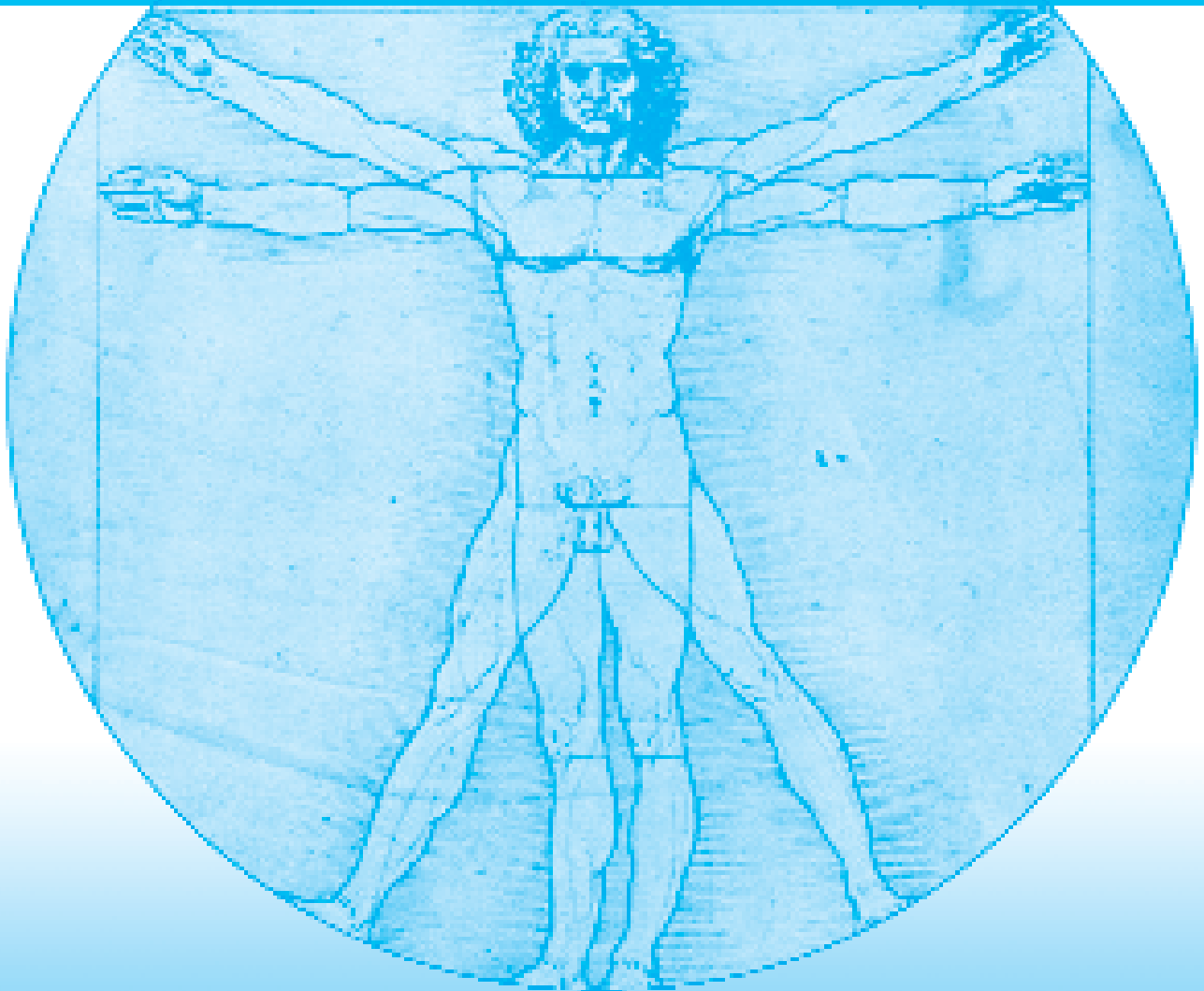
Ramon Margalef





RAMON MARGALEF, EL "BIÒLEG DE LA BIOSFERA"

La teoria ecològica i la predicció en l'estudi de la interacció entre l'home i la resta de la biosfera

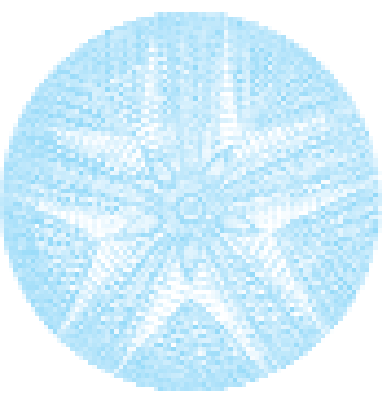




Ramon Margalef

Aquest article es va publicar l'any 1973 amb el títol «*Ecological theory and prediction in the study of the interaction between man and the rest of the biosphere*». Va aparèixer en la revista *Ökologie und Lebensschutz in internationaler Sicht* (H. Siolo, ed.): 307-353. Rombach. Freiburg. Ha estat seleccionat perquè sintetitza brillantment el pensament de Ramon Margalef.

El lloc de l'home en la teoria ecològica



Una fracció de la població humana que ha disminuït amb el pas del temps, però no tan ràpidament o de manera tan completa com de vegades se suposa, considera que el lloc que ocupa l'home en la naturalesa és molt especial, i que l'home és essencialment diferent dels altres organismes. Moltes activitats humanes necessiten una enorme extrapolació si s'han de comparar amb les activitats corresponents dels animals, i va semblar justificat col·locar l'home en un «regne» diferent del de la naturalesa. Aquest punt de vista té menys a veure amb actituds religioses que amb actituds humanes en general. Molts moviments filosòfics actuals, sense cap càrrega religiosa específica, rebutgen en extrem, tanmateix, acceptar l'home com un component del món físic, món que presenta arreu les mateixes regularitats, les quals podem aprehendre i sobre les quals podem construir una imatge intel·lectualment consistent.

Considerar l'home merament una part de l'excrescència viva de la Terra, que no requereix cap regla peculiar; resulta potser el primer i inevitable postulat per a la construcció d'una ecologia general. Això pot semblar una trivialitat, però penso que s'ha d'explicitar; perquè l'actual moviment a favor d'un punt de vista ecològic es troba impregnat en amplis sectors per l'acceptació de la gran separació que existeix entre l'home i la resta de la naturalesa, com s'ha indicat en el primer paràgraf. És cert que l'aliment produït pels ecosistemes «naturals» és un factor en l'existència i en el benestar humans. Les acti-

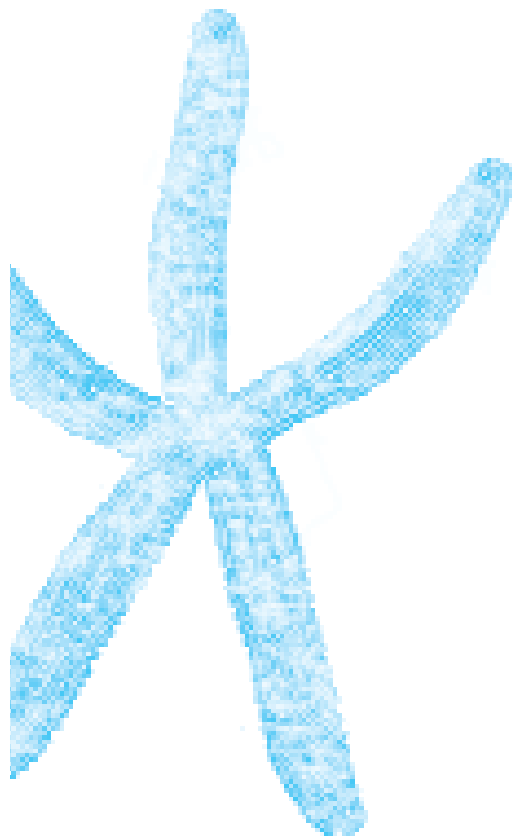
vitats de l'home representen un factor (i, de fet, un factor molt important) de modificació dels ecosistemes «naturals», que és eficaç a l'hora d'alterar i simplificar les comunitats, en la dispersió de les espècies antropofites, etc. Però amb massa freqüència es considera l'home i la resta de la naturalesa com una parella qualitativament diferent, regatejant l'un assegut davant de l'altre a ambdós extrems de la taula, l'home intentant controlar i afalagar la naturalesa per obtenir-ne més recursos, etc. Com que la conservació és abans de res un problema d'actitud i d'educació, el tipus de marc al qual ens podem referir en termes generals com ara «filosòfic» no deixa de tenir les seves conseqüències. Qualsevol tipus d'expressions i de models matemàtics utilitzats per descriure la interacció entre espècies ha d'aplicar-se i pot aplicar-se a l'home. En molts casos, la consideració d'activitats que *a priori* es podria suposar que són estrictament humanes, fa necessari un enfocament més ampli. Això significa que per construir una teoria ecològica és útil considerar totes les activitats de l'home. Només cal pensar, per exemple, en el gran ús d'energia (no en forma d'aliment) que és característic de l'home o, almenys, de l'home modern. Es pot considerar com un metabolisme extern o cultural, amb avantatges selectius evidents que es reflecteixen en la dinàmica de les poblacions. Una vegada fet així i introduït en les expressions corresponents, que s'amplien o es generalitzen per això, els ulls de l'ecòleg s'obren i aquest pot veure ara que aquest metabolisme extern es presenta així mateix, encara que en menor mesura, en els



.....

Per construir una teoria ecològica és útil considerar totes les activitats de l'home

.....



animals. Els animals ectotèrmics, que utilitzen l'energia solar per escalfar-se, o els insectes socials amb activitats de condicionament d'aire, transport i emmagatzematge, així mateix tenen una certa quantitat de metabolisme extern, important en la seva supervivència. Si la idea es porta més enllà, es pot veure de quina manera les diferents formes de metabolisme aquí considerades representen una extensió de la partició del metabolisme biològic o intern total en dues parts, 1) respiració i activitat general, i 2) creixement i reproducció. Si no fos pel cas extrem que l'home representa, potser mai no hauríem pensat a comptabilitzar un metabolisme extern, encara que amb seguretat té valor de supervivència per a les espècies que el presenten. La consideració de l'home proporciona una magnífica ocasió per generalitzar algunes expressions ecològiques, de manera que siguin aplicables no solament a sistemes que incloguin l'home, sinó també a qualsevol sistema. Aquesta perspectiva és desitjable en ecologia general, però a més pot contribuir a la construcció de models més realistes d'interacció entre l'home i la resta de la naturalesa, i pot resultar absolutament necessària per a una predicció encertada. I durant aquest procés ocorre que rarament, o potser mai, existeix un exemple de tipus d'interacció que sigui realment peculiar o exclusiu de l'home.

En el present moment de propaganda ecològica exacerbada s'ha centrat l'atenció en uns pocs temes, probablement perquè són més «interessants» o tenen més càrrega emocional. Els temes seleccionats són la població, la contaminació i, de vegades, la conservació. Tot això pot resultar dispersador; es poden oblidar els problemes reals, i els seleccionats poden generar indiferència o histèria. Molta gent està d'acord que el problema bàsic és d'educació i de gestió molt àmplia. Crec que tot aquest complex de problemes s'ha de situar dins d'un marc ecològic molt complet i sense restriccions. Aquest és l'enfocament i el propòsit de la present comunicació.

Poblacions sotmeses a circuits reguladors locals

.....

Els ecòlegs han usat l'expressió de la interacció entre les espècies i n'han abusat d'una manera relativament poc complicada. Té la forma d'una equació diferencial per a cada espècie, en la qual la taxa de canvi en el nombre total d'individus

que constitueixen la població es fa igual al resultat de diverses interaccions, positives o negatives, és a dir, algunes interaccions contribueixen a augmentar la població i d'altres a reduir-la. En la forma usual d'escriure aquesta equació, la intensitat de la interacció es fa proporcional al producte de les densitats dels elements que interactuen, en general espècies, encara que també pot tractar-se de la concentració d'algun element o compost en l'ambient. El producte segueix la prou coneguda llei d'acció de masses de la química.

Aquestes expressions tenen la forma general

$$dN_i / dt = aE N_i - bN_i^2 - cN_i N_j - dN_i N_k \dots$$

o bé

$$\frac{1}{N_i} \frac{dN_i}{dt} = C + \sum_{j=1}^n a_{ij} N_j$$

en la qual E pot representar els factors ambientals, N_i, N_j, \dots el nombre d'individus de les espècies i, j, \dots , i a, b, c, \dots són coeficients d'interacció, positius o negatius. En l'exemple exposat se suposa que l'augment de la població es deu a algun recurs ambiental E, i que totes les interaccions, incloent-hi les que tenen lloc entre membres de la mateixa espècie (el terme amb N_i^2), tenen una influència negativa en la població.

Aquest model té una base raonablement lògica, en la mesura que els canvis en la densitat d'una espècie depenen de diverses interaccions, i la intensitat d'aquestes és proporcional, encara que mai de manera lineal, al producte de les concentracions dels elements interactuants. Fins i tot és possible suposar que E canvia a l'atzar; simulant així alguns efectes dels climes i altres factors ambientals. No obstant això, cal notar que el model només és útil si se centra l'atenció sobre un espai de temps relativament curt. En la seva forma completa, el model s'utilitza únicament per a fins d'exhibició, incloent-hi la simulació mitjançant computadores, ja que cap sistema ha estat estudiat de manera adequada per tenir una idea de totes les interaccions significatives, i molt menys de la importància d'aquestes a l'hora d'afectar la taxa de canvi del nombre d'individus. Quan la finalitat és l'aplicació, s'han proposat diferents tipus de simplificacions, que han tingut cert èxit. Un altre enfocament és una perspectiva estadística o «macroscòpica» d'un model molt complicat.

Si se suposa un estat estacionari, amb $dN_i/dt = 0$, i es divideix cada terme per N_i , cada equació diferencial condueix a un model de regressió múltiple, en el qual la densitat d'una espècie s'igualava a una combinació lineal de les densitats de les altres:

$$N_i = 1/b (aE - c N_j, d N_k \dots)$$

Es considera que això proporciona una justificació relativament tènue per a l'ús de regressions múltiples en l'estudi de comunitats, però en realitat no és gaire convincent, ja que els models de regressió resulten interessants i s'utilitzen de preferència precisament quan no hi ha un estat estacionari. Una altra simplificació condueix als models de Volterra ¹⁵ i Lotka ^{4,5}. Aquests models simplifiquen les expressions extraient dels ecosistemes parells d'espècies i limitant l'estudi de la interacció a les dues espècies de cada parell. Es pot tractar d'un sistema depredador/presa o bé de dues espècies que competeixen pel mateix recurs. Aquest últim cas equival a un sistema amb tres espècies (o amb tres compartiments, en un sentit més ampli), les dues espècies que competeixen, i el recurs comú pel qual competeixen. L'èxit que han tingut aquests models simplificats es deu, en part, al fet que no es disposava de cap model millor; però no cal ser excessivament cínic ja que en aquests models trobem certa utilitat. De fet, es poden aplicar a ecosistemes simplificats, com els que s'utilitzen en els experiments de laboratori, i poden ser útils així mateix en situacions reals, si se suposa que les espècies o compartiments conceptuals no són espècies sinó grups d'espècies, com quan es parla d'herba i herbívors, de peixos i pescadors, etc. Naturalment, l'home es pot incloure en aquest enfocament. La majoria de models utilitzats en ciència pesquera es basen en les equacions de Volterra, i impliquen una interacció entre poblacions de peixos i poblacions d'homes. Per descomptat, l'home és un factor important en el control de les poblacions de peixos i, en conseqüència, a l'hora de donar forma a les poblacions de peixos per a la seva ulterior explotació. Les equacions recíproques, que suposen que l'home és regulat per les poblacions de peixos, mai no s'escriuen ni es discuteixen; probablement perquè els biòlegs pesquers creuen que no tindrien sentit. I, no obstant això, en tenen. En qualsevol model d'interacció entre poblacions de peixos i poblacions humanes

és possible considerar una subpoblació d'homes constituïda pels pescadors, que representa tota la població humana en el model, i incloure un cost de pesca, i una mortalitat de pescadors, constituïda per les persones que es veuen obligades a abandonar la seva feina. A més, és possible desenvolupar un model que descriu el procés de regulació de la subpoblació de pescadors dins de la població humana més gran. Aquest model és particularment interessant perquè mostra una limitació en l'enfocament elemental de Volterra. Es demostra que llavors els pescadors són eliminats, però de fet no desapareixen, sinó que simplement canvien d'ofici; és a dir, els individus canvien d'un sistema d'equacions a un altre, en passar d'una subpoblació a una altra, el mateix pot ocórrer amb una espècie que canvia d'aliment o que es desplaça cap a un altre ambient, però que no resulta morta com a resultat d'un circuit de regulació local. La noció de circuit de regulació (*feedback*) és molt important i es pot entendre immediatament en un sistema constituït per dues espècies, un depredador (N_j) i una presa (N_i). Es pot escriure:

$$\frac{1}{N_i} \frac{dN_i}{dt} = a - bN_j, \quad \frac{1}{N_j} \frac{dN_j}{dt} = cN_i - d$$

Les dues expressions juntes, i d'una manera molt més real si se suposa un cert retard o demora de temps en les respostes, defineixen un circuit regulador negatiu o estabilitzador: Si N_j augmenta, N_i ha de disminuir; i això duu a una disminució de N_j , i així successivament. Un circuit regulador negatiu funciona com un oscil·lador; i arriba a un determinat tipus d'estabilitat del conjunt, però pot ser que les oscil·lacions no desapareguin per complet. Es pot suposar que qualsevol circuit regulador negatiu té un temps de relaxació associada.

Ara bé, qualsevol sistema, igual que pot ser analitzat en parells d'espècies interactuants, es pot descompondre en diversos circuits reguladors negatius. Es tracta, de fet, d'una xarxa de circuits, de manera que cada espècie pot formar part de més d'un circuit de regulació. Això estableix algunes limitacions: com ja va intuir Volterra, ha d'haver-hi alguna restricció en el nombre total d'elements i de circuits i, en un altre context, existeix un límit superior a la possible diversitat d'elements que interactuen.



.....

Els ecosistemes

que no canvien molt

en la seva composició

al llarg del temps

estan formats per un

gran nombre

d'espècies

.....



.....

**Les poblacions
humanes que romanen
en un estadi paleolític
(pigmeus, boiximans)
pertanyen a
ecosistemes bastant
complexos i d'una
baixa densitat de
població**

.....

El fet que els mateixos elements (espècies o concentracions de substàncies) formin part de diferents circuits reguladors significa més estabilitat per al conjunt del sistema. En un sistema format per molts elements, o per molts compartiments, lligats per una densa xarxa d'interaccions, el nombre d'individus de cada espècie, o el contingut de cada compartiment, no fluctua de manera tan violenta com en un sistema format, per exemple, per només un parell d'espècies. Les proves empíriques a favor d'això són aclaparadores, i molt importants en gestió i conservació. En general, els ecosistemes que no canvien molt en la seva composició al llarg del temps estan formats per un gran nombre d'espècies; però sempre es pot discutir fins a quin punt l'organització d'una comunitat rica en espècies ajuda a estabilitzar el canvi ambiental.

A partir de l'expressió general escrita al principi, en forma d'un polinomi, es pot deduir que suposant que els factors (paràmetres ambientals o densitat d'altres espècies) canvien a l'atzar i de manera independent, l'atenuació de les fluctuacions de les poblacions és molt més important si el nombre de variables independents és elevat. Aquesta és una altra manera de dir que els sistemes molt complexos tenen més possibilitats de romandre més semblats a si mateixos al llarg del temps.

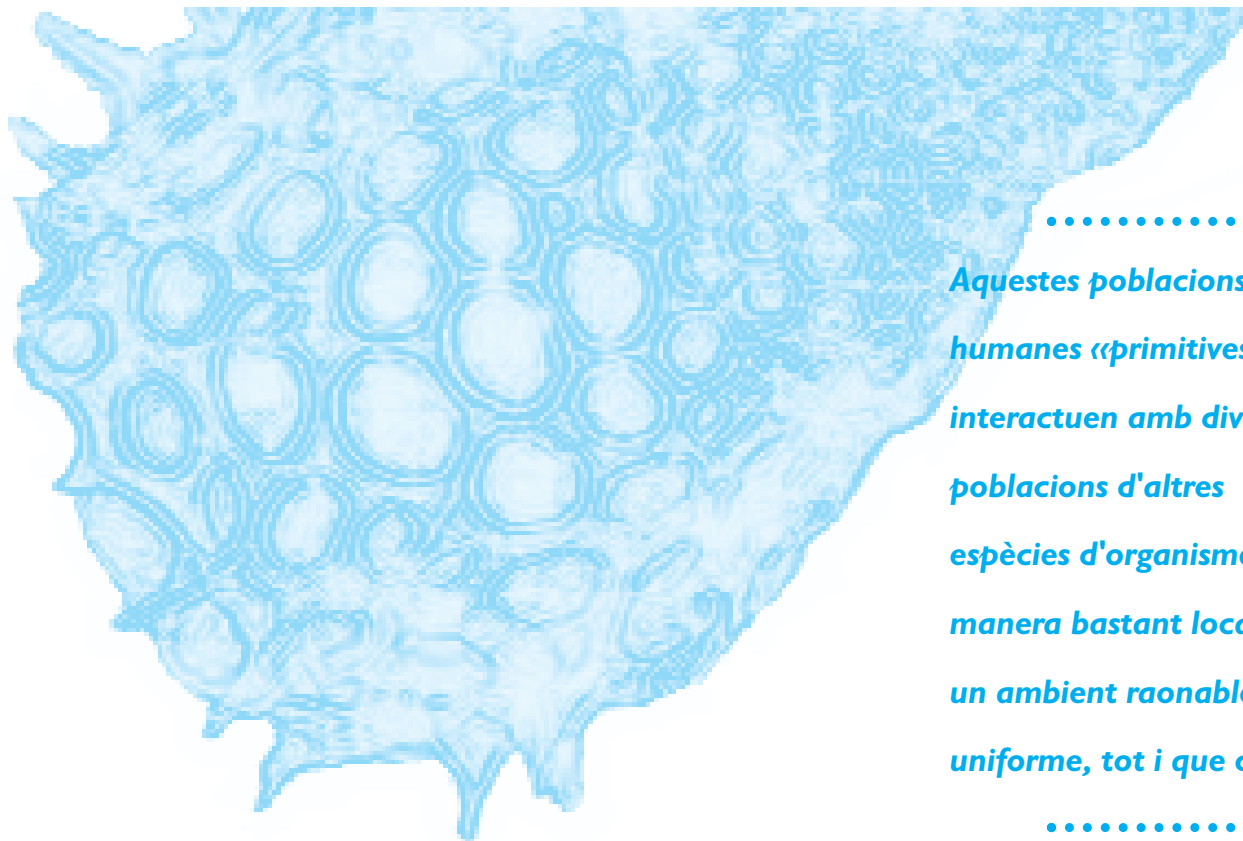
Una espècie arriba al millor nivell d'estabilitat en el nombre d'individus si desenvolupa molts llaços de dependència amb diferents recursos que no fluctuen simultàniament. És el mateix tipus d'optimització que practiquen els consorcis comercials o les indústries que es diversifiquen. Existeixen altres condicions addicionals per a la persistència i l'estabilitat que no poden donar-se en les fórmules descrites, especialment alguna referència a la grandària absoluta del sistema, i a les seves propietats topològiques. El sistema ha de ser prou gran per minimitzar els efectes estocàstics, i l'existència de refugis o de zones «santuari» per a les preses pot ajudar a evitar el col·lapse dels circuits a causa de l'extinció d'algunes espècies.

Un cas especial de composició de circuits reguladors és tenir dos circuits negatius situats un al costat de l'altre, en paral·lel, com quan dos depredadors exploten el mateix recurs, o quan un depredador s'alimenta de dues preses diferents. Els dos circuits reguladors negatius produeixen un circuit regulador positiu entre els dos elements que es troben al mateix nivell. El circuit regulador positiu és disruptiu i amb freqüèn-

cia condueix a l'eliminació d'un dels elements del parell. Aquesta és la manera més general de definir el procés de competència.

El que s'ha esbossat fins aquí és l'enfocament general de l'estudi de la interacció en ecologia. Potser caldria esforçar-se per aconseguir un model molt general, que probablement no es pugui fer que funcioni, però del qual es puguin derivar models simplificats que puguin ser explicatius i predictius en situacions definides. Els diferents grups humans, segons els llocs o les èpoques, poden ser descrits de millor manera per un model o un altre, de complexitat diferent, és a dir, models particulars diferents que siguin meres simplifications divergents d'una espècie de supermodel. És molt important reconèixer una certa jerarquia en els models, perquè la predicció en els sistemes complexos pot requerir més que la simple extrapolació d'un model que ara funciona. Suposa més aviat el reconeixement que aquest model pertany a una família més àmplia de models, i la predicció s'ha de formular en aquest últim context. El canvi d'un model a un altre ha de seguir certes regles de procediment que hem d'intentar formular. Els models més grans tenen molt sentit biològic però, de la manera com es plantejen freqüentment, solen ser inoperants. Els models utilitzables són en general models *ad hoc*, i és molt difícil extrapolar des d'ells cap als anteriors. En aquest camp es necessita molt més esforç matemàtic.

Aquest punt es pot fer molt més evident utilitzant un model molt simple: el creixement de la població en la humanitat. Gairebé tothom coneix els intents d'ajustar alguna expressió matemàtica a la corba que descriu l'augment temporal del nombre d'individus de la població humana. Existeix el convenciment que si es troba aquesta funció, això permetria extrapolar i predir; però per a un ecòleg és difícil comprendre com s'ha pogut originar aquesta creença. Efectivament, l'experiència demostra que és difícil ajustar una funció matemàtica simple. S'espera que sigui una funció asimptòtica, però sembla que el seu límit varia contínuament. Les corbes logístiques o exponencials són en el millor dels casos simples funcions d'interpolació (no d'extrapolació), i amb molta freqüència meres conjectures. Una millor predicció es podria basar en l'estudi de les condicions en el moment exacte en què s'intenta la predicció. En el cas de la població humana, una predicció a curt termini es podria basar en la morta-



.....

**Aquestes poblacions
humanes «primitives»
interactuen amb diverses
poblacions d'altres
espècies d'organismes, de
manera bastant local i en
un ambient raonablement
uniforme, tot i que dens**

.....

litat i en la fertilitat actuals, però insisteixo que això no duu fins més enllà que una predicció a curt termini, ja que els paràmetres que s'empren (mortalitat i fertilitat) estan canviant contínuament. Basant-se en això, resulta clar que el supermodel que necessitem ha de ser capaç de predir els canvis en la mortalitat i en la fertilitat a partir de diversos paràmetres importants, com ara la composició de la població, els canvis en els valors i en l'actitud cultural, la disponibilitat dels diferents recursos, etc. Només si es comprèn la naturalesa de les interaccions ecològiques es poden tractar paràmetres concrets, vàlids únicament per a períodes curts de temps, i es comprèn que en el moment present no es pugui quantificar un model molt general.

Partint de les premisses que s'han establert al principi d'aquesta secció, és possible desenvolupar diversos models. El més simple és l'indicat: el canvi de població s'igual a la combinació lineal de les interaccions entre moltes espècies (o factors ambientals) diferents. Aquest model suposa que les interaccions són proporcionals als productes de les densitats dels elements que interactuen i als circuits de regulació negatius, però no s'ocupa de problemes de topologia, espai i transport. No hi ha res

dolent en aquest model pel que fa a l'home, excepte probablement suposar que sigui vàlid per a les societats humanes modernes, encara que pot ser aplicable a les poblacions de primats i afins (fins i tot d'homes). De fet, aquest model es pot aplicar a qualsevol població composta per individus que no es desplacin massa i que mitjançant circuits de regulació negatius es vegi forçada a romandre en equilibri amb l'ambient o amb els recursos. Probablement s'hi hagi d'afegir una altra premissa, a causa del fet que l'home i els seus avantpassats simis s'alimentaven segons una dieta bastant diversificada i equilibrada, de manera que es necessita, o és convenient, un ambient relativament heterogeni o ric en estructura. Segurament un ambient d'aquest tipus també és pertinent per altres raons, ja que proporciona estímuls i senyals adequats per a una espècie amb possibilitats d'evolució cultural i biològica i que requereix un mínim de diversitat ambiental. En qualsevol cas, si aquestes poblacions depenen de recursos variats, la densitat de població és baixa i no sobrecarrega l'ambient. En realitat, el manteniment de la qualitat dels recursos, que pot ser essencial des del punt de vista de la nutrició, depèn molt de la preservació d'un ecosistema relativament complex. L'evolució bioquímica,

manifesta en la pèrdua de capacitat de síntesi de determinats compostos (vitamines) que són subministrats per l'ambient normal, lliga efectivament la supervivència de l'espècie a la preservació de l'ambient complex requerit. Aquesta és una regla evident en la biologia dels ecosistemes.

Les poblacions humanes que romanen en un estadi paleolític (pigmeus, boiximans) pertanyen a ecosistemes bastant complexos i d'una baixa densitat de població (en els pigmeus al voltant de 0,5/km²). Aquesta xifra és del mateix ordre que la densitat de població dels antropoides de grandària corporal similar (la màxima densitat en poblacions de goril·la és de fins a 2,6 individus per km²). Sempre queda la pregunta de si aquests grups humans han estat foragitats d'un espectre ambiental més ampli per altres pobles; però la diferència existeix malgrat tot, ja que els eventuais invasors han canviat dràsticament el seu ambient. Els grups humans en una cultura paleolítica han desenvolupat una relació equilibrada amb l'ambient, en el sentit que les seves poblacions viuen indefinidament en un estat gairebé estacionari (no hi ha explosió demogràfica) en un ambient no degradat. Estan ben alimentats, depenen d'un espectre de recursos variat i han desenvolupat mètodes per mantenir la població sota control mitjançant



La teoria ecològica i la predicció en l'estudi de la interacció entre l'home i la resta de la biosfera
Ramon Margalef

un model molt elaborat de comportament i rituals, exactament igual que procura fer l'home «civilitzat», tot i que encara no s'ha vist forçat a intentar-ho seriosament. Per descomptat que la vida a l'estil paleolític no és certament desitjable, fins i tot per als més entusiastes adeptes a qualsevol moviment de «retorn a la naturalesa».

Aquestes poblacions humanes «primitives» interactuen amb diverses poblacions d'altres espècies d'organismes, de manera bastant local i en un ambient raonablement uniforme, tot i que dens. La major part de l'energia utilitzada per l'home en aquest cas és energia tròfica, en forma de menjar, i l'energia corresponent a un metabolisme extern o cultural, la d'encendre foc o fabricar alguns estris, és una quantitat relativament reduïda. No existeixen complicacions indegudes que evitin l'aplicació a l'home del model esbossat al principi d'aquesta secció. Les interaccions positives i negatives s'anul·len mútuament i la població es troba en un estat estacionari. En aquest cas, l'estat estacionari implica així mateix una distribució d'edats estable. La corba de supervivència ha restat inalterada durant molt temps i, en conseqüència, els vells, que no són molt nombrosos, tenen valor com a font d'experiència i com a agents de cohesió social. D'una manera més quantitativa, la relació durada mitjana de la vida/temps de generació es manté per sota de la unitat.

Des d'un punt de vista més estrictament ecològic han de destacar-se dos fets: la importància menyspreable del metabolisme extern o cultural i la reduïda dimensió en què es tanquen els cicles de matèria en els quals l'home es troba implicat. El retorn a l'ambient de les deixalles i la seva mineralització i reciclatge tenen lloc no lluny de la zona on part de la producció dels ecosistemes entra en el «compartiment» humà. En conseqüència, no hi ha problema de contaminació.

La prevenció de la regulació local. Interacció estesa per tot l'espai. El significat del metabolisme extern o cultural

Totes les preocupacions d'avui dia van aparèixer quan l'home va començar a jugar amb massa entusiasme amb els seus estris i va assajar nous sistemes de vida. En la història humana l'acció té lloc quan l'home va passar de la regulació local a la regulació global. Ara ens trobem en els últims estadis d'aquest procés, l'interessant procés d'una espècie que aconsegueix el

control sobre molts ecosistemes combinats, desenvolupant per fer-ho un mecanisme que és més cultural que genètic.

Però el procés no es pot enquadrar en el model simple discutit unes pàgines enrere. Es necessita un model millorat. Aquest nou model ha de resultar adequat a l'hora de visualitzar la interacció entre l'home i la resta de la naturalesa, i fins i tot pot proporcionar certes possibilitats de predicció. Tot i en el cas que la prova no fos satisfactòria, es creu que el nou model podria proporcionar algun discerniment important i que pot ser útil com una millora a l'hora de pensar, fins i tot quan es tracti de poblacions no humanes. Per això resulta clar que no proposo un nou model especialment dissenyat per acomodar a l'home, sinó simplement una millora de la manera usual de formular les interaccions. Sense un model raonable, la simulació i la predicció són impossibles.

Les equacions diferencials utilitzades proporcionen taxes de canvi com a resultat del diferent tipus d'interaccions, la intensitat de les quals està relacionada amb la probabilitat de trobada entre els individus de les espècies que interactuen o entre les molècules dels compostos que interactuen. I se suposa que les probabilitats de trobada depenen d'una manera molt simple de la densitat de les poblacions implicades. A partir de les expressions, tal com s'usen, s'ha de suposar que les densitats i les probabilitats d'interacció es distribueixen de manera uniforme sobre un determinat segment de l'espai. Es tracta d'un volum petit i tancat o bé es pot suposar una regió arbitrària en un espai indefinit? La qüestió és realment seriosa, perquè els elements d'un ecosistema difereixen en grandària, localització i mobilitat o control de l'espai, i és sorprenent que les equacions que intenten descriure la interacció en l'ecosistema hagin ignorat durant tant temps les restriccions topològiques. Pel que fa a l'home (i a moltes altres espècies) la pregunta principal es pot plantejar en unes poques paraules. Algunes espècies interactuen depenent de la seva densitat local i actual, com ara les plantes, però altres espècies no. Suposem una espècie formada per individus que es poden desplaçar molt: la població efectiva d'aquesta espècie que gravita o interactua en un punt determinat amb alguna altra espècie pot ser molt superior a la població real en aquest punt; no es necessita un augment de la densitat real per augmentar la interacció, els individus simplement arriben, interactuen i se'n van, i la velocitat de la reacció pot



.....

Els individus d'algunes espècies, com per exemple les aus migradores, les tonyines i l'home nòmada, es desplacen i exploten, de manera successiva, recursos concentrats en punts diferents i distants

.....

augmentar. En altres paraules, l'augment local de la interacció no depèn de la demografia, sinó de la mobilitat. Si hi ha aliment en un lloc, els consumidors es poden reunir allí i la interacció entre la presa i el depredador s'aparta ostensiblement de la suposició de densitats uniformes, o de la situació inicial en un espai reduït. Els individus d'algunes espècies, com per exemple les aus migradores, les tonyines i l'home nòmada, es desplacen i exploten, de manera successiva, recursos concentrats en punts diferents i distants. Aquests organismes escapen al circuit regulador d'estabilització local. Poden explotar un recurs local molt més enllà que si estiguessin permanentment lligats al mateix lloc. Devasten un punt i es desplacen al següent. Tot i que aquesta situació és típica de l'home en els estadis posteriors a l'aculturació neolítica, no és un cas aïllat en ecologia.

Una situació similar es troba en l'evolució del parasitisme. Un paràsit capaç d'explotar patrons diferents, pot matar-los tots o alguns d'ells; és la malaltia. Però si l'especialització condueix a llaços més estrets amb una espècie hostatjadora o bé el paràsit s'ha estès a totes les espècies disponibles, aleshores el circuit regulador negatiu funciona immediatament, ja que el paràsit s'enfronta a l'extinció si no controla a l'hostatjador. Aquest model s'aplica a l'home. L'home va començar a explotar recursos molt locals; quan van aparèixer el nomadisme i el transport l'home va adoptar una estratègia de frontera, i es va expandir com una malaltia; ara que el seu impacte és global, es veu obligat a tornar a l'estratègia del paràsit: entendre's amb el seu hostatjador. L'obtenció de models de la situació de transició, entre una interacció molt local i la interacció amb diversos subsistemes diferents, pot no ser fàcil, però està clar que si no se soluciona són inútils moltes altres exhibicions de refinament en les computadores. El problema s'ha d'afrontar directament. No es tracta tant de compondre diferents subsistemes sota el control d'una espècie, sinó de desenvolupar nous mètodes per comprendre la maquinària de l'ecosistema. En altres paraules, no es tracta de desenvolupar un conjunt de models diferents, sinó de dissenyar un model suficientment general perquè inclogui un ventall complet de submodels, que difereixin només en la importància més gran o més petita del problema de mobilitat i transport. A l'hora d'escriure equacions ja no és possible menysprear l'espai. L'espai existeix, i és important.

En aquesta etapa no es poden donar solucions formals, i només és possible suggerir alguns enfocaments. Potser les expressions es podrien escriure de nou com a derivades parcials del temps i de l'espai, i després, integrant en relació amb l'espai, tornar a alguna equació similar a les usals, excepte pel fet que la interacció no seria proporcional al producte de certes densitats no qualificades, sinó al producte d'integrals combinades de manera diferent segons l'espècie. L'important és que tot això requeriria un espectre complet d'equacions, segons el volum de l'ecosistema en què les equacions s'haguessin de modelar:

Les integrals esmentades representarien la probabilitat total d'interacció en un punt d'una població estesa per un espai més o menys ampli. Es podrien considerar com la suma dels productes de la massa dels individus mitjançant alguna funció de la distància a l'instant o lloc d'interacció. Segurament aquesta última funció decreixeria de manera exponencial, però no s'exclouen altres possibilitats. En les primeres etapes potser es podrien permetre algunes simplificacions, i una que apareix immediatament és utilitzar la densitat local d'una espècie elevada a una potència per expressar el seu impacte en el punt considerat. La potència a la qual caldria elevar la densitat seria més gran si els individus de l'espècie en qüestió fossin mòbils i poguessin arribar des d'una àrea més extensa. Ja s'ha suggerit en diverses ocasions la possibilitat d'elevar a una potència les densitats de les espècies per expressar la interacció, encara que per altres raons, en un context diferent i propiciada per un altre tipus de problemes.

L'expressió matemàtica adoptada és secundària a la idea fonamental, cosa que mostra que poc realistes són les expressions de Volterra i Lotka. En un sistema constituït per una presa i el seu depredador, el depredador pot destruir per complet la presa i sobreviure a partir d'altres recursos, en un altre lloc, i no obstant això pot ser capaç de continuar exercint pressió sobre les eventuals poblacions residuals de la presa en el primer lloc. Aquest mecanisme resulta també efectiu per contrarestar un augment excessiu de la diversitat específica. Pot ser que la diferent mobilitat de les espècies interactuants i l'heterogeneïtat de l'ambient siguin una condició necessària per a la persistència del sistema. Els científics han recorregut a fonts d'aliment suplementàries, refugis i forta heterogeneïtat espacial per muntar experiments de laboratori amb resultats realistes.^{2,3}

La capacitat de l'home neolític per sobreviure en gran nombre com a espècie, i de vegades també com una població formada per individus concrets, s'ha associat a la seva capacitat d'allunyar-se després d'una explotació local o destrucció dels recursos massa intensa. Però el mateix comportament es pot trobar en moltes espècies, en graus diversos. Les tonyines i altres grans animals marins es troben més o menys lligats als grans sistemes de corrents, i exploten de manera successiva poblacions d'organismes presa més restringides a girs o remolins locals i temporals situats en posició perifèrica al llarg dels girs principals.

Tornant ara a les formes usals d'expressió que s'han considerat inadequades, podem dir que equacions com aquestes no són excessivament dolentes, però existeix una necessitat de certes regles definides per ajustar-se a l'espai, i això és difícil, perquè les equacions fonamentals, per començar, ignoren l'espai.

Quan tot el conjunt d'equacions que pretenen descriure les interaccions en un ecosistema s'escriu en forma de matriu, qualsevol terme que representi la interacció entre dues espècies apareix per duplicat, una vegada en cadascuna de les equacions diferencials de les espècies implicades, en la forma:

$$\begin{aligned} dN_i/dt &= \dots + mN_i^k N_j^l \\ dN_j/dt &= \dots + nN_i^k N_j^k \end{aligned}$$

En general els dos termes simètrics seran de signe diferent, és a dir, el que és bo per a una espècie (el depredador es menja la presa) és dolent per a l'altra (la presa és menjada pel depredador).

Qualsevol «decisió» que es prengui com a resultat de la trobada (el depredador es menja la presa, per exemple) significa una transferència d'alguna cosa des d'un «compartiment» del model cap a un altre. En el procediment usual les equacions es refereixen al canvi de dimensions de les poblacions N_i , N_j , i després s'ajusten les interaccions mitjançant coeficients (i eventualment per mitjà d'exponents, com s'ha proposat fa unes pàgines), per significar, en el cas de l'espècie i la pèrdua d'individus deguda a la interacció amb l'espècie j , i en el cas de l'espècie j l'augment en el nombre d'individus a causa de la interacció amb l'espècie i . Evidentment, $nN_i^k N_j^k < mN_i^k N_j^l$; i només N_i i N_j són els mateixos a banda i banda. Solament part dels indi-



vidus morts a i són ingerits, solament part de la matèria ingerida és assimilada, i solament part de la matèria assimilada resulta en la producció de nova biomassa de l'espècie j . La relació $n N_j^I N_j^K / m N_j^K N_j$; mesura una de les diverses eficiències de la transferència que es poden computar, segons la definició que s'hagi triat.

La transferència es pot expressar en forma d'energia, i aquest procediment pot tenir algun avantatge, perquè permet distribuir l'energia total en diverses parts que tenen un significat definit. Però no necessitem anar tan lluny com per tornar a escriure tot el conjunt d'equacions en termes d'energia, perquè això requeriria supòsits addicionals i no és necessari per als propòsits d'aquest treball. És suficient dir, que en termes d'energia l'important és l'intercanvi total i no qualsevol equilibri eventual entre les entrades i les sortides. Fins i tot per a $dN/dt = 0$ hi haurà un intercanvi d'energia dF/dt . Podem escriure $dF/dt = M$, i M és el metabolisme (en el sentit més ampli) que permet el manteniment de la població i M/N o M/B és el metabolisme per unitat d'organització o de biomassa, respectivament.

L'energia que una població intercanvia és un concepte mal definit. És possible intentar l'enfocament del problema escrivint $M_1 + M_2 + M_3 + M_4 = M_{\text{tot}}$. M_1 serà l'energia invertida en creixement i reproducció, l'equivalent energètic de $n N_j^I N_j^K$ per a l'espècie j . M_2 serà l'energia usada en la «respiració», per mantenir l'activitat de la població j . M_3 es reserva per al «metabolisme extern o cultural», que es comentarà, i M_4 és alguna «pèrdua» inevitable associada amb les particularitats de l'espècie. Naturalment, quan els biòlegs parlen de metabolisme es refereixen a $M_1 + M_2$ i aquest es pot denominar metabolisme «biològic o intern».

En el decurs de l'evolució, com sembla probable, s'han reconegut algunes tendències en les relacions d'energia i biomassa, i en el metabolisme. Sempre és causa de controvèrsia parlar d'un avanç progressiu, i fins i tot de tendència progressiva, però una actitud crítica no ha de passar per alt totes les regularitats. Sembla que hi ha hagut una tendència cap a un augment de la relació M_2/M_1 ; és a dir, tot i tenir en compte el fet que els organismes majors tenen una taxa de consum d'oxigen més petita, els organismes en els nivells tròfics superiors, o d'organització superior, inverteixen menys energia a créixer i a reproduir-se, i relativament més energia a desplaçar-se.⁷ En altres paraules, la taxa de

renovació pot fer-se més lenta, com ocorre amb freqüència, mentre que l'energia utilitzada per mantenir l'animal actiu no disminueix. La mobilitat s'ha de pagar; i el preu està ben justificat quan la mobilitat és el millor actiu per a la supervivència. Una elevada relació M_2/M_1 s'associa amb una eficiència neta baixa, si l'eficiència es computa com a creixement + reproducció/aliment ingerit. És significatiu el fet que aquesta eficiència sigui del 0,1 % en l'home, però és també baixa en les formigues (del 2 al 2,6 %). Aquests valors poden comparar-se amb eficiències del 5 al 12 % en herbívors, i fins i tot del 12 al 35 % en carnívors.

Això prepara el terreny per a la discussió de M_3 , al qual m'he referit com a «metabolisme extern o cultural». L'home nòmada, naturalment, escapa als circuits de regulació local movent-se d'un lloc a un altre. Aquest moviment requereix energia extra. En els estadis següents de l'evolució cultural ja no és la gent, sinó els recursos, el que es desplaça d'un lloc a un altre, el que permet a les poblacions subsistir fora dels límits establerts per les equacions de Volterra si aquestes s'apliquessin a un espai reduït, per exemple a un poble, sense cap productor primari. Des del punt de vista de l'ecologia, de la persistència d'una població, l'energia que s'utilitza perquè «la muntanya vagi a Mahoma» (M_1) té el mateix significat que l'energia que s'utilitza perquè «Mahoma vagi a la muntanya» (M_2). Per descomptat, una vegada acceptat el concepte de metabolisme extern com una prolongació del metabolisme intern i amb el mateix significat ecològic, resulta clar que el metabolisme extern no es pot restringir únicament al transport, sinó que ha d'incloure així mateix l'energia utilitzada en el condicionament del clima i en qualsevol cosa que pugui augmentar la supervivència i el control ambiental. Tampoc aquest «metabolisme extern» és una peculiaritat de l'home, ja que podem descobrir-lo en les plantes i en els animals. L'evapotranspiració, la regulació tèrmica per mitjà de l'exposició al sol, les construccions que faciliten el transport, la disposició de magatzems d'aliments i el clima artificial en formigues i termes, impliquen el flux i la degradació de l'energia fora del propi cos, però amb determinats resultats definits de valor selectiu. El metabolisme cultural o extern es refereix a energia que flueix per fora del cos i per rutes que no són les biològiques ordinàries. Dirigir part de l'energia disponible en aquest sentit a promoure material, per exemple, propor-

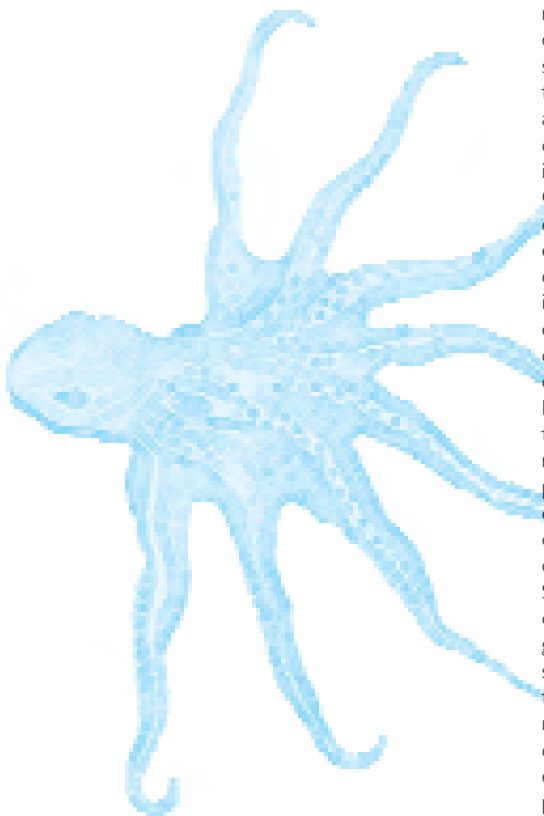
ciona tals avantatges que s'aparten els perills, la mortalitat es redueix i la taxa de renovació es fa més lenta. Invertir en transport sembla que és de vegades un millor negoci que invertir en descendència (les persones també tendeixen a preferir els automòbils als nens) perquè, encara que no hi hagi altres raons, una taxa de renovació més lenta, la possessió de la biomassa, sembla que és (o que és «seleccionada») com una finalitat en el conservadorisme de la vida. El metabolisme extern significa que s'agafa dels altres elements del sistema molta més energia, però que només s'aconsegueix un augment relativament reduït de biomassa organitzada. La major part de l'energia es pot considerar «perduda»; crec que aquest terme s'ha d'aplicar amb cura. Com que part de l'energia implicada en el metabolisme extern no passa per la ruta biològica, el conjunt d'equacions diferencials que descriuen l'ecosistema s'ha d'ampliar. El transport, la calefacció, depenen d'energia que procedeix dels ecosistemes actuals (fusta) o d'ecosistemes del passat (carbó, petroli). També s'ha de tenir en compte l'energia hidroelèctrica. La fusta es representarà mitjançant un terme $-m N_j^I N_j^K$ i (l'home és j) en l'equació diferencial corresponent a l'espècie i (un arbre); per a recursos no renovables (petroli, carbó) la taxa de canvi dN_i/dt serà sempre negativa, i amb un terme amb N_j^I . La potència I sempre serà naturalment bastant elevada.

Actualment, en l'home el metabolisme extern o cultural és molt més alt que el metabolisme intern o biològic. Un metabolisme biològic diari de 3.000 kcal equival aproximadament a 180 watts. El consum d'«energia externa» per càpita, segons els països, és d'entre 300 i 6.500 watts; als Estats Units va al voltant dels 10.000 watts (taula 2). En altres paraules, encara que alguns grups humans, i molts individus, s'espavilen amb un metabolisme extern molt reduït, en general la humanitat té ara un metabolisme extern que suposa d'una a 20 vegades el seu metabolisme intern o «veritable».

És molt important traçar un model per a això en qualsevol conjunt d'equacions que intentin representar la interacció en la biosfera. Sovint s'ha assenyalat¹⁶ que el problema de l'augment de la població s'incrementa per l'augment del consum d'energia per càpita, i que el que importa és el consum total d'energia. Resulta evident que el «metabolisme extern» està molt relacionat amb la capacitat de transport i de control. Existeix una bona correlació entre el producte

.....

**El consum d'energia
per càpita està
correlacionat
positivament amb la
densitat de població**



nacional brut, un mètode per calcular el metabolisme total, i els mitjans de transport: oleoductes, autopistes, vehicles, etc. Per als propòsits de la predicció probablement és vàlid mitjanar el metabolisme extern per a grups humans, encara que presenta una important variació dins d'un mateix grup.

El consum d'energia per càpita està correlacionat positivament amb la densitat de població. Les concentracions humanes (ciutats) usen més energia per càpita que les comunitats humanes menys denses (i menys influents i pròsperes). Hi ha doncs una certa raó per elevar a una potència la densitat local de la gent en les equacions diferencials que expressen les interaccions, com es va proposar abans, com un procediment de tempteig per millorar una mica la manera tradicional d'escriure les equacions. Si es comparen àrees d'extensió similar, és probable que les quantitats relatives d'energia que necessiten siguin proporcionals a una potència de les respectives densitats de població (a $N_j^{l'}$, sent $l' > 1$) abans que a N_j ($l' = 1$). Per descomptat, l' és diferent d'un lloc a un altre i ha sofert un ràpid increment al llarg del temps.

Cal fer una observació que pot ser d'interès en ecologia general: elevar a una potència els elements que intervenen en una interacció condueix a la distinció entre interaccions febles i interaccions fortes. Una espècie com l'home, el nombre de la qual s'ha d'elevar a una potència per expressar adequadament la seva influència sobre altres espècies, interacciona «fortament». Per descomptat, una espècie d'aquestes característiques ha de ser capaç d'explotar molts recursos separats, i de fet l'energia necessària per fer-ho procedeix de la seva interacció forta en llocs separats. Això és molt important des d'un altre punt de vista molt relacionat amb la conservació.

Si un ecosistema es modela mitjançant un conjunt d'equacions diferencials, escrites amb el terme general... $a_{ij}N_iN_j$..., no hi ha res que impedeixi suposar que el nombre d'espècies pot augmentar gairebé indefinidament, i que les seves interaccions arriben a una intensitat molt baixa, a causa del fet que la densitat de cada espècie és necessàriament baixa. Això pot facilitar l'especiació i probablement ocorre al llarg de la successió en ambients molt estables en augmentar moltíssim el nombre total esperat d'espècies, cosa que s'acompanya d'una atenuació de tots els canvis possibles. Massa interaccions i massa febles. Només si se suposen algunes inte-

raccions fortes s'estableix un límit a l'augment de diversitat.

En el conjunt d'equacions diferencials les interaccions fortes s'han d'introduir mitjançant algun artifici matemàtic. Potser el més simple, però sens dubte no el més apropiat, consisteix a elevar a una potència el nombre d'individus de les espècies que interactuen. Això significa un flux d'energia més elevat per a les espècies que interactuen fortament, energia que és utilitzada per desplaçar-se o en transport, com en l'home, amb la possibilitat de lliurar interaccions igualment fortes amb espècies diferents o recursos diferents. Aquest procés ha de frenar qualsevol tendència a l'augment del nombre d'espècies i pot originar l'extinció d'algunes. De fet, la interacció forta de l'home amb la resta de la naturalesa condueix sempre a una reducció de la diversitat biòtica de les comunitats.

**La necessitat d'un retorn, transport,
pèrdua de fertilitat i contaminació**

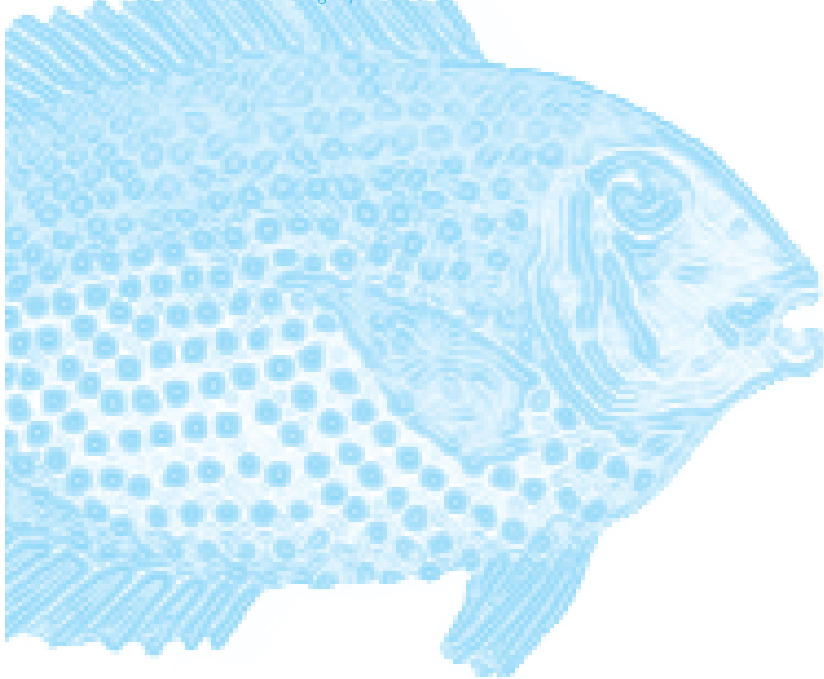
.....

Qualsevol conjunt d'equacions diferencials que es refereixin a les diferents espècies d'un ecosistema es pot complementar mitjançant equacions que expressin la taxa de canvi de nutrients seleccionats, de la matèria orgànica acumulada en l'ambient, i de gairebé qualsevol variable més o menys dependent de les activitats dels organismes. La taxa de canvi en la concentració de fosfat, per exemple, és proporcional a l'absorció per part d'algunes espècies, a la funció de la seva densitat, i també als processos de mineralització o retorn, que és una altra funció de l'activitat de les espècies.

Si s'escriuen tals equacions apareix la mateixa dificultat que sorgiria en el cas de les equacions relatives a les espècies. És necessari tenir una certa idea de l'espai on tenen lloc els esdeveniments. Si les equacions es refereixen a un volum molt petit i tancat, com un flascó de cultiu el contingut del qual s'agita, poden ser vàlides; però si es considera un volum gran s'ha de suposar que el sistema és perfectament uniforme, o bé que la difusió és suficientment ràpida per acceptar, en una primera aproximació, la llei d'acció de masses. En general cap d'aquestes dues hipòtesis és certa. Si, de mitjana, un element retorna a l'ambient al voltant d'un punt situat molt lluny del punt on és assimilat, la velocitat del transport des del primer lloc fins al segon limita la velocitat del cycle complet. Únicament



La teoria ecològica i la predicció en l'estudi de la interacció entre l'home i la resta de la biosfera
Ramon Margalef



La interacció forta de l'home amb la resta de la naturalesa condueix sempre a una reducció de la diversitat biòtica de les comunitats



sobre una regió molt restringida el problema desapareix en la pràctica a causa de la difusió física i la turbulència.

Per començar, examinem alguns exemples naturals de l'esmentat efecte de coll d'ampolla. En els llacs temperats hi ha un cicle de nutrients típic. Després de la barreja de l'aigua i de l'homogeneïtzació de la seva composició durant l'estació freda, el plàncton que es desenvolupa en les capes il·luminades condueix una part dels nutrients al cos dels organismes. Directament perquè s'enfonsa, o a través d'una organització vertical de les xarxes tròfiques en forma de relleus, aquest material és dut a aigües profundes, on es descompon. A finals d'estiu l'aigua profunda s'enriqueix en nutrients, en un moment en què les aigües superficials ja són molt pobres. La distància entre el centre de depleció i el centre d'excés és una mesura de la «grandària» del cicle biològic i de la facilitat amb què es pot fer que vagi més a poc a poc, en relació amb els mecanismes disponibles per al transport de retorn. Si el llac està tèrmicament estratificat, aquest transport de retorn serà molt reduït. Naturalment, aquest problema podrà aparèixer o no en els nostres sistemes d'equacions, segons el volum del sistema del qual estem fent el model. Com que tractem únicament amb

el fitoplàncton, es pot considerar que els nutrients procedeixen de «fora» del nostre marc de referència i hi van a parar, potser amb una periodicitat més o menys regular; però això és merament pretendre no veure el problema, i l'estudi dels organismes dispersos per tot el llac necessita una formulació millor. Tal formulació es pot referir a un espai no més gran que el volum del llac, ja que a l'hivern el llac es barreja una altra vegada i es materialitza la dependència de les aigües superficials i profundes. Serà necessari algun tipus d'anàlisi espectral o escalonada: primer capa per capa (si ho volem així), després el llac sencer.

Generalment els mars requeriran un model més complex, basat en una ulterior extensió de l'espai considerat. Alguns mars interiors o marginals, com el Mediterrani, es poden considerar més o menys com un llac; però en altres àrees oceàniques els nutrients que procedeixen d'una gran zona de producció es concentren en aigües profundes i després es desplacen cap amunt en regions molt localitzades. En altres paraules, una zona limitada d'aflorament es troba associada a una àmplia regió d'enfonsament lent. La fertilitat de les aigües costaneres en alguns països afortunats (Perú, Mauritània, etc.) procedeix d'una esterilitat relativa d'àrees oceàniques molt

més extenses (o es paga mitjançant aquesta). En el cas d'un llac, la barreja i el retorn tenen lloc en la mateixa columna vertical; en el cas d'un oceà no ocorre així, i pot haver-hi una gran distància horitzontal entre l'enfonsament dels nutrients i el seu retorn de nou a la llum. Una expressió completa del sistema requereix un espectre complet d'expressions, cadascuna referida a una grandària particular del sistema considerat. Un altre exemple, que es refereix als ecosistemes terrestres, és el transport fluvial dels nutrients, riu avall cap al mar; o des de les muntanyes fins a les valls, que ha de ser compensat d'alguna manera mitjançant l'erosió de les roques i el rentatge dels seus compostos, i que evidentment posa fre a la taxa de renovació de determinats ecosistemes terrestres incapaços d'un fort lligam dels nutrients en el cicle.

El transport en què intervé l'home té una importància especial. L'efecte en l'home sedentari i fins i tot en l'home nòmada és petit, potser comparable als efectes dels termes, etc.; el camí de retorn no és ni molt llarg ni molt lent. El problema és molt més important quan el transport dels recursos substitueix el moviment de la gent. L'home obté recursos d'una zona gran, els concentra, els consumeix o els mig consumeix i llança el material en vies de mine-

ralització en llocs molt reduïts. Això és la contaminació. La contaminació orgànica és en essència el coll d'ampolla creat per un sistema de retorn deficient o simplement fora de proporció. A més, en els sistemes terrestres l'home augmenta l'erosió i agafa amb les collites diversos nutrients especials que només en part es retornen en forma de fertilitzants. El fem solia ser complet; els fertilitzants químics són gairebé sempre incomplets; i la pràctica del guaret retornava només carboni i nitrogen i, a una velocitat molt lenta, elements procedents de l'alteració natural de les roques. Conrear, transportar el producte i consumir-lo en un altre lloc ha conduït a una tremenda pèrdua de fertilitat. Des del Creixent Fèrtil fins a Ibèria, el grau de ruïna de la terra ha estat una funció del temps durant el qual l'home l'ha explotat. Regions molt fèrtils han estat desertitzades després de mil·lennis d'explotació. L'explotació recent pot ser molt més ràpida quant a resultats, com ho testimonia l'Amèrica del Nord i l'Àfrica.

L'agricultura que portaven a terme grangers dispersos, principalment sobre una base de manteniment, que proporcionava un ampli retorn mitjançant l'ús de fem, no ha estat tan perjudicial per a la fertilitat de la terra com el conreu intensiu, amb una fertilització inadequada. De vegades la fertilització tenia lloc de manera natural a costa d'una altra terra, com en el cas d'un riu que aporta fertilitzant rentat d'altres seccions del terreny (Nil).

Quan els agricultors conreen per enviar les seves collites al mercat i perquè aquestes siguin consumides lluny, es produeix una situació irreversible. Aquesta situació es pot generalitzar, perquè qualsevol explotació intensiva que es desplaci d'una zona a una altra produeix un dany similar a la terra, i els propòsits poden ser diversos, com obtenir fusta per a la producció de ferro, o per construir vaixells, o bé utilitzar la terra per a pastura d'herbívors migradors. Aquestes formes d'explotació, a més de l'agricultura, han produït una erosió i desertització extenses en àrees que eren productives en l'antiguitat clàssica. Els privilegis exagerats que es concedien en l'Espanya del segle XV als criadors d'ovelles merines van contribuir a arruïnar la terra, i les cabres van fer la resta. S'ha dit que el beduí és no solament fill del desert, sinó també del seu pare. Totes les formes de transport, des del simple nomadisme fins al comerç refinat de l'actualitat, impliquen els problemes bessons de pèrdua de fertilitat i de contaminació. Bàsica-

ment, es tracta d'un problema de falta de vies de retorn. El problema s'agreuja gradualment a mesura que la distribució de la humanitat esdevé cada vegada més aglomerada en les grans àrees urbanes. Des del punt de vista de l'ecologia general convé recordar que el transport és un factor molt important en l'organització i el desenvolupament dels ecosistemes. Un estat estacionari requereix que a través de qualsevol frontera l'intercanvi de matèria estigui equilibrat. En general, la matèria té més energia associada quan va en una direcció que quan va en la contrària. Prenem com a exemple una frontera ideal traçada entre un plàncton i un bentos. Gran quantitat d'organismes s'instal·len procedents del plàncton i són utilitzats com a aliment pel bentos. En el fons, s'alliberen nutrients o mineralitzen, i tornen a les aigües lliures a través de la barreja. Ja tenim la ruta, però es pot dir que el bentos explota el plàncton i que la frontera entre ambdues comunitats és asimètrica pel que fa a la manera com la matèria viatja en les dues direccions oposades. En el cas d'un escull de coral, la matèria està lligada molt més fortament al bentos, i la via de retorn és molt més difícil. De fet, l'energia del sol arriba al nivell de l'escull i la major part de la matèria es recicla entre els pòlips de coral i les zooxantel·les.

Els assumptes de l'home no s'allunyen massa d'aquest esquema. Els sistemes urbans es poden considerar explotadors davant dels sistemes rurals. No només la matèria duu més energia quan es dirigeix cap a les ciutats que quan es mou en sentit contrari, sinó que amb freqüència el retorn falla, amb els perills subsegüents de contaminació i de retard del cicle i pèrdua de fertilitat. Els problemes que es creen d'aquesta manera se solucionen temporalment important aliments d'un altre lloc i abocant cada vegada més residus. A mesura que augmenta la grandària de les ciutats la solució del problema del retorn es fa cada vegada més difícil. L'única manera d'alliberar-se de la putrefacció o de tornar-se paràsit és millorar l'eficiència del sistema de transport controlat per la ciutat. Però aquesta és una solució temporal, una estratègia de frontera i, a mesura que el sistema creix, consumeix més energia. De fet, com s'ha assenyalat, el consum d'energia per càpita en les poblacions humanes és proporcional a la densitat de població o a una potència d'aquesta. L'excés d'energia usada paga pel transport, i es pot mantenir perquè proporciona el control sobre els sistemes perifèrics, que es poden considerar explotats.



•••••

El transport és un factor molt important en l'organització i el desenvolupament dels ecosistemes

•••••



La teoria ecològica i la predicció en l'estudi de la interacció entre l'home i la resta de la biosfera
Ramon Margalef

A hores d'ara espero que el lector estigui convençut que l'expressió usual d'interacció en l'ecosistema mitjançant equacions diferencials i termes lineals no té en consideració diversos factors importants. Per millorar les equacions, les densitats dels organismes que reaccionen s'han d'eleva a una potència 0, millor, s'han de substituir per alguna integral. Això representa sistemes de regulació que no estan tan esmorteïts com de l'altra manera; un resultat important és la reducció de la diversitat i, com sigui que la interacció forta per a una espècie determinada està lligada a la seva elevada capacitat de transport, una condició per al manteniment indefinit del sistema és algun mecanisme de retorn per als elements químics, ja que el flux d'energia només es pot mantenir si el cicle de la matèria és gairebé tancat.

Tot això té una importància fonamental per a les situacions humanes, però es pot aplicar així mateix a molts ecosistemes naturals, sense l'home.

aconseguir una espècie de demostració matemàtica, analitzant pas a pas els canvis en la forma de les corbes de supervivència de la població afectada per l'explotació. Si, més endavant, l'explotació cessa, l'excés de producció no retirat s'inverteix en biomassa, i la relació producció primària/biomassa total disminueix; s'observen canvis en la composició específica, en general en el sentit d'un augment del nombre d'espècies. Aquest és el model més general de la successió secundària. El fet bàsic que cal tenir en compte en totes les especulacions sobre la conservació, els seus límits i la seva conveniència, és l'oposició entre explotació i successió, manifesta en les oposades tendències de canvi induïdes alternativament pels dos processos, i especialment manifesta en la relació producció/biomassa i en la diversitat específica. L'explotació fa retrocedir l'ecosistema (regressió), i la successió només és possible si se suprimeix el llast de l'explotació.

L'expansió de la població humana des del neolític ha estat un exemple de canvi que preserva cert tipus d'equilibri, ja que no ha estat catastròfic. Vegem de quina manera una espècie explotadora pot introduir-se en un sistema i expandir-se. En general es tracta d'un procés lent. Resulta evident que una espècie que explota ous d'aus, per exemple (i n'hi ha moltes), ha d'administrar l'espècie explotada, agafant solament el nombre d'ous que es poden substituir mitjançant els mecanismes integrats en el comportament reproductor de l'au i els recursos alimentaris que aquesta té a la seva disposició, però no més. És clar que l'espècie d'au es pot adaptar a sostenir una explotació d'aquest tipus, i llavors les regles del joc entre les espècies explotades tendeixen a afavorir les més prolífiques. Incidentalment, es pot assenyalar que aquesta idea d'explotació i d'explotabilitat ha influït notablement en el concepte d'eficàcia (*fitness*), perquè els genètics consideren que les *Drosophila* de les seves ampolles són un recurs explotable.

Els poblats neolítics, basats en pràctiques agrícoles, es troben en climes temperats en zones cobertes per vegetació bastant baixa. D'això pot derivar-se una afirmació molt important: l'home va començar a explotar ecosistemes que estaven preadaptats a sostenir l'explotació, que ja eren explotables. En aquest mateix sentit, s'ha d'entendre que l'explotació regular d'ous d'aus només es pot iniciar en aquelles espècies d'aus, els ous de les quals sempre es troben expo-

Explotació i successió, maneres d'incrementar el flux d'energia

La relació entre l'home i la resta de la naturalesa és de dependència i d'explotació, un simple circuit de regulació negatiu. En les cultures paleolítiques, l'home gravitava sobre els ecosistemes de manera local amb un *feedback* efectiu. Amb les cultures neolítics, l'home va desenvolupar algunes de les característiques de les espècies oportunistes i expansives, i va combinar l'explotació de sistemes dispersos sobre una gran zona, utilitzant el que es pot denominar «estratègia de frontera», cosa que ha permès que l'explotació no tingui fre, fins a arribar a nivells impossibles d'assolir en la naturalesa no humanitzada. Això proporciona un exemple de situacions extremes en l'explotació. El final d'aquesta tendència ha de ser l'explotació global, per part d'una humanitat unificada, d'una biosfera que s'haurà uniformitzat més en la seva composició i en la seva resposta en virtut de la pròpia influència de la humanitat. L'explotació té sempre els mateixos resultats. En el subsistema explotat la biomassa es redueix i la producció no es redueix tant, i de vegades fins i tot augmenta. El resultat net és una acceleració de la taxa de renovació. Una altra conseqüència és la reducció de la diversitat, molt més evident si l'explotació està subjecta a fluctuacions irregulars. N'hi ha proves, i fins i tot és fàcil

.....

La major part d'espècies que ara explota l'home ja estaven preadaptades per suportar l'explotació abans de la seva assimilació cultural

.....

sats a molts perills naturals, de manera que l'espècie ha adquirit o conservat la capacitat de completar una altra vegada la niuada delmada.

En els cingols de pastures i en la vegetació tipus sabana existeixen impediments ecològics al desenvolupament imposats per perllongades interrupcions de l'activitat vegetativa, degudes al fred o a la sequedat, o a altres riscos com l'acció del foc o dels herbívors. Si l'home agafa el lloc dels herbívors, o conrea el producte (llavors adaptades a un període de vida latent de la vegetació) d'una manera anticipada a les múltiples causes de destrucció, l'home pot ser mantingut, fins i tot en poblacions relativament denses, per un ecosistema que per altra banda no es troba molt modificat. Aquest és un tipus d'utilització dels recursos naturals que encara es practica àmpliament al mar; quan l'home explota les comunitats que produeixen en excés i que no estan adaptades a invertir in situ l'excés de producció, com ara els sistemes d'aflorament.

Sobre aquestes premisses, un augment de l'explotació condueix a un increment de la relació producció/biomassa, i a una simplificació de l'ecosistema, deguda a la bonificació que obtenen en la competència les espècies que són realment prolífiques, sempre en nombre reduït. En altres paraules, es desenvolupa una competència per la prolifícitat entre les diferents espècies que comparteixen el nivell explotat. En aquest sentit, es pot dir que la selecció de les varietats útils es va iniciar de manera inconscient, merament a través de l'explotació. Solament molt més tard la selecció es fa plenament conscient.

El nivell d'equilibri de l'ecosistema pot evolucionar cap a una capacitat de producció superior; però es troba amenaçat en diversos aspectes. Un dels quals és dur l'explotació més enllà del límit del rendiment total màxim: és el tipus de problema que ha portat a la consideració detinguda d'aquella dinàmica de les poblacions explotades que correspon a l'anomenada «teoria de la sobrepesca». La millor explotació és la que es troba en un punt intermedi entre la no-explotació i l'aniquilació completa, probablement al voltant del 50 % d'eficiència. Una explotació mantinguda requereix una certa previsió per al retorn dels nutrients. Des del moment en què l'home comença a moure recursos sobre llargues distàncies això es fa molt important, com s'ha comentat en seccions anteriors.

A l'home li resulta difícil arribar a un acord amb ecosistemes que no estaven preadaptats per suportar una explotació. D'antuvi, aquests sistemes solen mancar d'espècies capaces de fer passar gran quantitat d'energia a través seu, és a dir, espècies de renovació ràpida. Aquests ecosistemes en general immobilitzen els nutrients en l'interior d'estructures vives (bosc tropical, escull de coral) i els fan inassequibles per a les espècies competidores de taxa de renovació més ràpida. Si els nutrients estan fora dels organismes, com al sòl, els canvis en l'estructura del sistema poden netejar-los, amb la consegüent pèrdua de fertilitat. Això pot ocórrer fins i tot en els ecosistemes de climes temperats: els eucaliptus i les coníferes tendeixen efectivament a acidificar els sòls i a reduir la seva capacitat de retenció de nutrients.

Ens podem imaginar de quina manera va augmentar l'explotació en els ecosistemes primitivament explotats i es va estendre després a altres ecosistemes. Això va requerir un coneixement agrícola creixent i l'ocupació de nous tipus de plantes. Llaurar i conrear destrueix l'estructura i evita els organismes no desitjats: és semblant a la barreja en un llac. En el decurs d'aquestes pràctiques s'han seleccionat les formes adaptades als camps llaurats, i no només a les espècies a les quals havia dirigit l'atenció l'home. Aquesta selecció paral·lela ha estat significativa. S'ha reconegut que diverses plantes conreades van tenir el seu origen com a males herbes en els cultius primitius, i aquesta és una prova de la naturalesa inconscient del procés de selecció dels organismes que són valuosos per a l'explotació. La situació final i òptima haurà de ser la restricció del conreu a l'organisme millor ajustat, el monocultiu, com en un quemostat. De fet, l'última espècie que roman quan s'augmenta la producció és la que té la taxa d'augment més elevada.

En el cas dels animals, la selecció ha estat segurament més conscient des del començament, a causa del fet que l'escena era diferent. Només es desitja una espècie, i si els exemplars que creixen més ràpidament fossin apartats, i els que creixen lentament preservats per a la seva reproducció, la selecció aniria en el sentit erroni. No obstant això, és probable que aquesta situació inconvenient es desenvolupés amb les ostres i altres organismes conreats.

Podem suposar sense risc que la major part d'espècies que ara explota l'home ja estaven preadaptades per suportar l'explotació abans de la seva assimilació cultural. Eren comunes en

zones on els hiverns freds, els estius secs, el foc i potser els herbívors (bisons) mantenien l'herba en creixement, i el sòl conservava la seva capacitat d'emmagatzematge. Falten espècies apropiades per constituir ecosistemes explotables en moltes regions de clima molt estable i on les condicions poden ser ecològicament favorables. Els cingols de selves pluvials no estan preadaptats per suportar el mateix tipus d'explotació que les prades herboses, i de fet les poblacions humanes que mantenen es troben en un règim molt diferent. L'ús de la terra en els climes càlids i estables planteja problemes importants. Naturalment, existeixen cultius valuosos, basats en plantes que van tenir el seu origen com a males herbes en àrees pertorbades i en condicions marginals, i potser es podrien trobar noves espècies si es busqués atentament en aquests llocs. És significatiu el fet que els cultius tropicals de certa importància procedeixen d'ambients fluctuants, com ara muntanyes (Amèrica del Sud) o planes temporalment inundades (arròs). No obstant això, ha existit una tendència a conrear espècies seleccionades en altres llocs, amb freqüència fora dels cingols tropicals, i un problema molt greu és mantenir la fertilitat del sòl. Els ecosistemes tropicals van desenvolupar una mena d'organització en què els nutrients es retenen més en el cos dels organismes que fora, en el sòl, i això constitueix una greu dificultat per a l'explotació contínua. El retorn dels nutrients, si es realitza, presenta problemes a causa del fet que han de ser restituïts en una forma que sigui assimilable pel sistema. S'ha dit que caldria dedicar més esforç al desenvolupament d'altres cultius als tròpics, i també considerar la possible explotació de poblacions locals de grans herbívors. S'ha suggerit que diverses espècies d'antílops es podrien explotar per a l'obtenció de carn. El problema principal és augmentar la taxa de renovació d'aquestes poblacions. Les espècies, la consideració de les quals sembla més interessant, són les que evolucionen sota una forta pressió de depredació, és a dir, les que constitueixen les preses favorites dels carnívors. I són poques. Sembla impossible conciliar aquesta explotació de la cam amb el desig més o menys explícit de preservar un gran nombre d'espècies de caça major. Segons Slobodkin,¹² un depredador prudent és aquell que captura la seva presa just en el moment en què aquesta està a punt de caure morta irremediament. L'home, naturalment, no pot ser un depredador prudent. Potser



La teoria ecològica i la predicció en l'estudi de la interacció entre l'home i la resta de la biosfera
Ramon Margalef

perquè en la interacció entre una presa i l'anomenat «depredador prudent» el control passa a l'espècie presa.

En l'expansió de l'explotació de les terres, la intensitat de l'explotació s'ha distribuït de manera igual. L'explotació ha estat més intensa on els ecosistemes ja eren més productius, com en les planes d'inundació; el problema del retorn era més fàcil allí perquè els nutrients els aportaven els rius des d'altres àrees. L'explotació ha estat més suau en les àrees més agrestes, cap a les muntanyes, si n'hi ha. Aquest és un dels principals factors en la determinació del model en forma de mosaic del paisatge tradicional europeu. Per aquesta raó, la conca de recepció és una unitat natural, com recentment han fet palès els ecòlegs.^{14,9} En l'actualitat ha augmentat la pressió per a una explotació més intensa, i superfícies que prèviament en part se n'havien lliurat, ara es troben en perill. Cal assenyalar que no es tracta tant de la necessitat de més terra de conreu, sinó de terra per a altres usos, aquest fet és el responsable d'aquesta situació, almenys a Europa. En qualsevol cas, el model diversificat resulta cada vegada menys reconeixedor i la terra es fa més uniforme. L'erosió augmenta. L'home ha anat estenent les àrees explotades i intensificant l'explotació, prenent cada vegada més de la resta de la naturalesa. Res no ens impedeix considerar aquest procés com una successió en què un ecosistema «natural» és pres per l'home, cosa que duu a un altre estadi, format per la naturalesa més l'home, que substitueix el sistema natural primitiu. Aquest canvi hauria de quadrar en qualsevol model coherent de successió. El canvi en la resta de la naturalesa (excepte l'home) induït per l'acció humana, sempre en el sentit contrari al d'una successió normal, és una regressió. Però el canvi en el sistema complet format per la resta de la naturalesa més l'home és una altra cosa, i pot correspondre a algun model generalitzat de successió. La successió es descriu millor en termes d'alguna funció que cal maximitzar o minimitzar. Aquesta funció, si es tria bé, resultarà valuosíssima a l'hora de predir el resultat de la competència, o la probabilitat d'un estat, o la substitució d'un tipus de sistema per un altre. Totes les proves empíriques assenyalen que al llarg de la successió la taxa de renovació decreix molt més que la respiració, si és que aquesta disminueix. Normalment he acceptat que un bon criteri en l'estudi de la successió era suposar una reducció en la quantitat d'energia que s'havia d'intercanviar per mantenir una unitat de biomassa en

l'ocupació de l'espai. Aquest principi pot ser acceptable perquè no és difícil trobar-hi connexions amb les «lleis» de la termodinàmica.

Pensant en un ecosistema humanitzat, resulta evident que aquest principi s'ha d'expressar d'una altra manera. No solament importa l'energia intercanviada en el metabolisme intern o biològic, sinó tota l'energia intercanviada, inclouent-hi l'energia utilitzada en el transport, l'escalfament, etc. A més, en lloc d'una simple biomassa, caldria incloure-hi una avaluació de la importància de l'home i dels seus artefactes, de fet, de tota la seva cultura, tot el sistema de relacions que fan que els esdeveniments siguin predictibles i que assegurin el control. Això no és tan peculiar de l'home com podria semblar: també en els ecosistemes «naturals», sense l'home, els esdeveniments futurs estan molt determinats per alguna cosa que no és veritable biomassa, com certes estructures no vives: troncs, pistes, caus, i tot tipus de comportament impregnat o transmès per la tradició. Això és l'equivalent dels estris, les ciutats, les autopistes, els llibres, etc., en l'home. Proposo utilitzar, com una funció que cal minimitzar, no la simple relació

$$\frac{\text{producció primària}}{\text{biomassa total}}$$

sinó la relació següent:

$$\frac{\text{consum total d'energia}}{\text{biomassa total més portadors d'informació.}}$$

A l'hora d'emprar-la pot ser convenient fer la mitjana d'aquesta relació per a un país i expressar-la per càpita. Aquesta expressió és més completa que la precedent, a la qual inclou com un cas particular quan ni el metabolisme extern, ni l'acumulació d'informació en estructures extracorporals són importants, com ocorre en la majoria d'organismes no humans. Si es demostra que la tendència indicada és consistent, això significa simplement que l'energia utilitzada pot augmentar i fins i tot desapropiar-se en aparença si permet acumular ràpidament artefactes que tenen influència en el modelatge del futur. Potser aquest punt de vista pot ser una mica inquietant. Significa, així mateix, que un exèrcit de robots podria aconseguir el poder si pogués

controlar les coses de manera més barata que l'home. Però el control implica certa capacitat de predicció, de creació científica. D'aquesta guisa derívem ràpidament cap a l'especulació. No es tracta únicament d'una qüestió formal quan cal fer una determinada predicció referent als canvis en els ecosistemes humanitzats o no humanitzats, especialment en la naturalesa del control que exerceixen els herbívors. Quin ecosistema és més madur o «avançat» (més probable en la successió): un constituït per la prada i el bisó (o per certes formes de sabana i les seves poblacions de grans herbívors), o bé un altre sistema amb vegetació més desenvolupada, com un determinat tipus de bosc, però amb menys vida animal? La transició és real en els marges dels ecosistemes regionals, a l'Amèrica del Nord, on la prada, amb el bisó, envaïa el bosc, i a l'Àfrica, on els animals de la sabana interfereixen així mateix amb la boga del bosc. En una dimensió gran i en un context lleugerament diferent, aquesta mateixa qüestió reapareix en discutir per què la relació biomassa dels productors primaris/biomassa dels animals és superior a la terra que al mar:

En resum, l'augment del consum d'energia, com un metabolisme extern o cultural, es pot explicar en termes de selecció natural ja que augmenta el control de l'home sobre els competidors. Aquesta energia extra és el cost de la independència dels circuits de regulació local: es gasta en condicionament climàtic, en transport, subministrament d'aigua, estris, llibres, coneixements pràctics, ciutats i aspectes perifèrics com publicitat, esplai i moltes activitats culturals. Aquest luxe està permès mentre l'home augmenta el control sobre el seu destí; però potser també a causa de la falta de competidors reals. Seguint les regles del joc vàlides fins avui, tot es podria incloure dins del mateix model mentre hi hagués ecosistemes oberts a ulteriors invasions per part de l'home i el subministrament d'energia que es pogués obtenir manqués pràcticament de límits. En assolir l'impacte de l'home una escala global, les regles del joc poden canviar; i la competència es desenvolupa sobre una altra base entre grups humans diferents.

Conseqüències socials i polítiques de l'ampliació del metabolisme total

L'augment de la població humana (l'explosió demogràfica) i el sorprenent creixement en el consum d'energia per càpita es combinen en un

greu problema al qual s'enfronta la humanitat i que ha originat les prediccions més ombrívols.

La tendència va començar en el trànsit de la cultura paleolítica a la neolítica, amb la primera explosió demogràfica basada en l'explotació agrícola, i es va reforçar en l'època de la revolució industrial, amb el ràpid increment de l'ús d'energia en el control de l'ambient i la segona explosió demogràfica.

La humanitat es comporta com una espècie, però cada espècie està formada per grups diferents que poden diferir en comportament, en estratègia ecològica, etc. En diversos mamífers la població es divideix en dues parts: posseïdors de territoris i un excés d'individus que duen una mena d'existència marginal¹. La seva estratègia ecològica pot ser diferent: els primers depenen més de l'estabilitat i el conservadorisme, podem dir que tendeixen a una estratègia de la K⁶; els individus d'existència marginal poden confiar en la proliferació i en les fluctuacions climàtiques per colonitzar nous espais que s'han obert; eventualment tendeixen a una estratègia de la r; si s'utilitza la mateixa nomenclatura. El que sembla clar és que la utilitat d'una determinada estratègia en la competència pot variar segons la qualitat de l'ambient, que estableix les regles del joc a què s'ajusta la competència. En el cas de l'home, els factors o els subjectes de competència són més complexos que en altres animals, a causa de la gran quantitat d'energia usada en el metabolisme cultural o extern. En altres paraules, les estratègies de la K i de la r es poden considerar associades en cada població o grup de manera particular, amb l'estratègia de la r lligada a la pressió demogràfica, i l'estratègia de la K, a l'ús d'energia extra per mantenir i augmentar el control de l'entorn.

Aquest és un tema ecològic general. És potencialment subversiu, i encara més perquè no ha estat explotat com a tal pels radicals de cap grup, i probablement no ho sigui, a causa del fet que ataca durament gairebé totes les ideologies corrents o perquè fa que qualsevol praxi sembli injusta, si no romanem tancats a consideracions ètiques.

Tot i que no és aconsellable aplicar taxes instantànies a períodes de temps extensos per a finalitats de predicció, es poden aplicar per a la descripció de fenòmens i el descobriment de tendències sobre la base d'un temps reduït. La presentació del problema bàsic es pot fer extremadament simple, encara que admet ampliacions ulteriors.

N és la densitat de la població i r és la taxa neta d'augment:

$$dN/dt = rN$$

M és el consum d'energia per càpita i f la taxa d'augment:

$$dM/dt = fM$$

(si F és l'energia tota intercanviada, $M = dF/dt$, and $dM/dt = d^2F/dt^2$).

La quantitat total d'energia utilitzada per una població serà NM, i el seu creixement al llarg del temps,

$$d(NM)/dt = (r + f)NM \quad (NM)_t = (NM)_0 e^{(r + f)t}$$

Aquesta expressió no procedeix de la dinàmica de poblacions, sinó que és una expressió que descriu una tendència instantània en l'ús total d'energia per una població canviant (r i f poden ser, per descomptat, positius o negatius; en el cas de l'home ambdós termes són positius). En altres paraules, l'augment en el consum d'energia depèn de l'augment d'una població, però també de l'augment del consum d'energia per càpita, que s'obté en estendre l'explotació a altres recursos. En una representació més completa de l'ecosistema, això conduiria a reforçar la interacció amb altres elements dispersos.

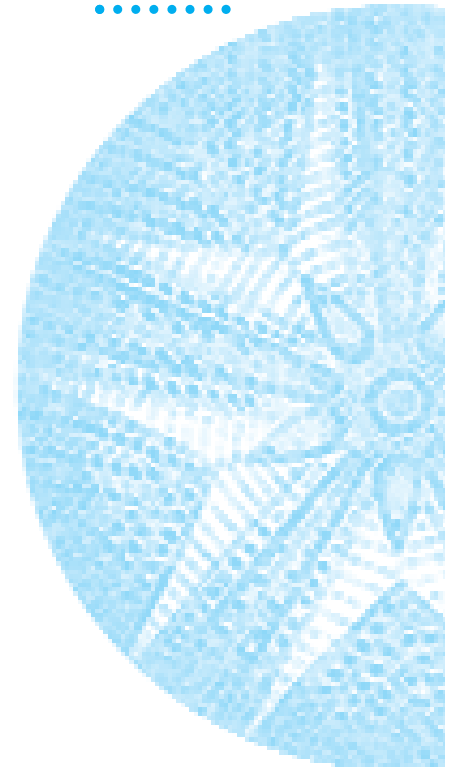
És instructiu considerar els valors de r i de f en diversos grups humans diferents. Els informes de diverses societats internacionals proporcionen molta informació que es pot usar en aquest context, encara que no sempre és molt exacta. En qualsevol cas, aquí solament es necessiten algunes xifres mitjanes i molt àmplies, merament com a exemples a fi de precisar el model. Dividir la humanitat en dos grups és una simplificació excessiva, però té cert sentit des del punt de vista de la discussió de les estratègies de la competència. Tot el món està augmentant el consum total d'energia, però alguns països inverteixen aquest augment en gent (això és estratègia de la r) i altres a obtenir més control sobre el món (i això és estratègia de la k). La primera estratègia és una estratègia de frontera, però en un món tancat l'estratègia de la k pot proporcionar més control.

Aquesta situació divergent està estretament relacionada amb un tema que ja s'ha comentat:

.....

Ni la població humana ni el consum d'energia són estacionaris, i és probable que la tendència actual continuï fins a una situació extrema

.....





la distribució de l'ús d'energia per càpita en dues partides, el metabolisme intern o biològic, i el metabolisme extern, de relació o cultural. Aquest tema mereix una consideració ulterior i acurada, i no només els valors mitjans del metabolisme intern o extern, sinó també les variàncies associades. Naturalment, el metabolisme extern o cultural pot tenir i té una variància superior a la del metabolisme intern o biològic. La diferència entre morir-se de fam i estar tip o estar sobrealimentat és un simple 1 a 2 o menys; els valors en el consum d'energia per càpita, per a altres usos, cobreixen una variació d'1 a 30 per a països, d'1 a 1.000 per a grans grups humans, i varia encara més si es consideren individus aïllats. La subsistència i la reproducció necessiten una quantitat d'energia molt petita i no gaire variable, i una població pot subsistir i augmentar utilitzant quantitats petites o quantitats grans d'energia. La gran diferència permissible en el metabolisme extern és un fonament de la desigualtat humana, i és un bon índex de la diferència entre països desenvolupats i països en desenvolupament, entre els que tenen i els que no tenen. L'energia del metabolisme extern augmenta la capacitat de transport, de control de l'ambient i de reunir en un punt els recursos produïts en una extensa regió; de fet, fa innecessari reproduir-se més de pressa, perquè el perill de morir periòdicament de fam és més petit. Això és poder; i el poder dels pobles està més lligat a la seva capacitat de transport, entesa en el sentit més ampli, que a cap altra cosa.

De tot això resulta clar que l'increment en el consum d'energia per càpita afecta el metabolisme extern o cultural, ja que l'intern roman més o menys fixat per les propietats biològiques de l'home. Molts pensadors accepten que l'origen (i el poder) de l'Estat estan lligats a l'existència d'un excés de producció que reforça el poder d'una minoria.

En un context més ecològic podem dir que la variació del metabolisme extern ha augmentat ràpidament per sobre de la variació del metabolisme intern; això va aparèixer com una «mutació» ecològica fa pocs milers d'anys i ha conduït a una jerarquització i una concentració del poder creixents, sigui quina sigui la filosofia que les societats humanes utilitzin amb fins d'ostentació. Aquest procés, potser irreversible, ha dut a la situació actual, que té molts aspectes indesitjables, encara que per descomptat no tots. Utilitzar com a boc expiatori la tradició judeocristiana o la societat de consum no té gaire

sentit i és només el resultat de la consciència creixent del fet que alguns aspectes del procés són èticament inacceptables. Es tracta d'un procés biològic del qual l'espècie humana com a tal, i ningú més, pot tenir alguna responsabilitat: constitueix la part integral d'un experiment únic de la vida.

Hi ha competència entre grups humans; la competència pot passar de l'individu al grup, però la clau del resultat és sempre el flux d'energia, o el flux d'energia mitjà del grup, i la part d'aquest flux subjecta a una variància superior; és a dir, el metabolisme extern. No serveix de res argumentar que no hi ha competència intraespècífica i que l'home es comporta com una espècie unida en interacció amb la resta de la naturalesa, i que la mobilitat i la capacitat de transport contribueixen a aquest comportament com una espècie única. Les proves estan a favor que la variació en el metabolisme extern és alta, i que la humanitat està dividida en grups que intercanvien menys entre ells que en l'interior seu. El metabolisme extern s'utilitza per obtenir prioritats sobre recursos que d'una altra manera estarien disponibles per a altres espècies o per a altres grups humans.

Encara que la taxa d'augment en l'ús total d'energia no és extremadament diversa entre els diferents grups que constitueixen la humanitat, la seva descomposició és bastant diferent (taula I). Els grups que ja són més poderosos augmenten ràpidament el seu ús d'energia (externa), i a això s'afegeix un augment de la població relativament reduït. Altres grups augmenten més ràpidament la població, però el consum d'energia per càpita augmenta lentament. Aquesta és una altra diferència entre els països desenvolupats i en desenvolupament que cal afegir a l'elevat metabolisme extern actual dels desenvolupats.

Representa un interessant experiment de competència i pot demostrar el que és l'eficàcia biològica, almenys en les poblacions humanes. Què és més conseqüent, un augment en el nombre d'individus o un increment de la capacitat de conduir energia i de conservar i estendre fins a un volum global la capacitat de control? En un món buit o en expansió la primera estratègia pot donar avantatge; en un de ple o que es contreu, potser pugui guanyar la segona estratègia.

És incòmode pensar qui ha de decidir la distribució de tota l'energia disponible, o si algú ha de fer-ho. Si el que s'ha de controlar són els naixements o bé l'ús i el malbaratament d'ener-

gia. Com a ecòleg, jo diria que certament ambdues coses i no menys que ambdues. Però un ha de ser més específic en el repartiment dels recursos. De poc serveix limitar l'aspecte demogràfic de l'impacte sobre l'ambient si l'altre aspecte, el que es refereix al metabolisme extern, creix fora de control.

Els ecòlegs insisteixen molt a recomanar una restricció en l'ús d'energia, és a dir, automoderació en els més opulents i al mateix temps destrucció de les barreres que encara separen la humanitat en grups operatius; a això es respon amb divagacions sobre l'augment de la corba demogràfica, i també sarcàsticament. Però s'ha de reconèixer la dificultat de posar en pràctica aquestes accions, i la raó principal és que l'home està assedegat de poder; i que l'ús de grans quantitats d'energia en el metabolisme extern permet no solament escapar dels circuits reguladors locals de l'ambient, sinó també desplaçar-se més, explotar i controlar directament nous ambients i, eventualment, altres grups humans. Amb molta freqüència, i en lloc d'afrontar francament els problemes, la gent busca tota mena de caps de turc, jugant sempre al mateix joc d'augmentar, o d'intentar augmentar el flux d'energia en el seu grup particular. Prediquem moderació als altres, però rarament la practiquem nosaltres mateixos. El fet que alguns grups tinguin més èxit que altres a l'hora d'obtenir el control no és cap consol moral per als menys afortunats, ja que tothom ho intenta amb la mateixa convicció farisaica.

Encara que fora de la línia general d'aquest capítol, cal afegir que els canvis demogràfics tenen més implicacions que el simple augment en el nombre d'individus i en la pressió demogràfica. La població humana no és estable ni estacionària, i les poblacions humanes estan experimentant un canvi progressiu en l'estructura demogràfica. Potser l'únic tret positiu d'aquest procés és que la humanitat s'està fent més uniforme quant a paràmetres demogràfics. Les distribucions per edats són en l'actualitat molt més semblants en l'interior d'un país o en països diferents que un segle enrere. El canvi principal i general ha estat una demora de la taxa de renovació. Ara la vida mitjana està arribant als setanta, però el temps mitjà de generació (d'ou a ou) continua sent el paràmetre més constant en les poblacions humanes (28 a 29 anys).

La relació entre durada mitjana de la vida i temps de generació és una bona expressió ecològica de la «bretxa generacional», i en un parell

de segles ha passat de menys d'un a dos i mig. Això pot ser més significatiu des del punt de vista de l'estabilitat social que des del de la productivitat, ja que avui una alta capacitat de producció requereix menys mà d'obra. Si els individus vells són pocs, poden servir d'elements d'integració social o de posseïdors d'experiència, i aquí es pot trobar l'explicació a la selecció de l'aparició i l'allargament d'un període postreproductiu en els primats superiors. Però avui dia som massa «goril·les de dors argentat» a la humanitat. I la fracció més vella de la població controla una porció relativament més gran del metabolisme extern del grup.

L'avenir. És realitzable i convenient la predicció: per què necessitem profetes (fins i tot profetes de la fi del món)

La construcció d'un model intel·lectual, que acostuma a poder-se escriure en forma matemàtica, té com a propòsit servir de marc al qual abocar informació, preferentment informació quantificada, i provar de quina manera el model descriu el funcionament de la naturalesa. La prova definitiva és la capacitat de predir. Els ecòlegs tenen una fe substancial en els mecanismes de regulació, entenent la regulació en un sentit molt ampli, que pot incloure la desaparició d'algun component del sistema que s'estudia. Alguns llibres de divulgació antics donaven el temps necessari perquè la Terra es recobris fins a un quilòmetre d'altura de parametis, o de mosques, si els animals poguessin multiplicar-se sense restriccions. El mateix tipus de ximberia duu a computar el temps necessari perquè totes les persones es trobin atapeïdament apinyades sobre la superfície de la Terra (per sort, en una sola capa). Com és natural, les coses es detindran molt abans, i el que es discuteix és el tipus de mecanisme ecològic responsable d'això, sempre desagradable. Aquest mecanisme no pot romandre ignorat o fora de control. Les diferents maneres d'efectuar una predicció s'han comentat abans. En una representació gràfica, es pot ajustar a ull una línia a una sèrie de punts i projectar-se després més enllà del present, confiant en la nostra intuïció matemàtica per reconèixer una funció adequada. Això no té gaire sentit, de totes maneres. O bé, un estudi més acurat de la funció en el present permet una predicció limitada al futur immediat. Això és millor; però potser no és suficient

Taula 1. Xifres mitjanes de les taxes d'augment del consum d'energia per càpita i del nombre d'habitants per a dos grups de països

	Països en desenvolupament (= pobres, explotats)	Països desenvolupats (= rics, explotadors)
Percentatge anual d'augment durant els últims anys, del consum total d'energia per càpita.	1,6 %	4 %
Taxa equivalent instantània d'augment del consum d'energia per càpita. [$f = (1/M) (dM/dt)$]	0,015	0,039
Taxa instantània d'augment de la població. [$r = (1/N) (dN/dt)$]	0,035	0,015
Taxa instantània d'augment de l'ús total d'energia durant els últims anys. ($f + r$)	0,050	0,054
Temps necessari (en anys) per duplicar el consum total d'energia a la present taxa d'augment. [$0,69 / (r + f)$]	13,8	12,0

Taula 2. Metabolisme total mitjà per individu en diferents grups humans

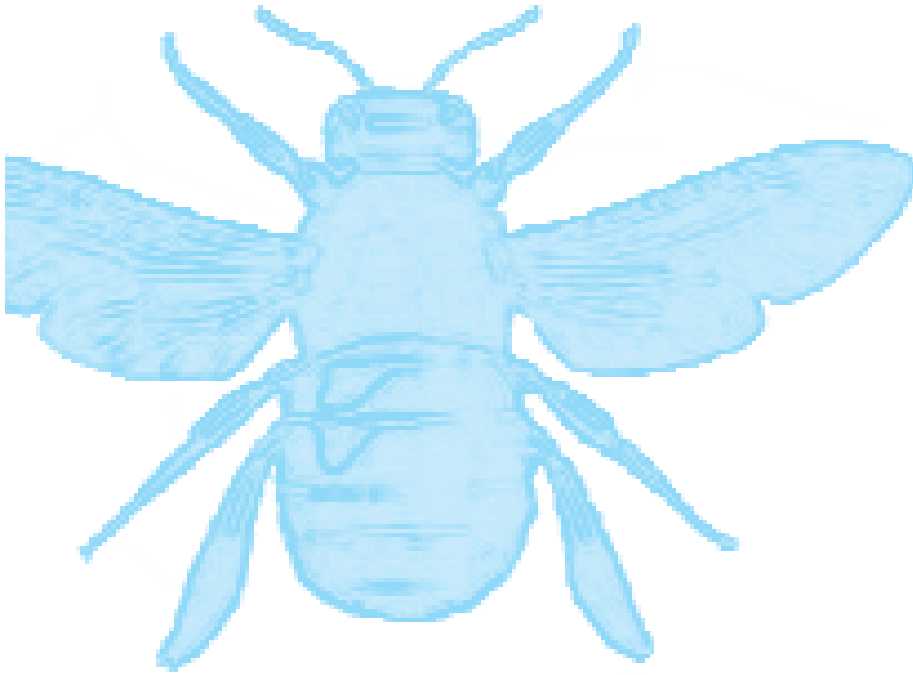
	Països en desenvolupament	Països desenvolupats
Metabolisme intern o biològic, poca variació; relació màxima 1:2 en kcal per dia en watts	2.150 100	3.060 150
Metabolisme extern o cultural, gran variació; relació màxima al voltant d'1:100 en watts	300	6.500 10.000 (Estats Units)

per a determinats fins. Una altra possibilitat és col·locar tota la situació en un model més gran que impliqui certa regularitat biològica, i treballar per aconseguir una predicció que tingui en compte totes les complicacions del model. En el cas dels ecosistemes s'ha de comptar amb determinats canvis en els coeficients d'interacció (almenys els deguts a l'evolució genètica), i l'única esperança és que aquests canvis compleixin així mateix determinades lleis fins a un cert grau. Amb probabilitats, la majoria d'ecòlegs estan d'acord que avui dia la humanitat es troba en el procés de desplaçar-se d'un nivell de *feedback* estabilitzador a un altre. L'home s'ha lliurat del circuit regulador local de la naturalesa. Després s'ha anat estenent, assistit per la seva capacitat de control, i sobre la base d'un elevat flux d'energia. Aquesta estratègia de frontera no pot durar; els seus dies estan comptats, i ens enfrontem a un altre *feedback* en el qual la humanitat com un tot interactua amb la Terra com un tot. No hem arribat a aquesta posició

extrema, però estem en camí de quedar solidàriament atrapats en un circuit regulador global. La revolució industrial ha avivat el pas en el trasllat d'un nivell de *feedback* a un altre. I en la carrera s'està desenvolupant un procés implacable de competència entre els homes i entre grups humans. Un aspecte important és que a mesura que ens acostem a la interacció global ens escapem del *feedback* local premonitori. L'activació dels mecanismes de regulació global pot arribar com una sorpresa i ser catastròfica per a nosaltres, en el sentit d'un enverinament de l'aigua i de l'aire, d'una erosió i pèrdua globals de la fertilitat de la terra, d'un canvi climàtic, d'una expansió de la població fins al nivell de crear una interacció social catastròfica (fins i tot si hi ha prou aliment), etc. Un bonic catàleg del qual escollir; i és comprensible que fer veure tot això comporti la qualificació de «profeta de la fi de món». Davant d'aquesta situació, la tasca de l'ecòleg com a profeta no és tant «predir», fins i tot si pretén fer-ho, sinó convertir-se en un òrgan



La teoria ecològica i la predicció en l'estudi de la interacció entre l'home i la resta de la biosfera
Ramon Margalef



.....

La població humana no és estable ni estacionària, i les poblacions humanes estan experimentant un canvi progressiu en l'estructura demogràfica

.....

de la societat per falsificar les seves pròpies prediccions. Si escrivim equacions que indiquin la interacció entre l'home i la resta de la naturalesa existeix una ubiqüitat de l'acció de l'home, i no hi ha termes que representin un fre, de manera que l'explotació i la interacció entre l'home i la resta de la naturalesa té només un límit final. Aquest límit pot tenir la forma d'un esdeveniment catastròfic únic, o bé de fluctuacions menys catastròfiques, tot i que conservant la mateixa naturalesa desagradable.

És desitjable posseir un sistema d'alarma que anticipi l'escac final. En els ecosistemes, el desenvolupament i la preservació dels ritmes tenen valor de supervivència, ja que els ritmes actuen com un mecanisme d'anticipació dels esdeveniments del futur; a causa dels ritmes, els organismes estan «preparats» per a un canvi i es lliuren de la destrucció excessiva. Jo diria que el desenvolupament d'una certa capacitat de predicció, mitjançant la ciència, és un mecanisme d'anticipació equivalent que pot tenir valor de supervivència per a la societat. Els ecòlegs i els «paraecòlegs» (= ecobojos) estan sensibilitzant la gent i augmentant la seva responsabilitat. Si s'escolta els profetes, si la gent se n'adona, les catàstrofes es poden evitar. L'ecologia pot fer aquesta tasca i falsificar, esperançadorament,

les seves pròpies prediccions. És millor que les prediccions resultin falses que tenir la dubtosa satisfacció de dir: «Ja us ho vam advertir». Això val, per descomptat, per a les prediccions més ombrívoles, referents als resultats de l'augment global del consum d'energia, és a dir, de l'augment de la població humana sumat a l'augment de l'ús d'energia per càpita.

La predicció pot ser més segura en zones més limitades, en el sentit que la gent no actuï de manera que venci les prediccions. Per desgràcia, l'impacte de l'home sobre la naturalesa augmentarà, anant en el sentit oposat al de la successió, en conseqüència, fraccions cada vegada majors de la biosfera derivaran cap a una maduresa cada vegada més petita. Els criteris de conservació amb un elevat nombre d'habitants no poden ser similars a la situació que existia quan només hi havia una població reduïda. Alguns projectes de conservació es podrien mantenir en països capaços d'importar recursos d'altres zones; no és casualitat que el conservacionisme domèstic fos una actitud important, almenys en alguns casos, en països que obtenien part dels seus recursos de les colònies.

Els ecosistemes molt madurs es degraden ràpidament quan són explotats, com ocorre amb els esculls de coral o els boscos tropicals. Aquests

són els sistemes més amenaçats. El simple trepig, o recol·lectar algun organisme (recol·lecció de conques en l'escull de coral) pot produir canvis importants.

Altres efectes, a més de l'explotació, inclouen la contaminació, la mera contaminació tal com s'ha descrit (un coll d'ampolla en el retorn de la matèria) més la contaminació química i radioactiva a nivells no directament perillosos. L'efecte general és la reducció de la diversitat dels ecosistemes. La contaminació radioactiva té una certa originalitat en el regne de la vida, però la química, com a fenomen ecològic, no ha estat inventada per l'home. Els organismes de la marea vermella maten altres organismes i suren a l'aigua amb materials dels competidors descompostos.

Una altra forma de contaminació és l'acumulació de matèria orgànica no reciclable, en plàstics i altres compostos. Però la naturalesa també acumula una gran quantitat de matèria orgànica no degradable. Segons Szalay,¹³ hi ha 8 vegades més carboni orgànic en forma de compostos «húmics» en el sòl i en l'aigua que carboni orgànic en el cos dels éssers vius. Des del punt de vista de l'ecologia global seria més important trobar una manera de reciclar els compostos naturals polifenòlics que metabolitzin els diferents tipus de molècules que l'home està

produint i acumulant en èpoques recents. Un mai no sap què podria ocórrer si s'aconseguís aquest reciclatge; potser la primera etapa seria una tremenda proliferació de fongs i bacteris. Els sistemes que han estat mantinguts menys madurs per l'explotació natural (plàncton, pasturats) ofereixen bones perspectives per a una explotació intensiva. El final natural de l'increment de l'explotació és el monocultiu, la composició d'una sola espècie en el nivell explotat, herbes, bestiar o productes marins. El desenvolupament d'espècies per a la piscicultura (que començarà probablement amb espècies dels sistemes d'aflorament) o per explotar els sistemes tropicals terrestres, mantindrà ocupades la tecnologia genètica i l'ecològica durant els anys esdevenidors. Probablement els diferents suggeriments que pretenen conciliar la conservació i l'explotació es demostraran en part com a opinions anheloses, excepte en els casos en què la mateixa naturalesa dels ecosistemes estableixi necessàriament algun tipus de relació. És difícil, per exemple, conrear el fitoplàncton, i més difícil fer que la gent se'l mengi, de manera que la collita ha de passar dels productors primaris a algun altre nivell tròfic, i tot el que l'enginyeria ecològica pot fer és augmentar l'activitat dels processos d'aflorament o altres processos fertilitzants a costa dels combustibles fòssils o de l'energia nuclear.

La producció primària total de la Terra en conjunt probablement augmentarà, però la biomassa es reduirà amb igual probabilitat, de manera que la taxa de renovació s'accelerarà. Es reduirà la diversitat, i la simplificació dels ecosistemes farà que moltes espècies se'n vagin per l'embornal. Aquestes són les prediccions més prudentes des del punt de vista de l'ecologia general. La possibilitat d'augmentar el rendiment i la taxa de renovació no va solament lligada a la disponibilitat d'espècies adequades, sinó també al desenvolupament de sistemes de retorn dels elements. Per aquesta raó, probablement tots els grans projectes futurs d'explotació han d'estar lligats a projectes per combatre la contaminació i per aconseguir un fàcil retorn dels nutrients. Els projectes de reg s'han d'associar a projectes de retorn de nutrients o de fertilització adequada, incloent-hi micronutrients. Els ecosistemes situats en regions que són estables des de fa molt temps, com els boscos tropicals, requereixen una bona dosi d'enginyeria ecològica, i potser mai no seran substituïts per ecosistemes que siguin explotables com s'es-

pera i es desitja. El compliment eventual d'aquestes prediccions de segon grau proporcionarà informació per a una formulació més precisa de la interacció més gran: la global. Un altre aspecte de la predicció es refereix a la relació entre grups humans. Si aquests es mantenen més o menys separats, i cadascun d'ells s'incorpora en un circuit separat al *feedback* amb la naturalesa, resulta evident que entre els grups humans continuarà i potser s'agreuja el mateix tipus de regulació paral·lel o disruptiu que existeix ara, és a dir, la competència. Això significa un determinat grau de control o explotació d'alguns grups per part d'altres, i pot tenir molts aspectes, entre els quals es compten l'intercanvi aparentment inofensiu de treballadors per turistes.

Una causa de conflicte més greu es relaciona amb la capacitat d'augmentar el flux total d'energia i amb la manera com aquest es distribuirà entre l'augment de població i l'augment d'ús d'energia per càpita. Com que l'ús d'energia no pot augmentar indefinidament, la gent serà conscient del circuit regulador en el moment en què el flux d'energia per càpita no es pugui augmentar més. Sembla que la gent només sent la necessitat de controlar els naixements quan ha arribat a la prosperitat material, i aquesta necessitat se sentirà molt abans en els grups que tenen la taxa d'augment del metabolisme extern o cultural més elevada.

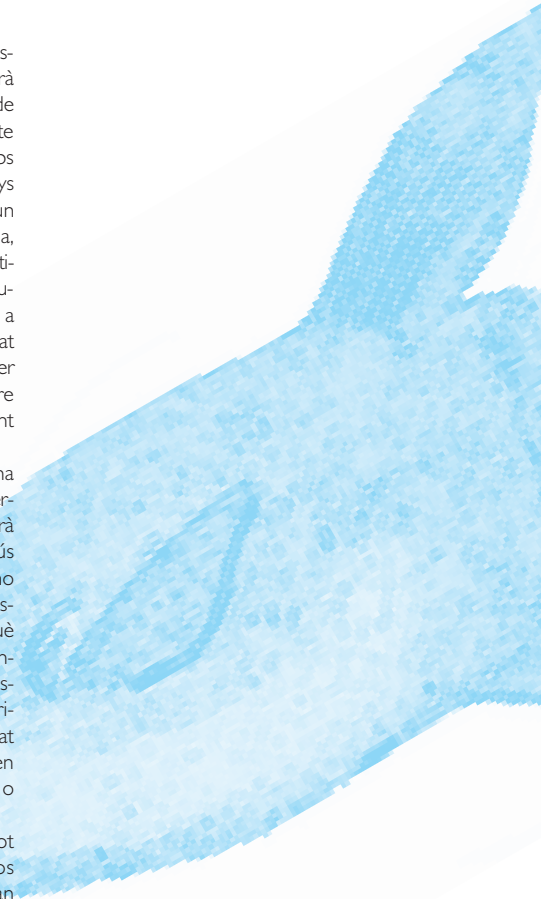
Aquest comportament, perfectament lògic, pot conduir a conflictes en potència. Els països més desenvolupats, amb una taxa més gran de consum energètic, competeixen efectivament amb els països en desenvolupament, i els controlen. El fet que els recursos són finits s'usa com a argument per induir l'autocontrol de la població en els països en desenvolupament, als quals s'intenta convèncer que no és possible escoltar missa i caminar en la processó, etc. Tot això és molt humà, i potser lògic, però des del punt de vista de l'ecologia general, un regateig entre poblacions que utilitzen (inconscientment) estratègies ecològiques diferents és com un diàleg de sords.

Quant a la relació

consum total d'energia

biomassa total més portadors d'informació

si la seva disminució resulta tenir valor predictiu, s'ha de suposar que els grups que es permeten produir brossa o artefactes culturals sense



**La fracció més
vella de la població
controla una porció
relativament més
gran del metabolisme
extern del grup**

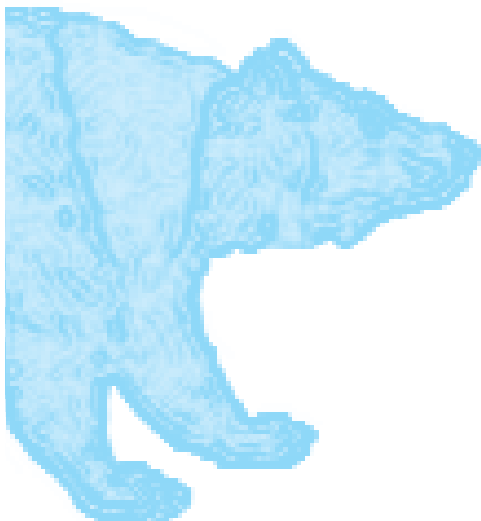




.....

La tasca de l'ecòleg com a profeta no és tant «predir», fins i tot si pretén fer-ho, sinó convertir-se en un òrgan de la societat per falsificar les seves pròpies prediccions

.....



importància, solament poden ser aquells que ja tenen mitjans de control importants sobre l'ambient terrestre sencer.

Altres maneres de comprendre l'organització i les seves implicacions en termes geogràfic

.....

Sempre he contemplat amb una certa desconfiança aquells intents d'estudiar els sistemes que suposen un gran nombre d'equacions diferencials, cadascuna de les quals té molts termes additius i lineals. Es poden adaptar a situacions concretes perquè es pot establir un nombre molt elevat de constants, i per aquesta raó es poden considerar més com a funcions d'interpolació que com a models reals amb valor predictiu. Algunes millores se suggereixen immediatament per si mateixes; algunes són la distinció entre interaccions fortes i febles, la introducció de demores de temps, la consideració de restriccions topològiques. Potser el pitjor que tenen els enfocaments d'aquest tipus és que el model pot conduir a un estat estacionari, a un sistema oscil·lador, o a la disrupció, però és incapaç de descriure un sistema que pugui evolucionar.

Potser es pot combatre una altra vegada la mateixa posició conceptual si s'utilitzen altres principis. El punt de vista alternatiu el comentaré en un altre lloc i encara no es troba en termes operatius, però considero molt pertinent, per a la discussió de la interacció entre l'home i la resta de la naturalesa, donar aquí alguna idea d'aquest enfocament que s'indica. El punt de vista és molt simple. En qualsevol sistema dissipador estès entre una font d'energia (el Sol, en últim terme) i un embornal d'energia (l'espai), qualsevol divisòria arbitrària és més o menys asimètrica. A una banda de la frontera traçada el sistema és més fluctuant i impredecible, sosté més degradació d'energia en forma irrecuperable; tot això fa que aquest semisistema sigui més irreversible. L'altra banda de la divisòria és més predecible, més estabilitzada quant a nombres, amb una taxa de renovació més lenta, menys degradació d'energia. En tractar amb sistemes ecològics, amb ecosistemes, els paràmetres més significatius a l'hora de caracteritzar els dos subsistemes formats per una frontera sembla que són la diversitat (s'han de preferir els espectres de diversitat a la simple diversitat) i la relació producció primària/biomassa total. La correspondència és tal que el subsistema més predecible (des de dins)

és el més divers i el que presenta una relació producció/biomassa més baixa. A aquest subsistema el qualificarem de més madur, o de menys temperatura talàndica. La relació entre els dos subsistemes a través de la frontera pot ser de dues classes. O bé el sistema menys madur es fa més madur i, en aquest cas, qualsevol frontera definida per un determinat valor preestablert en qualsevol gradient convencional de propietats sintètiques es desplaça cap al subsistema menys madur, o bé la maduresa d'aquest últim subsistema és mantinguda baixa per l'explotació que l'altre realitza a través de la frontera, i en aquest cas la frontera no es mou. El primer cas és la boga d'un bosc, on una vegetació més aviat baixa experimenta una successió que condueix al bosc, és a dir, el bosc s'expandeix; el segon cas es pot exemplificar per una situació inicialment igual a l'anterior, en la qual la vegetació herbàcia o arbustiva és mantinguda baixa i no canvia perquè determinats animals surten del bosc de nit i brostegen en la zona de frontera.

Els límits poden ser reals, com en els exemples esmentats, o conceptuals, com quan es considera l'home i la resta de la naturalesa com els dos subsistemes encarats i la frontera és el lloc on es realitzen els intercanvis entre ambdós subsistemes. L'home, en aquest cas el sistema més madur, explota la resta de la naturalesa i impedeix que aquesta s'organitzi més. El flux net d'energia, de la naturalesa a l'home, es pot considerar proporcional al gradient d'organització entre l'home i la naturalesa: com més agafa l'home de la naturalesa, més desorganitzada o controlada la manté. És evident que només les espècies de creixement ràpid, criades en sistemes simplificats, poden suportar una agricultura i domesticació raonables. Òbviament, es poden considerar diverses fronteres, però és probable que en totes prevalgui el mateix tipus de relacions. Potser l'últim subsistema o compartiment, en el costat de l'organització màxima, pugui tenir una posició especial de control o, millor, manqui de controlador.

Aquest model és extremadament vague i de moment no es pot explicitar de manera matemàtica. Però no obstant això, crec que proporciona un excel·lent punt de partida per a un nou enfocament de l'estudi de sistemes complexos. Podem suposar l'espai real i establir el problema sobre una base estadística àmplia. Suggereixo el següent mètode de procediments: en presència d'un sistema proveu un nombre infinit de

fronteres situades a l'atzar; i per a cadascuna de les divisòries estudieu el gradient d'organització (per exemple en termes de gradients de diversitat i de la relació producció/biomassa) i el tipus d'intercanvi que té lloc a través de la frontera. Es pot triar el límit que tingui la taxa d'intercanvi més elevada o que se situï a cavall dels majors gradients d'organització. Es pot seleccionar aquesta frontera (o fins i tot una altra frontera arbitrària) amb la finalitat de definir dos semiespais. Es pot repetir el mateix procediment en l'interior de cadascun d'aquests semiespais, amb el resultat de dividir-los de nou. I així successivament. D'aquesta manera és possible cartografiar un sistema d'organització que té associats gradients d'organització i rutes seleccionades d'energia i control. L'homeòstasi serà una funció del model sencer:

Si pensem una mica, aquest model no és essencialment diferent del que inclou conjunts d'equacions diferencials, però té dos mèrits: es posa èmfasi en l'espai com a marc d'organització, i l'organització pot créixer sense límits dins de les àrees petites, i empènyer i augmentar el model d'organització inicial.

Probablement el model es pot adoptar com una projecció directa de fenòmens geogràfics. Poblats, ciutats, mitjans de comunicació i les seves respectives influències i relacions d'explotació i control es presten bé a aquest tipus de representació. Les ciutats consumeixen més energia per càpita, i l'energia flueix des del camp. Les concentracions d'éssers humans organitzen l'espai al seu voltant, creen direccions de flux i nous gradients d'organització. Les ciutats estan subjectes a un procés de creixement perifèric i de deterioració central. El creixement d'una àrea urbana està lligat a l'explotació d'una regió gran. Només les ciutats velles i els barris antics de les ciutats són incapaçs de promoure transport i, per tant, es deterioren. Una àrea urbana és una peça més madura del sistema que succiona les àrees rurals i les ciutats menys importants del seu entorn. Naturalment, aquest és només un dels aspectes, ja que també cal considerar l'element viu del sistema, l'home: la diversitat d'oficis, l'estructura social, etc., són importants, i cartografiem tot el conjunt de relacions. Algunes investigacions interessants, pioneres en aquesta direcció, anticipen assoliments més importants. La interacció entre individus segueix probablement determinades regularitats que també poden ser bàsiques per a la comprensió dels models d'organització espacial que l'home ha

desenvolupat. Per descomptat, es pot suposar que l'organització dels assentaments humans reflecteix alguns fenòmens implícits en la naturalesa mamífera de l'home (territorialisme, jerarquia, ritualisme i potser d'altres) però, probablement, també determinades restriccions en la diversitat de la interacció humana. Les relacions interpersonals es poden sotmetre a una mesura de la diversitat: una diversitat baixa significa interacció forta amb poca gent; una diversitat alta, interacció feble amb molta gent, i la diversitat més alta, interacció molt feble amb tanta gent que equival a una interacció significativa amb ningú, l'alineació de la gran ciutat. En general la diversitat s'organitza al voltant d'interaccions fortes amb un nombre molt reduït de persones i d'interaccions febles amb molta més gent. Això pot ser important en l'organització de l'espai, i potser més important que l'aspecte que té l'ambient. El plaer d'una naturalesa no humanitzada de contactes interpersonals es pot trobar profundament arrelat en la nostra espècie. Els models de diversitat estan relacionats amb el tipus de poblats i la quantitat de mobilitat dels éssers humans. La baixa diversitat dels camperols i dels habitants de ciutats petites contrasta amb l'elevada diversitat dels pobladors de les zones més plenes de les grans àrees urbanes. En aquests casos, la situació d'equilibri usual és ignorar la gent que ens envolta.

Algunes modestíssimes propostes destinades a falsificar la predicció

He intentat situar els grans problemes de l'ecologia que es refereixen a l'home al mateix nivell que la teoria ecològica general. Podem considerar aquests problemes com vulguem, però és evident que d'això hem d'obtenir alguns suggeriments d'actuació. Em sembla que pot resultar decebedor esperar massa. L'augment de la població continuarà certament durant un temps, i només més tard es reduirà, i amb probabilitat la pressió tendent a un consum d'energia en augment continuarà sent alta durant un temps molt més llarg o indefinidament. Aquesta energia, pel que fa a part del metabolisme extern, només en una fracció molt petita prové dels ecosistemes actuals (per exemple, fusta); majoritàriament procedeix d'ecosistemes del passat (combustibles fòssils), i una altra fracció és energia que ha passat a través de l'atmosfera i de la hidrosfera, però no a través de cap sistema viu (per exemple, l'energia hidroelèctrica). S'han de recomanar tots els mètodes

des que tendeixen a incrementar l'obtenció d'energia dels rius i del mar; considerat com una màquina tèrmica. És difícil fer prediccions sobre el futur de l'energia atòmica. No és equivocat suposar que la seva utilització serà regulada pels costos; les consideracions de seguretat, per importants que siguin, probablement només seran secundàries.

Un augment substancial de la collita de matèria orgànica destinada a aliments necessitaria ampliar la part de la biosfera representada per ecosistemes explotables amb una elevada taxa de renovació. Potser no s'hagi d'excloure algun descobriment important en la possible domesticació del mecanisme de la fotosíntesi. Als mars es dedicarà molta enginyeria ecològica, i s'han de contemplar mètodes de combinar el tractament de desaprofitaments i la fertilització. Davant d'aquestes perspectives, la conservació no pot ser excessivament ambiciosa, però potser siguin realitzables alguns aspectes selectes del problema general de conservació, en el sentit que no hi ha interessos formals en contra seva. Hi ha tres aspectes que semblen importants: 1) La preservació d'una certa heterogeneïtat en la naturalesa i la lluita contra l'erosió. 2) La facilitació del cíclic dels elements, o del retorn, mitigant així els problemes plantejats per la contaminació. 3) Dotar els individus d'un determinat ambient apropiat, segons necessitats que, en part, són culturals i modificables. El consell que doni l'ecologia ha d'anteposar els objectius a llarg termini als objectius a curt termini, i maximitzar el rendiment i l'estabilitat en grans extensions, encara que en fer-ho així l'optimització pugui no ser aparent en petites àrees parcials. No tota la superfície de la Terra es pot explotar en el mateix grau; algunes regions s'han de destinar a reserves, o bé zones separades amb finalitats diferents s'han de combinar en algun tipus de pauta. A Europa l'explotació tradicional de la terra es basava en granges que organitzaven l'espai al seu voltant com un mosaic de camps de conreu, bardisses, pastures i fragments de boscos, seguint una organització del camp, més o menys relacionada amb les conques de recepció. S'ha comprovat que aquest mosaic resulta un instrument de conservació molt eficaç, i així mateix ha mantingut i fins i tot ha augmentat la diversitat de les comunitats vegetals. La fitosociologia s'ha «enriquit» amb moltes comunitats organitzades per l'acció de l'home. El mecanisme bàsic que ha conduït a una estructura d'aquest tipus és el diferent grau d'ex-



La teoria ecològica i la predicció en l'estudi de la interacció entre l'home i la resta de la biosfera
Ramon Margalef

plotació que s'ha esmentat abans, és a dir, l'explotació va ser més intensa on el sistema ja era més productiu, i més suau en les regions més agrestes i els sòls més pobres. Probablement a causa d'una certa impregnació cultural i a causa de la tradició considerem aquest paisatge humanitzat com «natural» i estèticament agradable, i és també «raonable» des de qualsevol punt de vista ecològic. He esmentat les conques en connexió amb aquesta estructura. De fet, el model d'explotació heterogènia es relacionava, també pel que fa a la grandària, amb les característiques topogràfiques. Però ara augmenta la demanda de noves terres, i l'antiga estructura es difumina en esdevenir el camp més uniforme.

Les estructures reticulades són comunes en els sistemes naturals heterogenis. Els subsistemes menys organitzats i més productius solen ser puntiformes i es troben immersos en un reticle de sistemes més organitzats o més madurs. La causa primera és que les perturbacions que suposen regressions a partir d'un estadi final més estable solen tenir lloc en punts discrets. Es poden elaborar explicacions més complicades, especialment efectives a l'hora d'explicar la distribució en taques (*patchiness*) del plàncton, però no són essencials aquí.

En qualsevol cas donen suport al punt de vista que una estructura reticulada, en què sistemes més madurs formen un reticle que envolta taques productives i explotades, és un tipus d'estructura «natural» que es desenvolupa espontàniament, i que pot ser especialment persistent enfront de factors de destrucció heterogenis. L'estructura dels assentaments humans correspon al mateix model. Les ciutats i les vies de comunicació que les interconnecten formen, de fet, un reticle que engloba les regions menys madures i explotades (rurals).

En el paisatge, una xarxa de bardisses i de bosc proporciona refugi a les aus i a altres animals,¹⁰ és un mitjà de dispersió per a moltes espècies i imposa un cert límit a l'erosió i al transport horitzontal de nutrients. Diversos ecòlegs han destacat la conveniència de desenvolupar algun tipus de mosaic adequat constituït per zones dedicades a diferents usos, les més importants de les quals són les que Odum⁹ anomena «protectores» i «productores». El meu punt de vista respecte a això és únicament recordar que una estructura en bresca pot tenir alguns avantatges sobre un tipus de mosaic indefinit o no estructurat, i entenc que un important projecte d'investigació pràctic és desenvolupar criteris

per a l'optimització de la grandària de les «malles» de l'estructura. Un objectiu important en gestió ambiental seria conservar el que queda i reconstruir, fins on sigui possible i en les millors condicions, algun tipus de nova estructura complexa. Lligada a la mateixa gestió desitjable es troba la necessitat de reduir el transport en tots els seus aspectes, incloent el transport diari de persones al treball, com un bon mètode de combatre la contaminació massiva. Es necessita un retorn, no només per als cotxes, sinó també per al fum, per als abocaments en l'aigua i per a tots els elements químics en general. L'objectiu seria assentaments urbans menors i menys temps perdut a viatjar d'una banda a l'altra; aquesta seria una perspectiva més aviat agradable. No obstant això, com que el flux d'energia està relacionat amb la densitat de població, les àrees més superpoblades tendeixen a subjugar les regions veïnes, controlant-les o absorbint-les. En termes menys ecològics i més polítics, qualsevol reducció de la densitat de població i de la capacitat de transport no és desitjada, perquè signifiquen pèrdua de poder; i qualsevol descentralització erosiona el poder. Però la tremenda dificultat de desplaçar multituds cap a dins i cap a fora de les ciutats, el creixement i la destrucció inexorables de les àrees urbanes i els problemes de la contaminació, provocaran alguna acció en una direcció més sensible: és evident que qualsevol acció tendent a reorganitzar els assentaments humans o les àrees urbanes es pot combinar en la recerca d'una estructura reticulada en la utilització de la terra, en àmplies extensions. Aquest hauria de constituir potser el primer desiderat en la gestió del paisatge.

Un altre argument en la mateixa línia és psicològic, i es refereix a una diversitat adequada en els contactes interpersonals, més fàcil d'aconseguir en assentaments més petits. Un ambient més heterogeni pot contribuir a desitjar una varietat de requisits en l'ambient. Una curta excursió en un paisatge diversificat és estèticament més satisfactòria que centenars de quilòmetres recorreguts en autopistes desertitzades que no condueixen enlloc.

Probablement qualsevol actitud purament negativa sobre la contaminació és en part absurda. Podem anticipar que l'home ha de viure amb la contaminació en els sistemes simplificats, i si acceptem això com una possibilitat (ja ens trobem en aquesta situació), potser podrem preveure la manera de treure'n el millor partit possible.

M'agrada la proposta de H. T. Odum¹¹ de preparar una aigua d'abocament mitjana o estàndard i deixar-la en conques que serien inoculades amb tot tipus d'organismes de diferents parts del món, i esperar que el resultat del procés d'autoorganització fos un sistema amb bones propietats per desembarassar-se de la contaminació, i fins i tot podria ser d'aspecte agradable. Per descomptat, aquest suggeriment implica una via de retorn més aviat curta i una barreja eficaç de diferents tipus d'abocaments, de manera que el projecte seria més efectiu si es realitzés en el marc de l'organització del territori ja comentat, d'estructura en bresca amb una grandària apropiada de la malla unitat.

Aquests projectes, aquests desideratums, que es poden defensar perfectament en el camp de l'ecologia, coincideixen de manera notable amb els suggeriments de paisatgistes i arquitectes, però molt menys amb les activitats de polítics i economistes. Els «tecnòcrates» són gent pràctica i, per tant, poden entendre l'ecologia. L'essencial és afegir prioritat als objectius a llarg termini. Aquest és un punt de partida molt modest. El fi últim és adonar i restringir el flux d'energia. Un efecte secundari seria reduir el poder dels estats i propiciar una cooperació més efectiva entre tots els grups humans. I probablement aquí resideix l'impediment més greu a l'efectivitat de posar en pràctica fins i tot els més modestos projectes d'aplicar punts de vista ecològics a problemes pràctics quan aquests afectin el poder o el control. En l'actualitat el nom del joc és la competència, basada en l'expansió, i és difícil imaginar-se que això tingui un final. Fins i tot si es té en compte aquesta possibilitat, el més natural és intentar per tots els mitjans arribar al moment decisiu en les millors condicions de prosperitat i de capacitat de control. ●

.....

Les ciutats

consumeixen més

energia per càpita,

i l'energia flueix

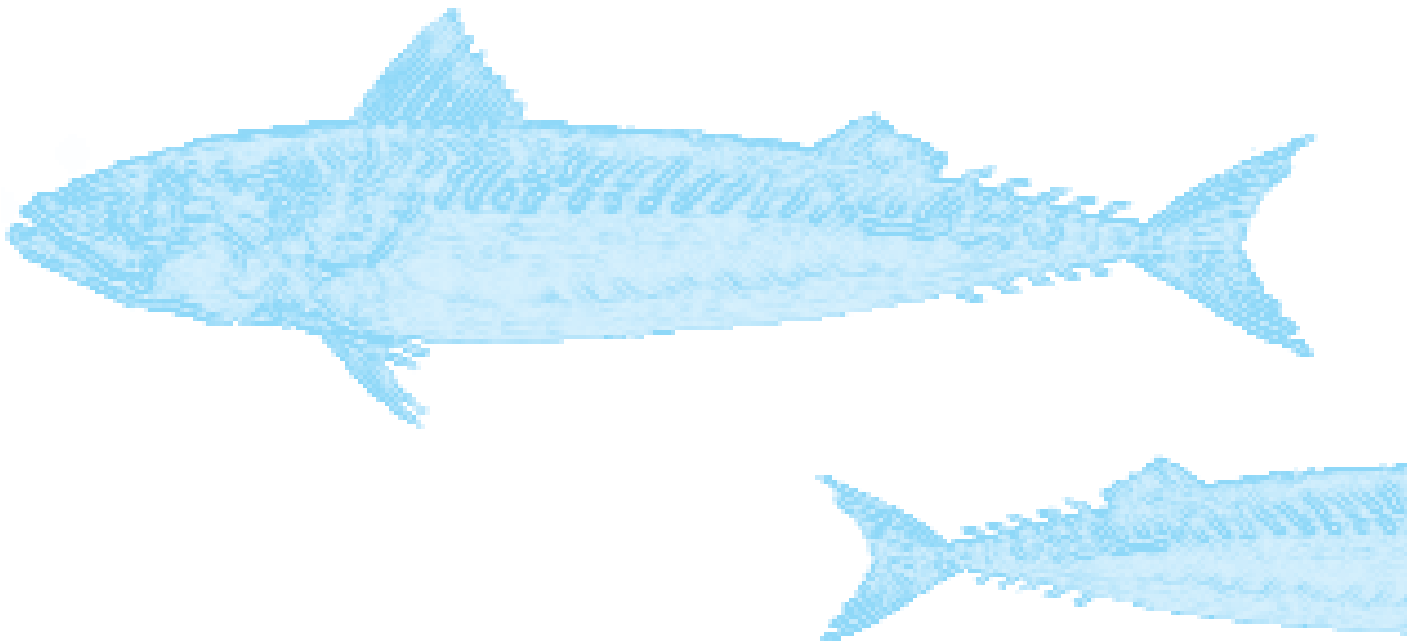
des del camp

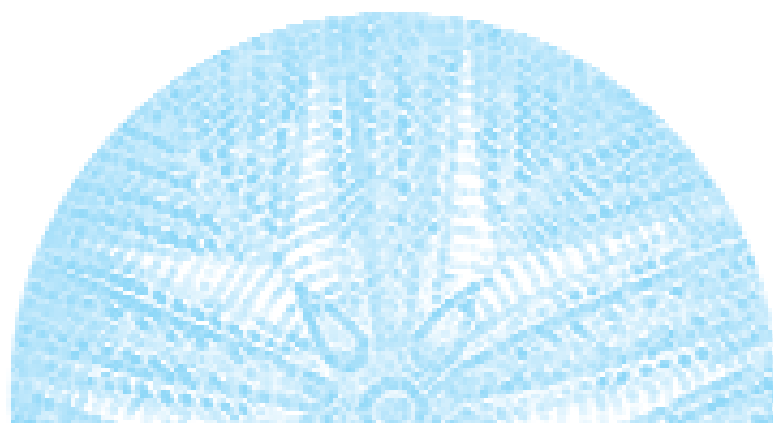
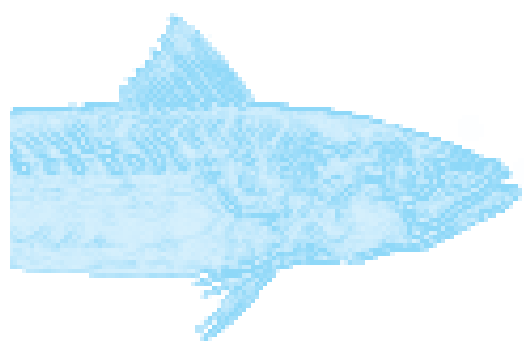
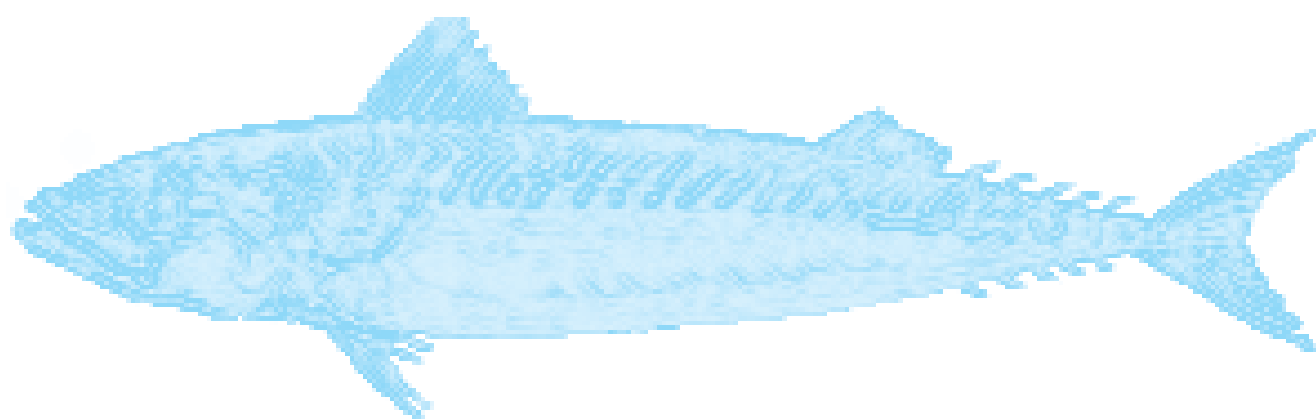
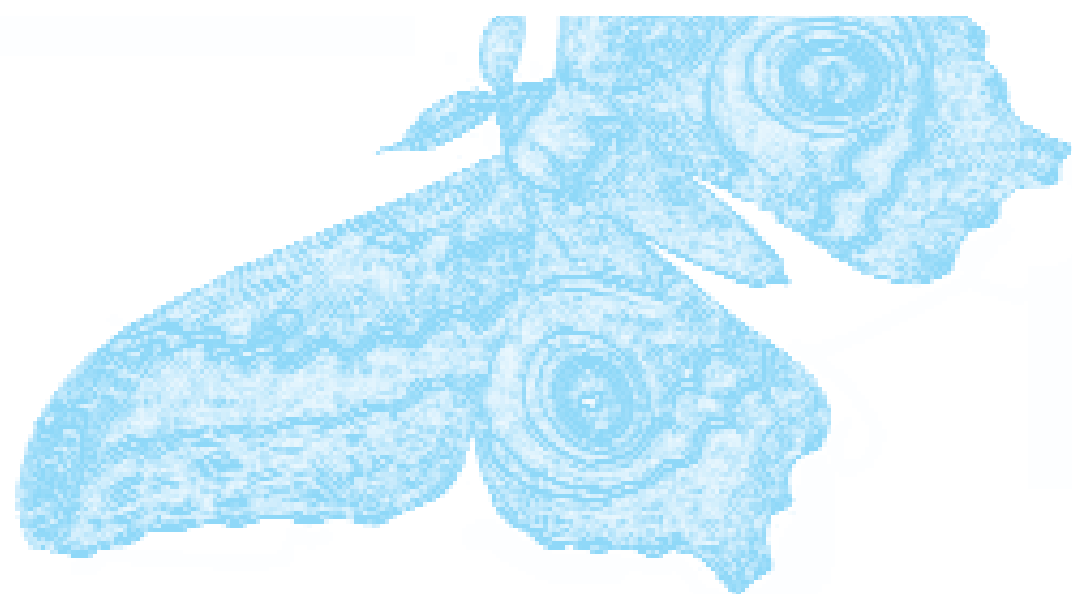
.....

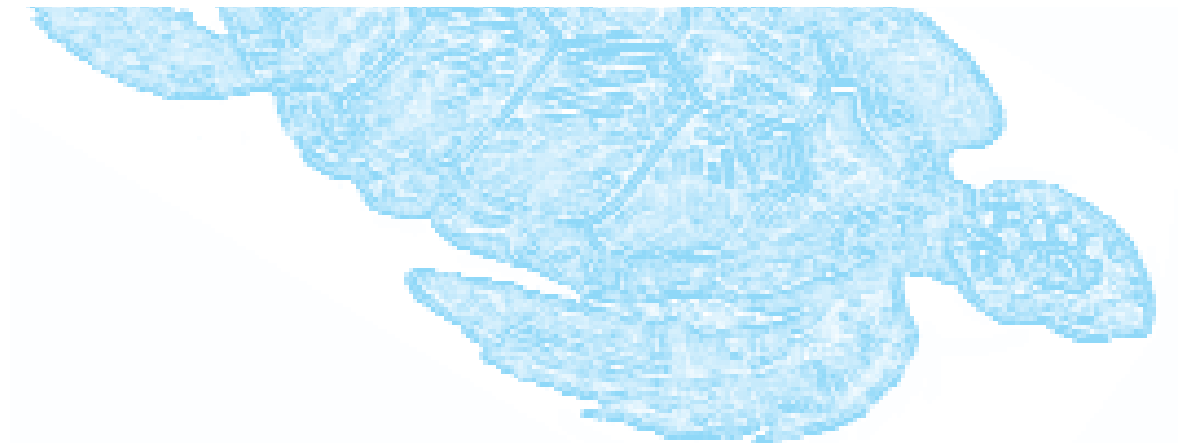
.....

Bibliografia

- ¹ Christian, J. J., *Science*, 168, 84-90 (1970).
- ² Gause, G. F., *Vérifications expérimentales de la théorie mathématique de la lutte pour la vie*. 61 pàg. París, 1935.
- ³ Huffaker, C. B., *Hilgardia*, 27, 343-383 (1958).
- ⁴ Lotka, A. J., *Proc. Nat. Acad. Set, wash.*, 7, 410-415 (1920).
- ⁵ Lotka, A. J., *Elements of physical biology* (ed. 1956: *Elements of mathematical biology*), 465 pàg. Dover, 1924.
- ⁶ McArthur, R. H., Wilson, I. O., *The theory of island biogeography*. 203 pàg. Princeton, 1967
- ⁷ McNeill, 8, Lawton, J. H., *Nature*, 225, 472-474 (1970).
- ⁸ Margalef, R., *Perspectivas de la teoría ecológica*. 110 pàg. Blume, Barcelona, 1978.
- ⁹ Odum, I. P.; J. *Soil Water Conserv.*, 23, 4 pàg. (1969).
- ¹⁰ Odum, I. P., Davis, S., *Landscape Archit.*, oct. 69, 36 pàg. (1969).
- ¹¹ Odum, H. T., *Biological circuits and the marine systems of Texas. A: Pollution and marine ecology*. Hrsg. Olson, Burgess, 99-157. Nova York, 1967.
- ¹² Slobodkin, L. B., *Growth and regulation of animal populations*. 184 pàg. Nova York, 1966.
- ¹³ Szalay, A., *Cosmochin, Acta*, 28, 1605-1614 (1964).
- ¹⁴ Van Dyne, G. M. (ed.), *The ecosystem concept in natural resource management*, 381 pàg. Nova York, 1969.
- ¹⁵ Volterra, V., *Mem. Acad. Lincei*, 2, 31-113 (1926).
- ¹⁶ Watt, K. I. F., *Ecology and resource management*. 450 pàg. Nova York, 1968.









RAMON MARGALEF, EL “BIÒLEG DE LA BIOSFERA”

«Som un país deixat que no respectem la natura»

Entrevista a Ramon Margalef¹



.....
¹ Aquesta entrevista es va fer el febrer de l'any 1991 i es va publicar a «Quaderns de Tecnologia» (número 3, Abril 1991). Malgrat el temps transcorregut, creiem que té un gran interès per il·luminar alguns aspectes del pensament de Ramon Margalef.

Entrevista realitzada per Lluís Reales

Diuen que Ramon Margalef i López és un home profundament savi. Però, més que un erudit, Margalef és una veu lúcida, irònica i juganera, filla de la clarividència, la gran òrfena del nostre temps. L'ecòleg Ramon Margalef va néixer a Barcelona l'any 1919. Amb 71 anys, continuava treballant com a professor emèrit a la Facultat de Biologia, on era catedràtic d'ecologia. Els seus treballs comprenen àmbits científics com ara l'oceanografia, la limnologia i, a més a més, és impulsor a escala mundial de l'ecologia teòrica. Autor de nombrosos llibres, Margalef ha rebut, entre altres distincions, la Creu de Sant Jordi, el premi Narcís Monturiol, el Ramón y Cajal i el guardó atorgat per la Fundació Catalana per a la Recerca. Per a aquesta entrevista ens va rebre al seu despatx «més ben dit al seu niu» de l'enrojolada Facultat de Biologia de la Universitat de Barcelona.

LL.R.: Vostè fou el primer ecòleg, en un sentit científic, del nostre país. Quan neix l'ecologia i com va topar vostè amb aquesta ciència?



RM.: Ja en els temps de Humboldt existia un cert pensament sobre la natura, però no és fins que s'imposa una interpretació evolutiva de la vida, que l'home comença a estudiar la natura amb consistència científica. Pot dir-se que a partir de Darwin té lloc l'eclosió de l'ecologia. Pel que fa al meu interès per aquesta ciència, fou fruit de les circumstàncies de totes les coses. Tot evoluciona i es va dividint. Jo sóc ecòleg, però abans que jo molts altres, fins i tot al nostre país, ja havien treballat dins el camp de l'ecologia.

LL.R.: A què és deguda la confusió entre ecologia i ecologisme? ¿Vostè és ecologista o simplement ecòleg?



RM.: Aquest embolic entre ecologia i ecologisme és freqüent arreu del món. Moltes vegades els moviments ecologistes volen abraçar-ho tot i tenen una visió catastrofista: podem triar entre la mort per la bomba atòmica, el forat d'ozó, el creixement de les aigües o moltes altres coses. Més que cercar culpables, el que cal és buscar fórmules per resoldre els problemes del nostre país que, certament, són nombrosos. Posem per cas la polèmica sobre els abocadors. La posició de tothom ha demostrat un pensament molt esquifit i poc lúcida. La realitat és que Catalunya necessita abocadors amb urgència.

LL.R.: I sobre el seu ecologisme?



RM.: Jo em sento ecologista a la meua manera. De fet, he donat molts sermons ecologistes als meus alumnes.

LL.R.: Els seus «sermons» expliquen per què ens hem deslligat tant de la natura i per què en tenim un concepte tan utilitarista?



RM.: L'home s'ha convertit en un ésser molt perillós. El pagès vivia aïllat i depenia de la natura per sobreviure i, per tant, havia de respectar i conèixer la naturalesa i passar-ho als seus fills. A l'home d'avui no li cal saber gaires coses del seu entorn per viure.

LL.R.: Però bé que la salut de l'entorn condiciona la qualitat de vida. Quina és la «temperatura ambiental» de Catalunya? Bullim gaire?



RM.: El problema és que mai no ha estat clar el model de país que volem: si Barcelona ha de ser una mena de Caracas o Ciutat de Mèxic amb densitats de població altíssimes, o ben al contrari, si preferim un model similar a Àustria o Suïssa, que significaria potenciar les valls del Pirineu. Jo sempre he defensat que les noves universitats s'haurien d'obrir a Solsona o a la Seu d'Urgell, atès que la creixent mecanització del camp no fa possible que gaire gent hi visqui. Per tant, cal impulsar activitats del sector terciari a les comarques, per equilibrar la densi-

tat de població en el territori. Però crec que algunes coses ja són inevitables i la massificació de Barcelona sembla imparable. I, a més a més, la visió estreta dels polítics no deixa gaire marge a l'esperança. Pensem en la Vila Olímpica. Teníem l'oportunitat de convertir-la en una zona verda, tan necessària a la ciutat, però s'hi construeixen blocs de pisos. Ha triomfat la mateixa filosofia de sempre.

LL.R.: Saltem de Catalunya a la resta del món. Un cop enderrocat el mur entre l'est i l'oest, la gran barrera està entre el nord i el sud. Quin és per vostè el problema més greu del món?



RM.: Les diferències en el consum d'energia són la base de la desigualtat en el món. El creixement zero, contràriament al que molta gent creu, no es refereix només a l'evolució de la població, sinó que es calcula a partir de la taxa de creixement de la població més la taxa de creixement de l'ús d'energia per individu. Aquesta desigualtat és la causa última de la fam que pateixen molts pobles del món. L'arrel del problema és que el monopoli de les energies resta en mans de pocs estats i grups econòmics.

LL.R.: Creu que tenen futur les energies renovables, com ara la solar o l'eòlica?



RM.: Tenen un futur molt negre per una raó molt senzilla: hi ha un principi de la termodinàmica que diu que la validesa de la màquina



té relació amb la concentració d'energia que necessita, és a dir, amb la seva qualitat. Des d'aquesta perspectiva, l'energia nuclear i l'energia elèctrica són molt bones i rendibles. Així mateix, avui per avui el petroli és molt barat. En canvi, les energies renovables necessiten màquines molt grosses.

LL.R.: Però potser en lloc de grans centrals, podria apostar-se, per exemple, per les minicentrals hidràuliques.



R.M.: Donarien un rendiment molt baix. No hi ha volta de full: la nuclear i el petroli són un tipus d'energia compacta i barata.

LL.R.: Vostè ha estudiat la Mediterrània i la coneix a fons, tot i que mai no ha estat gaire amic de posar-se l'escafandre i veure sobre el terreny els fons marins. Creu, com diuen algunes veus, que la Mediterrània està en perill de mort?



R.M.: Certament mai no m'he posat l'escafandre, no em fa gràcia. La realitat és que la mar Mediterrània té moltes defenses, no pas pel mèrit de la gent que vivim a la zona, sinó pel tipus de circulació de les aigües que té. Contràriament, la situació del mar Bàltic és molt pitjor. El problema de la Mediterrània són les grans migracions que reben les zones costaneres. La gent viu de manera massificada a la ciutat, però a la segona residència demana els mateixos serveis que a la gran urbs. Aquesta situació és insostenible i afecta molt la nostra mar.

LL.R.: Creu que el nostre model de creixement ha arribat a un punt on crea més problemes dels que resol?



R.M.: Crec que s'ha de plantejar seriosament una reconversió de les nostres necessitats i com cobrir-les. No és un bon camí orientar el creixement a tenir dos cotxes en lloc d'un. Hem de mantenir un bon nivell de vida, però fonamentat en el sentit comú, si no caiem en la disbauxa i, a més a més, ho carreguem sobre altres parts del món.

LL.R.: Quin és el paper de les indústries? Creu que les lleis per respectar l'entorn tenen sentit?



R.M.: La productivitat de l'home ha augmentat molt, però en moltes ocasions en detriment de la qualitat de vida d'altres homes. Per tant, és just que creixin les obligacions per no malmetre tant l'entorn. La veritat és que hi ha indústries a les quals no agrada estar als polígons industrials perquè hi ha massa control. D'altra banda, avui dia els costos de les empreses, si pugem no és pas per augmentar la productivitat, sinó per fer anuncis o per pagar la gent que remena papers. En qualsevol cas, el nostre país és deixat i, per un problema cultural, no respectem la natura. Aquesta falta de respecte per l'entorn és un dels trets més desagradables de la nostra gent i de la cultura mediterrània.



La productivitat de l'home ha augmentat molt, però en moltes ocasions en detriment de la qualitat de vida d'altres homes



LL.R.: Com valora la presència creixent d'empreses estrangeres a Catalunya?



R.M.: No veig gens bé que se cedeixi, mica en mica, la propietat d'un país a gent de fora, que representen indústries estrangeres. No és un fet negatiu en si mateix, sinó més aviat darwinia: el més fort s'imposa. En el cas de Catalunya, aquest fet s'agreuja perquè som una cultura molt petita. Potser algun dia sentirem a dir que tot està bé, mentre puguem parlar en català.

LL.R.: Si donem una ullada a la situació del món, no té gaire sentit una posició endogàmica i defensiva de les cultures.



R.M.: Certament, els grans passos culturals avui tenen una dimensió mundial. Aquest fet conviu amb una mena de situació utòpica, amb la valoració de les petites cultures, que és fruit de les opinions de classes altes viatgeres i amb pretensions il·lustrades, però la realitat és que la gent més modesta vol unir-se a les cultures grosses per gaudir de tots els seus beneficis. Aquest element és característic de les diferències nord-sud.

LL.R.: Des de la seva posició d'ecòleg, quin discurs ètic faria arribar als enginyers, als economistes, en definitiva, a les persones que dissenyen la societat?



R.M.: No m'agrada donar consells d'ètica perquè entrem en el perillós terreny de la ideologia. Prefereixo una altra via d'accés, que és la percepció per part de la societat del límit màxim de creixement. Certament és una percepció que varia molt i allò ideal seria arribar a unificar-la per a tot el món, a través d'un ús equilibrat dels recursos.

LL.R.: Per acabar, professor Margalef, els humans ens estem comportant com una espècie en vies d'extinció?



R.M.: L'home ha esdevingut una espècie molt poderosa, que crea situacions per a les quals no està preparada. Certament, no hi ha cap espècie que sobrevisqui eternament.

LL.R.: Quin termini li dóna vostè a l'espècie humana?



R.M.: No ho sé. Personalment no em preocupa, ni tampoc als meus fills o als fills dels meus fills. Ens preocupem molt per les generacions futures però hauríem de fer-ho més per les presents.



.....
***L'home ha esdevingut una espècie
molt poderosa, que crea situacions
per a les quals no està preparada***
.....



RAMON MARGALEF, EL “BIÒLEG DE LA BIOSFERA”

L'ecòleg marí més influent des de Darwin



Paul Dayton

El text següent recull la intervenció de Paul Dayton, guanyador de la primera edició del Premi Ramon Margalef. La cerimònia va tenir lloc al Palau de la Generalitat el 18 de gener de 2006. El professor Dayton és un reconegut oceanògraf vinculat a la Universitat de Califòrnia, San Diego.

És per a mi un gran honor i una gran satisfacció rebre el Premi Ramon Margalef en el seu primer certamen. Vull donar les gràcies al senyor president, al Comitè del Premi Margalef i a la comunitat científica de Catalunya per haver-ho fet possible.

Com a primer guanyador del Premi Ramon Margalef, en comptes de parlar sobre el meu treball i els meus assoliments, considero més oportú adreçar unes paraules al voltant del mateix professor Margalef i oferir-vos les meves percepcions de la manera com el seu pensament, els seus descobriments i les seves lliçons han influenciat tants ecòlegs d'arreu del món; diversos dels quals es troben ara en aquesta mateixa sala.

Per començar el considero un dels naturalistes més importants del món i potser l'ecòleg marí més destacat del segle XX.

Si bé la seva especialitat principal era l'estudi del plàncton, el seu treball va abraçar diverses disciplines ecològiques, incloent-hi l'ecologia general, el comportament animal, la paleoecologia, la biogeografia, l'ecologia humana, la metodologia i la taxonomia. Va ser un taxonomista brillant familiaritzat amb les algues i també amb molts grups d'invertebrats.

A més, dominava la física i les matemàtiques sofisticades. Va aplicar aquesta percepció al seu treball precoç i perspicaç d'integració d'escala al temps i a l'espai. Aquesta síntesi era summament avançada per al seu temps. També va fer treballs innovadors en matèria d'unificació de l'oceanografia física i biològica i era un convidat de confiança i sempre benvingut de tot un seguit d'institucions

oceanogràfiques d'arreu del món, on es va fer mereixedor d'un gran respecte.

Va realitzar unes aportacions pioneres i molt importants a la síntesi de la successió, la productivitat i l'organització de les comunitats. Tenia una perspectiva incomparable de l'àmbit de la biosfera com pocs ecòlegs han assolit.

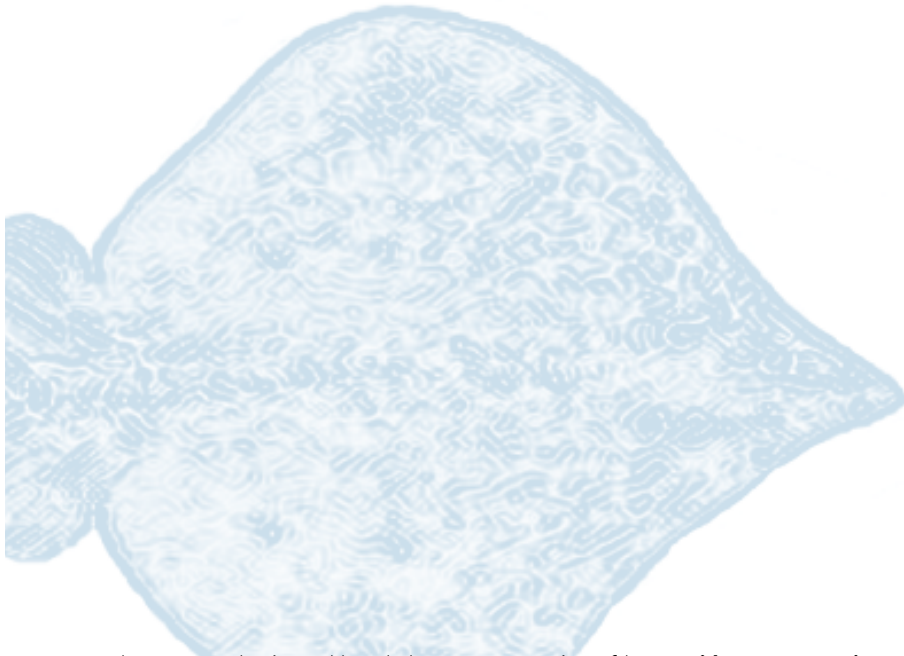
Diria que va ser l'ecòleg marí més àmpliament respectat i influent des de Darwin. Va obtenir molt més reconeixement internacional per la seva ciència que cap altre científic marí de qual-sevol disciplina. Va guanyar pràcticament totes les medalles i els honors que existeixen a la ciència marina. Va ser un dels pocs ecòlegs que va poder accedir a l'Acadèmia Nacional de Ciència dels Estats Units i va ser el primer ecòleg estranger reconegut com a membre honorari de la Societat Ecològica d'Amèrica.

Una de les seves aportacions més destacades va ser el seu llibre de text sobre ecologia, escrit en castellà, i que va formar una gran part dels ecòlegs de tot el món. Però el llibre, escrit amb l'objectiu de formar ecòlegs de parla castellana, va veure com l'ecologia en general se'n beneficiava simplement perquè anava molt més enllà de la mera presentació de simples fets i de síntesis bibliogràfiques. Era ple de mitjans importants, nous i innovadors que permetien considerar l'ecologia des del sentit més ampli del terme. Vaig coincidir amb Ramon Margalef en diverses ocasions, i hi ha tres coses que em van quedar gravades a la ment.

La primera, a més del fet que va ser un dels naturalistes més famosos del món, era també un dels més afables. El vaig conèixer a la dècada dels



L'ecòleg marí més influent des de Darwin
Paul Dayton



seixanta, quan el món semblava desintegrar-se i a les universitats es respirava un ambient iracund i ultratjant. En aquell temps el nostre país es trobava asfixiat per la contaminació, les violacions dels drets civils eren comunes, Martin Luther King havia estat assassinat, de la mateixa manera que dos dels nostres líders més vibrants, i el país estava immers en un seguit de conflictes racials. La guerra de Vietnam era un ultratge constant i nosaltres vam prendre els carrers per manifestar-nos violentament.

En Ramon Margalef ens va fer una visita d'una setmana a la Universitat de Washington enmig de tota aquesta mala maror viscuda en aquests anys tan traumatitzants i turbulents. Va fer un seminari, però a diferència de la majoria dels visitants importants que rebíem, assistia diàriament als nostres dinars amb grups d'estudiants i escoltava pacientment les nostres reivindicacions. El recordo com un home semblant a la perspectiva que m'havia format de Gandhi i Martin Luther King. Ramon Margalef tenia la mateixa tempra interior d'acer que exterioritzava amb una gran calma i la seva naturalesa era molt afable. Majoritàriament es mostrava totalment optimista de cara al futur. El Dr. Margalef ens parlava molt reposadament del que era la vida amb el règim de Franco, sobre la importància de la compassió i l'activisme,

però ens feia una **crida per mantenir-nos en tot moment fidels a la nostra ciència.**

Ens parlava a molts de nosaltres en profunditat sobre la nostra recerca i semblava impressionat per l'èmfasi que dipositàvem en les ciències naturals.

Fins i tot als anys seixanta ens va dir que temia pel futur de les ciències naturals, perquè estava esdevenint una disciplina antiquada arreu del món, i això l'amoïnava. A mesura que els nostres camins es van anar creuant al llarg dels anys, en tot moment es va mostrar optimista, entusiasta i disposat a donar un cop de mà. Ara, quan miro enrere, la seva preocupació sobre l'esvaïment de les ciències naturals va ser molt encertada: la biologia sembla desnaturalitzada. Això ens porta al seu segon puntal. Un dels seus actius més importants era la seva devoció per les ciències naturals de qualitat i una erudició excel·lent.

El programa ecològic que va crear és un tribut a la integritat ecològica; és únic al món. Dos actius molt importants el caracteritzen. El primer; tots els alumnes són naturalistes summament competents que esdevenen autoritats mundials en matèria de taxonomia i històries de la vida dels grups que estudien. Tenen un gran sentit d'identificació dels hàbitats i profunds coneixements dels seus organismes, la qual cosa garan-

.....

**Crec que va
experimentar la
meravella de veure
el món a través
de la mirada
d'un infant**

.....

teix que la ciència estigui perfectament fonamentada en la realitat. A més, els seus hereus acadèmics són veritables erudits en el sentit clàssic. De fet, llegeixen i entenen l'ampli recull bibliogràfic existent de manera que les seves preguntes i la ciència es basen en la realitat, així com en una percepció genuïna dels seus colossals predecessors.

Hi veuen més enllà perquè es recolzen en les espatlles d'aquests colossos i entenen a la perfecció el món real que els envolta.

Finalment, i en tercer lloc, el que és més important per a tots aquells que el vam conèixer és el pur plaer que li produïa l'estudi de la natura. Crec que va experimentar la meravella de veure el món a través de la mirada d'un infant i penso que aquest entusiasme per al seu treball ha traspuat una enorme inspiració a tota la disciplina. El acadèmics sovint són cíncics, i penso que la joia juvenil que Margalef va oferir a tots els qui l'envoltaven ha tingut un gran impacte en l'alta qualitat de la seva ciència i ha reportat grans millores a l'ecologia marina en general.

Al llarg de la seva carrera, va observar com els éssers humans destruïen la natura, especialment a l'oceà, i es va adonar també de l'existència tan sols d'uns quants relictos de natura verge. Una de les seves darreres preocupacions era el fet que els humans han canviat

el paisatge del món, que ha passat de ser un indret on l'home només representava una petita part, a un on la major part de la natura està pràcticament humanitzada.

Aquesta inquietud es manifesta en la nostra necessitat desesperada d'obtenir més reserves marines, per tal que aquests escassos relictos de natura tan importants per a Margalef puguin estar disponibles a benefici de les futures generacions, mereixedores del dret al seu estudi i al gaudi dels sistemes naturals. Aquestes reserves marines constituïrien un llegat d'allò més significatiu per a aquest gran home.

En resum, abans he esmentat Gandhi i King i el paral·lelisme que vaig trobar en la sincera decència i optimisme temperats amb una força absoluta que Margalef irradiava. Al cap i a la fi sóc un educador i per a mi la seva aportació més duradora i destacable és l'enorme llegat dels seus estudiants i el seu èmfasi en combinar unes excel·lents ciències naturals amb la teoria adient. Crec que aquesta influència en l'ecologia, inclosa una creativitat pràcticament mística basada en una percepció única del món real, és paral·lela a la que va exercir Gandhi en el desenvolupament de l'autoestima nacional en un país llargament dominat per interessos estrangers o al paper reeixit de Martin Luther King en la millora dels drets civils. Margalef i els seus estudiants han deixat a l'ecologia un llegat de respecte per la naturalesa, excel·lència científica i síntesi creativa.

Voldria concloure amb algunes de les meves pròpies idees sobre el rol dels ecòlegs a la nostra societat canviant.

Penso que és molt important que cadascun de nosaltres sàpiga quin és el lloc que ocupa tant a la natura com dins la seva pròpia cultura.

A cert nivell, hauria de ser capaç d'experimentar i entendre la natura, comprendre les relacions naturals i conèixer quelcom sobre la biologia de la història de la vida. I, una cosa molt important, tots nosaltres hauríem d'integrar aquesta comprensió en el nostre sentit personal i cultural propis. Per què la societat ha perdut l'interès en la natura? Quina és la font dels nostres sistemes de valors? Tenim un sentit cultural de pertinença que inclou la natura? De quina manera el sistema educatiu pot recuperar el nostre respecte cultural per la natura? Sòcrates: «L'educació és l'encesa d'una flama, no l'emplenament d'un recipient».

Penso en la flama com la saviesa que inclou un poderós sentit de la curiositat, i un sentit d'humilitat, compassió i tendresa envers el món.



Un dels seus actius més importants era la seva devoció per les ciències naturals de qualitat i una erudició excel·lent



I com podem ser mentors de la saviesa ambiental? Cal que:

Recuperem el sentit del temor reverencial, el respecte i l'empatia per la naturalesa.

Entenguem la «perspectiva» dels organismes.

Cultivem un sentit de l'espiritualitat en el qual nosaltres siguem part de naturalesa.

I, el que és més important, els valors naturals només es poden ensenyar experimentant la natura.

Ramon Margalef ens va deixar un llegat intel·lectual i acadèmic que posa en relleu aquests sistemes de valors. El que no ens va poder deixar són els espais naturals, els parcs i especialment les reserves marines on la naturalesa estigui protegida per al gaudi i l'educació de tota la humanitat pels segles dels segles. Sense els espais naturals, ja no seria possible continuar el llegat que vam rebre d'aquest gran home. Fem que això formi part de la nostra cerca, per tal que les generacions futures puguin fruitir de tot allò que en Margalef ens ha ensenyat a gaudir, preservar i estimar.

Vull reiterar el meu agraïment donant-los novament les gràcies per fer possible la perpetuació del nom d'un dels més grans ecòlegs del segle XX a través d'un premi que duu el seu nom i alhora millorar els nostres coneixements i la percepció del nostre món i de la nostra relació amb ell.

No puc expressar amb paraules l'honor que sento en ser reconegut amb el nom de Ramon Margalef a la seva terra i entre alguns dels meus col·legues més estimats. ●



RAMON MARGALEF, EL "BIÒLEG DE LA BIOSFERA"

Margalef i l'oceanografia'



Marta Estrada Miyares
Institut de Ciències del Mar, CMIMA
(CSIC)

Ramon Margalef López, un dels grans ecòlegs dels nostres temps, va morir el 23 de maig de 2004. Va ser un expert tant en limnologia com en oceanografia i va exercir un paper fonamental en el desenvolupament d'aquestes branques científiques en el nostre país.

Des de molt jove, Margalef va manifestar una gran inclinació per l'observació de la naturalesa. La seva curiositat espontània i el seu esperit inquisitiu no el van abandonar mai. Quan va començar els estudis formals de ciències naturals a la Universitat de Barcelona, després de la tràgica experiència de la guerra espanyola i de diversos anys de servei militar en cada bàndol, ja havia publicat no solament meticuloses descripcions dels organismes de les aigües dolces ibèriques sinó també treballs de síntesi que revelaven una capacitat intel·lectual gens comuna.

Entre les personalitats del món acadèmic que van saber apreciar les qualitats de Margalef estava el Dr. Francisco García del Cid, director de l'Institut de Biologia Aplicada (IBA), fundat el 1943 com a part del CSIC i situat aleshores a les dependències de la càtedra de zoologia de la Universitat de Barcelona. Margalef va ser nomenat becar d'aquest institut el 1944. Sobre la base de l'IBA, es va fundar el 1951 l'Institut d'Investigacions Pesqueres (IIP), sota la direcció de García del Cid. L'any següent, després de llegir la tesi, Margalef va passar a formar part de l'IIP com a investigador. El 1965, després de la inesperada mort de García del Cid, atropellat per un automòbil, Margalef va ser nomenat director de l'IIP. Va deixar el càrrec el 1967, quan va obtenir la càtedra d'ecologia de la Universitat de Barcelona, la primera d'Espanya. Va simultaniejar el treball en les dues institucions fins a finals dels anys setanta. No obstant això, va continuar investigant en l'àmbit marí i col·laborant amb els investigadors de l'IIP i del seu successor, l'Institut de Ciències del Mar (ICM), durant pràcticament tota la seva vida.

Part de l'impuls que per aquell temps anava adquirint la recerca marina es basava en l'interès per solucionar els nombrosos problemes de les pesqueres espanyoles. Va ser la influència de Margalef la que va fer que el naixent institut posés èmfasi en una comprensió global del funcionament del medi marí, com a base per a qualsevol intent d'aplicació pesquera. D'altra banda, els nombrosos articles publicats per Margalef, i més tard la seva tasca de direcció, van contribuir de manera fonamental al prestigi d'*Investigación Pesquera*, la revista de l'IIP.

En aquella època, més que ara, Espanya era un lloc poc propici per a les activitats científiques. Margalef va rebutjar ofertes temptadores de treball a l'estranger, però va aprofitar les ocasions que se li presentaven per adquirir experiència en altres països i aviat va aconseguir un gran prestigi internacional. Va passar temporades a Itàlia, a Veneçuela, on va treballar a Isla Margarita, als Estats Units i a altres països. Va donar cursos que van tenir un gran impacte en llocs com ara Chicago o Puerto Rico. Recordava amb gust la seva participació en una campanya del vaixell belga Eupen (1963), probablement una de les primeres que va fer en un veritable vaixell oceanogràfic, i l'ajuda rebuda de Sidney Galler, un funcionari nord-americà que, en aquells temps de penúria econòmica, li va facilitar mitjans per viatjar pels Estats Units i altres països.

.....
| L'original d'aquest article va ser publicat a la revista *Algues*, que edita la Societat Espanyola de Ficologia. La referència és: Estrada, M.- 2004. *Algues*, 32: 6-7.



Després de la seva incorporació a les investigacions de l'IBA i de l'IIP, Margalef va dedicar la seva atenció de naturalista als temes marins. L'observació d'un bon nombre de mostres de plàncton i llargues hores de treball a la mar van proporcionar-li el material bàsic per a les seves contribucions a l'oceanografia. Una prova primeirenca d'aquest interès va ser un llibre escrit en col·laboració amb Miquel Massutí, *Introducció al plàncton marino* (1950), en el qual es reuneixen meticuloses descripcions i il·lustracions de plàncton mediterrani. Margalef va insistir sempre en el valor de l'observació acurada i de l'elaboració de llistes d'espècies com una via per imaginar conceptes sobre l'estructura i el funcionament de la biosfera. Complementava l'observació del medi natural amb l'experimentació mitjançant microcosmos altament originals, en els quals intentava superar el problema de la falta d'estructura espacial dels cultius algals típics. Un d'aquests microcosmos (l'anomenat «helicotrefon»), que Margalef recordava amb especial interès, era en un tub enrotllat sobre un suport cònic; l'aigua amb el plàncton s'introduïa per un extrem i la successió tenia lloc a mesura que el medi avançava pel tub. Un altre model de microcosmos, consistent en cilindres de metacrilat de 2 m d'altura per uns 15 cm de diàmetre, encara es continua utilitzant a l'ICM. Margalef tenia una gran habilitat manual; de jove, ell mateix s'havia construït el seu primer microscopi a força de peces de segona mà. Més tard, amb una de les ajudes econòmiques que va rebre, va adquirir un Meccano de precisió amb el qual va construir diversos aparells. L'interès de Margalef per les possibilitats que oferia la tecnologia va contribuir, juntament amb la col·laboració de diversos col·legues, al desenvolupament a l'IIP d'equips pioners per a la captació automatitzada d'informació en campanyes oceanogràfiques. Des del seu treball a l'IIP i a la Universitat, Margalef va exercir un paper decisiu en el desenvolupament i la consolidació de l'oceanografia espanyola. Durant les dècades dels cinquanta i seixanta, Margalef i els seus col·legues es van maldar en l'estudi de la hidrografia i del plàncton de les aigües costaneres mediterrànies, de les Rías Baixas gallegues i d'altres punts de la geografia peninsular. Les campanyes s'havien de fer des de les petites llanxes que tenien alguns laboratoris, o des de vaixells de pesca llogats. Més d'una vegada, l'interès dels investigadors per arribar cada vegada més lluny i la precarietat dels mitjans de navegació van estar



El 1978 va proposar un esquema d'ordenació dels tipus biològics de fitoplàncton dependent de l'aportació d'energia externa en forma de turbulència i de la disponibilitat de nutrients



a punt d'acabar en un disgust. El 1971, la posada en servei del Cornide de Saavedra i la injecció de fons dels plans de desenvolupament van representar un important pas per a la recerca oceanogràfica espanyola. Margalef i altres col·legues de l'IIP van dirigir diverses campanyes oceanogràfiques en l'àrea d'aflorament del NE d'Àfrica, en un moment en què aquella regió era objecte d'un esforç científic internacional. Les primeres campanyes van haver de superar nombroses dificultats, a causa de fallades dels nous (o reciclats) equips de mostreig o a d'altres problemes. Una visió deliciosament irònica de l'ambient que es va viure en una d'aquestes campanyes pot trobar-se en un relat de divulgació que Margalef va publicar l'any 1971 en un suplement d'*Investigación Pesquera*. Probablement sigui d'aquesta època l'anècdota sobre la recomanació margalefiana (difosa en diverses variants) que «un bon oceanògraf ha de saber llimar amb un tornavís i cargolar amb una llima». Cal recordar aquí que el Cornide de Saavedra d'aquella època va ser un dels primers vaixells oceanogràfics que va tenir a bord un ordinador (un enorme IBM 1130 amb 8 K de memòria!) i un sistema per captar dades de temperatura, salinitat, fluorescència i nutrients en continu. L'organització a Barcelona del Simposi Internacional sobre Àrees d'Aflorament (1970) va representar una fita important per a l'activitat de l'IIP i va contribuir a situar la investigació oceanogràfica espanyola en el marc internacional. Al Cornide el van seguir el García del Cid i el Hespérides i Margalef va continuar participant en campanyes de l'IIP molts anys després de la seva incorporació a la universitat. Els que vam compartir dies de campanya amb ell recordem el seu entusiasme contagiós davant les noves dades que anaven arribant a bord. Quan finalment es va poder muntar al García del Cid un correntòmetre Doppler, els perfils de velocitat que apareixien en la pantalla de l'ordinador, repetitius o tot just proveïts de significat per a molts de nosaltres, recobraven en la seva ment la dimensió espacial que representaven per al món del plàncton. Desafortunadament, li devem encara un estudi a fons de les relacions entre aquestes dades i les distribucions biològiques. Margalef va ser un pioner en molts aspectes de la recerca ecològica. Molt abans que recents progressos tecnològics possessin en relleu el paper fonamental de les interaccions fisico-biològiques, ja havia ressaltat la importància del forçament físic i de l'energia externa o exosomà-



.....

**Margalef ensenyava per osmosi, a
força d'exemple personal,
acompanyat de vegades per algun
comentari agudament irònic**

.....

tica per al manteniment de l'activitat biològica. Per Margalef, l'anomenada «paradoxa del plàncton», que es preguntava com podien coexistir en la comunitat planctònica una gran varietat d'organismes amb requeriments aparentment similars, desapareixia davant una visió del medi aquàtic com un ambient estructurat per les diferents escales del moviment turbulent de l'aigua (una manifestació de l'energia externa introduïda per vents i corrents) que interaccionaven amb la varietat d'adaptacions dels organismes. Comparava els models ecològics que no tenien en compte l'organització espacial amb les antigues discussions de certs teòlegs sobre el nombre d'àngels que cabien en la punta d'una agulla. El 1978 va proposar un esquema d'ordenació dels tipus biològics de fitoplàncton depenent de l'aportació d'energia externa en forma de turbulència i de la disponibilitat de nutrients. Aquest «mandala», tal com va ser denominat més tard, és actualment un dels models conceptuals més utilitzats en ecologia aquàtica. Margalef també es va avançar al seu temps en la seva visió integradora dels fluxos biogeoquímics i en el reconeixement de la importància del fòsfor.

Molts dels treballs més influents de Margalef en el camp de l'ecologia teòrica es van basar en estudis oceanogràfics. D'altra banda, la seva doble dedicació a la limnologia i a l'oceanografia li permetia establir comparacions enriquidores,

tal com ell mateix havia comentat. Estudis sobre la distribució del fitoplàncton de la Ria de Vigo o sobre la variabilitat de petita escala a les costes de Castelló van ser importants per donar forma al seu pensament sobre la diversitat ecològica i sobre les relacions entre la successió ecològica i les propietats estructurals i funcionals dels ecosistemes. Diversos articles de Margalef sobre aquests temes es consideren avui clàssics de l'ecologia. En el seu discurs d'entrada a la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona, «La teoria de la informació en ecologia» (1957), que va tenir gran ressonància internacional, va proposar l'adopció d'expressions derivades de la teoria de la informació per calcular la diversitat de les comunitats. A «On certain unifying principles in ecology» (1963) presenta una sèrie de principis generals sobre l'organització i el funcionament dels ecosistemes. Al llarg de successives publicacions i llibres (*Perspectives in Ecological Theory*, 1968; *Our Biosphere*, 1997, entre d'altres), Margalef va ampliar i va refinar les bases d'una visió conceptual del funcionament de la biosfera, inclosa la seva dimensió humana, en la qual les relacions entre diversitat, biodiversitat, informació i energia exosomàtica o entre successió ecològica i evolució, tenien un paper clau. No va desatendre els aspectes educatius i ja el 1967, com a producte de les seves relacions amb un germà de la doctrina cristiana anomenat Ginés, que ensenyava a Veneçuela,

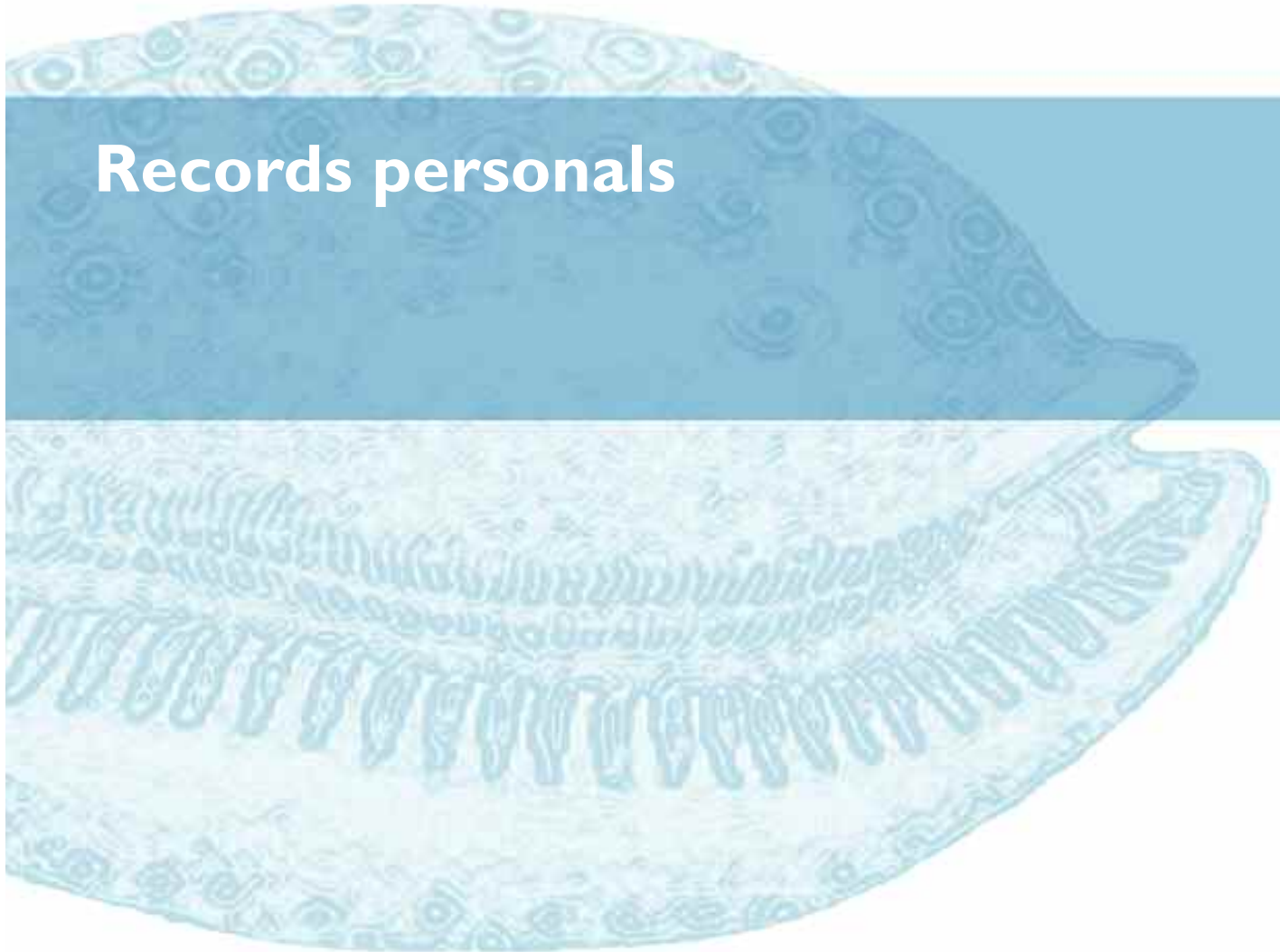
va editar una *Oceanografia* que aleshores va tenir, i àdhuc manté, un gran valor didàctic per als estudiants de llengua castellana.

Ramon Margalef unia a la seva excepcional brillantor intel·lectual una gran humanitat. Al llarg de la seva carrera científica va rebre nombrosos premis i distincions, però va mantenir sempre una actitud humil. Sota una aparença de dedicació gairebé exclusiva a la ciència, amagava una fina sensibilitat per les circumstàncies personals dels que l'envoltaven. Com a educador, sabia transmetre la seva fascinació per l'estudi del món natural a tota mena de públics. Era generós a l'hora de compartir les seves idees amb qualsevol que hi estigués interessat, però rares vegades donava instruccions directes als seus col·laboradors o deixebles; Margalef ensenyava per osmosi, a força d'exemple personal, acompanyat de vegades per algun comentari agudament irònic. A través de les seves ensenyances i de les seves qualitats humanes, Margalef va ser, i continua sent, un model i una font d'inspiració per a tots nosaltres. ●



RAMON MARGALEF, EL "BIÒLEG DE LA BIOSFERA"

Records personals



Carles Bas i Peired

Professor de recerca. Exdirector de l'Institut de Ciències del Mar. Exdirector de la Societat Catalana de Biologia. Membre de la Institució Catalana d'Història Natural. Membre emèrit de l'Institut d'Estudis Catalans. Membre de la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona.

L'autor recorda la seva relació personal i professional amb Ramon Margalef. Destaca la direcció de l'Institut d'Investigacions Pesqueres, la seva manera ben especial de donar classes i diferents situacions que mostren el caràcter i la personalitat de l'ecòleg.

En Ramon Margalef va néixer l'any 1919 a Barcelona. De fet, els seus orígens els trobem al Priorat, comarca que anys enrere fou certament important, tal com ho demostra el fet que Falset fos considerada cap de partit, circumstància que suposava certs avantatges si més no administratius. Però com va succeir a altres comarques de l'interior de Catalunya a finals del segle XIX i bona part del XX, la penúria fou la tònica característica en moltes d'aquestes, com va ser el cas del Priorat. En molts casos, això fou provocat pels estralls que va suposar la plaga de la fil·loxera. En qualsevol cas, la família Margalef es va traslladar a Barcelona, ciutat on va néixer en Ramon. Tanmateix, la família no va perdre el contacte amb el poble de Capçanes, d'on era originària. Penso que és important recordar que al Priorat hi ha un poble anomenat Margalef i em sembla que aquesta circumstància va contribuir al fort arrelament que sentia per la nostra terra. Com ja he esmentat en alguna ocasió, existia, encara que llunyà, un cert parentiu entre la seva família i la de la meua esposa. Aquesta relació estava lligada als orígens comuns al Priorat. Això, juntament amb l'amistat nascuda de l'amor per la natura, fa que rememorar antigues vivències relacionades amb en Margalef em sigui sempre molt plaent.

En Margalef va començar a treballar en una empresa d'assegurances però ja des de ben petit, quan passava alguna temporada a Capçanes, el seu interès per la natura es manifestava en totes les seves activitats. Els vilatans de Capçanes ja intuïen, potser innocentment, que aquell noi arribaria molt lluny. I és que tots els rierols, els tolls

d'aigua, petits o grans, eren llocs que cridaven a totes hores l'atenció de Ramon Margalef.

Aquesta situació va ser estroncada, i també en certa manera esperonada, per la Guerra «Incivil». Margalef en tenia molt mal record; recordo els seus comentaris sobre la batalla de Terol i la cruenta campanya de l'Ebre. Però no era un home de sucra pa en les tragèdies. Poques vegades li vaig sentir comentar aspectes relacionats amb aquests episodis. Recordo un dia, tornant de Vilanova, a bord de la barca de ròssec Estel·la Maris III. Es va obrir una esquerda a la quilla per on entrava força aigua, i Margalef aleshores féu un comentari relacionat amb aquella perillosa situació amb un fet de la guerra. Cap al final del conflicte Margalef va anar a Ciutat de Palma Mallorca, on va entrar en contacte amb el doctor Massutí Alzamora, director del Centre Oceanogràfic de la ciutat. Aquest és l'aspecte positiu que comentava en les línies anteriors.

Passat un temps, Margalef entra en contacte amb l'Institut Botànic de Barcelona, fet que li permet un intens contacte amb el món que l'apassiona. Es relaciona amb il·lustres botànics com ara Pius Font i Quer, Bolós i Vayreda, i Bolós i Capdevila, que van tenir gran influència pel que fa al seu futur científic. També manté contactes amb en Colom de Mallorca i amb Carles Faust, propietari i organitzador del jardí Marimurta de Blanes, amb qui manté una relació extensa i cordial. Aquesta amistat va facilitar que el senyor Faust cedís l'any 1949 les instal·lacions del seu jardí, on es van iniciar les activitats del que després seria l'Institut d'Investigacions Pesqueres.



Cap a finals de la dècada dels anys quaranta, quan alguns gestors rellevants ja s'havien adonat de la vàlua científica del jove Margalef, convalida tots els cursos de batxillerat en un sol examen i inicia la carrera de ciències naturals. La resol en dos anys, quan el temps normal eren quatre anys de vida universitària. En aquesta etapa coneix la mallorquina Maria Mir, que amb el temps esdevindrà la seva esposa.

Durant aquests anys Margalef treballa i investiga però hi ha una activitat que mereix ser destacada. Cada diumenge al matí agafa el tren cap a Blanes. En aquesta localitat havia entrat en contacte, a través del senyor Faust, amb en Tomàs, un pescador que li recull mostres de plàncton. Margalef li ha preparat una xarxa adequada per aquest menester i les ampolletes per guardar-hi les mostres. Cada diumenge recull les mostres de la setmana anterior i deixa les ampolletes pel diumenge següent. El resultat és la publicació d'un estudi interessant sobre el plàncton de la Costa Brava. Aquest treball, juntament amb altres, van ser publicats a la revista *Collectanea Botanica*, de l'Institut Botànic de Barcelona. Com que una de les màximes de Margalef era no perdre el temps, també va freqüentar la càtedra del doctor Ponz, coneguda per la seva recerca en fisiologia animal. Aquest jove catedràtic aporta a la universitat una vitalitat renovada.

El contacte amb García del Cid

Un fet important en la vida científica de Ramon Margalef té lloc l'any 1949 quan el doctor García del Cid, catedràtic de zoologia, reuneix un grup d'alumnes per parlar d'una nova aventura científica: la investigació marina. Margalef i jo ens coneixíem de les anades a Blanes per les activitats de l'Institut Botànic però la coincidència en el grup de García del Cid ens va acostar per a tota la vida. Ell procedia de la limnologia; jo de la botànica. Recordo que aquest fet va estranyar a García del Cid, que observava amb curiositat el canvi en la línia de recerca fet per tots dos. Precisament, arran de la posada en marxa del nou centre, es va organitzar un curs on el jove Margalef va introduir-nos en el coneixement del plàncton vegetal i on també hi va participar el doctor Massutí, gran especialista en zooplàncton marí. D'aquest cursset d'estiu va sorgir una publicació important: «Plàncton del Mediterráneo». Aquest treball no únicament va ser útil per als investigadors principiants del nou centre, sinó que va assolir un impacte científic internacional.

Margalef era una persona inquieta i activa. Era membre de la Institució Catalana d'Història Natural, de la qual va ser secretari durant molts anys. Més endavant va formar part de la Societat Catalana de Biologia i l'any 1978 va ingressar com a membre numerari a l'Institut d'Estudis Catalans. Aquestes activitats mostren l'amor profund que Margalef sentia per Catalunya. En una ocasió, quan ja mantenia contactes estrets i permanents amb els Estats Units, em va comentar que en diverses ocasions li havien ofert treballar en aquell país. D'acord amb la seva esposa, Maria Mir, sempre ho declinà.

Pel que fa a l'evolució científica de Margalef, es pot dir que va començar com a limnòleg, després va passar-se a ecòleg marí i finalment a ecòleg generalista. Els seus primers treballs científics són datats l'any 1943. Són els treballs que li permeten obtenir una beca d'estudis, així com poder abreujar els estudis universitaris. A més a més, Margalef es va beneficiar d'una beca i d'altres ajuts econòmics que li van permetre, per una banda, dedicar-se a la construcció d'aparells útils per a la recerca i, per l'altra, viatjar als Estats Units per visitar els principals centres de recerca de la seva especialitat.

Margalef viatjava sovint però sempre hi havia una motivació científica. De fet, havia rebutjat algun viatge. Recordo una proposta del professor García del Cid per assistir al primer congrés d'algologia que s'havia de celebrar a Trondheim. Tant Margalef com jo vàrem rebutjar la proposta perquè, en paraules seves, «si no s'està preparat, no cal gastar els diners de manera dubtosa».

L'any 1952, un any després d'obtenir el grau de doctor—a Madrid, com era preceptiu en aquells temps—, Ramon Margalef es va casar. Pràcticament al mateix temps es va integrar a l'Institut d'Investigacions Pesqueres, que ell va contribuir a consolidar. Des del primer moment treballa intensament i esdevé el principal puntal científic del director, García del Cid. Margalef va ser també un dels impulsors més actius d'una revista nova estrenada aleshores: *Investigación Pesquera*, així com de *Publicaciones del Instituto de Biología Aplicada*, on tenia una gran influència. Per una banda hi va publicar moltes de les seves investigacions i, per l'altra, García del Cid acostumava a consultar-li tant les línies de recerca que li proposaven els altres investigadors com els textos per publicar. Si el tema no era del grat o interès de Margalef, aquella recerca havia begut oli.

L'any 1957, amb motiu d'un viatge a Vinaròs per una reunió interna del personal de l'Institut, el

catedràtic de cristal·lografia, el doctor Campillo, ens va fer saber que la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona proposava Ramon Margalef com a nou acadèmic.

El treball que va presentar pel seu ingrés tenia per títol: «Teoría de la información en ecología. La relación entre diversidad y estructura ecológica». Aquest treball va assolir un gran impacte científic internacional i va ser traduït l'any 1959 a l'anglès per la revista *General Systems*. Ja aleshores la seva producció científica era reconeguda internacionalment, tal com vaig poder comprovar en un important congrés de botànica celebrat a París o tal com va poder constatar Pasqual Maragall en la seva època d'alcalde durant un viatge a Corea.

Director de l'Institut d'Investigacions Pesqueres

L'any 1959 va morir García del Cid, director de l'Institut d'Investigacions Pesqueres. El president del Patronato Juan de la Cierva, organisme del qual depenia el centre, es va traslladar a Barcelona i va convocar els caps de recerca per proposar el nom del substitut. Margalef va ser proposat per aclamació, un fet insòlit en aquells temps de nomenaments «a dit». Però la contundència del fet va obligar la direcció de Madrid a cedir, encara que amb reticències. El candidat de Madrid, en compensació, va ser nomenat sotsdirector del centre amb seu a Vigo. Durant el breu període de temps que Margalef exercí de director, va donar un fort impuls científic a l'Institut. El seu sentit de la responsabilitat queda reflectit en un fet que em va afectar directament. Si bé el director tenia el seu propi despatx, Margalef no va abandonar mai la seva zona de treball, situada a tocar de la meua. Un matí li vaig observar un comportament diferent i li vaig preguntar directament: «Què vols?» Em va respondre que li semblava que la recerca relacionada amb les pesqueries, que era el meu àmbit, estava poc desenvolupada. Jo mantenia aquesta línia de recerca en solitari. Li vaig donar la meua opinió i em va demanar una setmana de temps. Poc després es va convocar una reunió de la qual va néixer el Departament de Recursos Marins. Gràcies al seu suport i al nostre bon treball, aquest departament va adquirir ràpidament una gran volada fins a esdevenir un dels grups més forts del centre. Margalef va prendre aquesta decisió tot i no ser un gran entusiasta d'aquesta línia de recerca però considerà que era el millor

per a l'Institut. L'empenta de Margalef també es va manifestar amb molta força en aquelles línies de recerca que li eren més afins, com plancologia o oceanografia. Durant les campanyes oceanogràfiques, a vegades convidat en vaixells estrangers, més endavant en el B. O. Cornide de Saavedra, era feliç. Si durant les petites recollides de mostres a l'estació de Castelló, embarcats a la Nika es mostrava molt actiu, en els grans vaixells oceanogràfics amb molts més mitjans, es podia contemplar Margalef desenvolupant tot el seu potencial científic. Tenia ocasió de practicar un consell que repetia sovint: «llimar amb un martell i picar amb una llima».

Totes les activitats descrites prengueren una embranzida nova quan l'any 1967 va ser nomenat catedràtic d'ecologia de la Universitat de Barcelona. Va ser el primer catedràtic d'aquesta especialitat a Espanya. En una primera etapa va abandonar la direcció de l'Institut però va continuar com a membre molt actiu. Poc després va presentar la dimissió per incompatibilitat entre les dues tasques. La seva activitat com a catedràtic va confirmar tant la seva capacitat de treball com el do per estimular joves investigadors. Així, durant les vagues d'estudiants, Margalef seguia impartint les seves lliçons en el petit auditori del centre, que s'omplia a vessar.

Com a catedràtic va dirigir al voltant de quaranta tesis doctorals, sempre aconsellant sàviament el doctorand. Això no obstant, sempre deixava que aquest anés resolent les dificultats que anaven sorgint al llarg del procés. Aquest comportament estava d'acord amb la seva manera d'entendre la recerca; deia Margalef: «la recerca és exploració, joc i reflexió i alhora aplicats a cada punt de l'ordit i de la trama. La recerca en què penso ara, tant pot dur a millorar la producció de botons com a substituir-los, al funcionament d'una depuradora d'aigua, com a sintetitzar un nou compost químic o descobrir relacions, que encara no s'havien copsat, entre fenòmens naturals o activitats humanes que ens menen a una nova descripció més breu i més generalitzable que les que teníem. És una aventura no totalment imprevisible, rarament gratuïta i amb una capacitat d'addicció positiva».

Pel que fa al tarannà humà de Margalef, podem dir; per una banda, que fou un home dotat d'una gran curiositat, com la que tenen els infants, i, per l'altra, que no li agradava perdre el temps. La seva curiositat el va portar a la lectura dels clàssics i també de les novetats de l'època. També era lector habitual de la revista humorística *La Codor-*

niz. Però aquestes aficions mai no el van distreure de les publicacions científiques.

Pel que fa a la seva producció científica, destaquem «On certain unifying principles in ecology» (1963) i *Perspectives in ecological theory* (1968). En conjunt, la seva producció es caracteritza pel seu caràcter globalitzador: Margalef, a partir de disciplines bàsiques com ara la zoologia i la botànica, s'endinsa en l'estructura de la natura. Formulacions d'interrelació, relacions estructurals, conceptes d'ecosistema, aplicat en primer lloc als sistemes aquàtics, després als grans ecosistemes marins i finalment, quan Margalef arriba a la càtedra, a la gran complexitat ecològica. En canvi, temàtiques com, per exemple, la recerca en l'àmbit dels recursos explotables en el medi marí —que posteriorment esdevingué ciència de les pesqueries— no li interessaven massa. Això no obstant, Margalef havia d'assistir a alguna de les reunions convocades a Madrid per tractar assumptes relacionats amb la pesca i ben aviat es va guanyar l'admiració i el respecte de tots aquells almiralls que presidien les reunions. Quan apareixia una conflicte, sovint el president de la reunió deia: «a veure què opina el professor Margalef».

Pel que fa als estudis impulsats per Margalef, destaquem un treball sobre els embassaments espanyols, que va ser considerat un exemple en l'àmbit internacional. També un estudi ecològic i biogràfic sobre les Illes Medes, que va ocupar a molts investigadors. Però, a més a més de les publicacions i els estudis, la gran aportació de Ramon Margalef va ser elevar la teoria ecològica a autèntica ciència. La idea que l'home forma part de la biosfera és una aportació important des d'una perspectiva ecològica però encara més des d'un punt de vista social i polític quan pensem en la preservació de l'entorn natural planetari.

Divulgador i mestre

Es podria pensar que Margalef només es va dedicar a l'alta ciència. Però també va tenir temps i vocació divulgadora.

Pel que fa a la seva tasca de professor, era considerat un gran mestre, amb una gran capacitat per estimular els seus alumnes. Paga la pena recordar que mestre no és el mateix que professor; mestre és qui forma, el professor és qui ensenya. A voltes, durant una explicació, semblava que la deixava a mitges i jo mateix li havia comentat que potser els alumnes no el seguien. Però ell responia que havent insinuat el tema no

calia esmerçar-hi més temps i tot seguit ençava una altra qüestió. Com ja s'ha comentat, Margalef havia començat la seva activitat científica amb mitjans molt magres; el seu enginy i la gran capacitat de lectura —sentia un gran amor pels llibres— expliquen l'alt nivell de la seva tasca. Un altre aspecte destacat de Margalef era la cerca constant en la natura de la font de les seves recerques. Era un goig i un estímul contemplar; ja en la seva maduresa, com un científic tan reconegut observava amb curiositat qualsevol detall que la natura li posava al davant. Aquesta mirada atenta a la natura ha estat de gran importància en la qualitat i el reconeixement de la seva tasca científica.

Margalef creia que una observació adient era necessària però que després calia extreure'n el suc, buscar la síntesi. En aquest sentit, després d'un viatge als Estats Units va comentar: «moriran esclafats sota el pes de tanta documentació». I ell triava els seus col·laboradors a l'Institut d'Investigacions Pesqueres considerant aquestes capacitats d'observació i síntesi. Cal recordar en Joan Herrera, químic molt fi que, tant a Castelló com a Barcelona, fou la seva mà dreta. Posava en solfa les idees que continuament brollaven del cervell d'en Margalef.

Com que aquestes línies volen recordar en Margalef persona, m'oblido a consciència de molts guardons que va rebre. Això no obstant, vull recordar una anècdota. En una ocasió en què la Societat Catalana de Biologia el va proposar per a un premi, quan ho va saber va dir: «més valdria que dediquessin aquests diners a la recerca».

Per acabar, un record que ja he comentat alguna vegada. Pocs mesos abans que arribés el seu traspàs, assegut davant meu a la biblioteca de l'Institut de Ciències del Mar, comentava amb tristesa i ironia com anava perdent la memòria que, afegida a la seva capacitat de síntesi, li permetien copsar ràpidament allò essencial de qualsevol text científic. No era aliè a la seva decrepitud. En aquest context, el gran amor que sentia per la seva esposa li feia comentar-me: «Hem de fer tot el possible per les nostres dones, ens han permès molt del que hem fet». Ja propera la mort, Maria, la seva esposa, em va comentar que, prostrat al llit, conscient del final, com que ella havia d'anar a l'hospital a fer la sessió de diàlisi, li va dir: «vés que si quan tornes ja no hi sóc, ens trobarem més enllà». Margalef, el gran científic i investigador, no feia escarafalls a aquest pensament i convenciment. ●



RAMON MARGALEF, EL “BIÒLEG DE LA BIOSFERA”

Ramon Margalef i l'ecologia terrestre'



Jaume Terradas
CREAF-UAB

L'autor, deixeble de Margalef, relata com les idees d'aquest han influït en tota una generació d'ecòlegs terrestres de Catalunya i el País Valencià. Destaca la complexitat i la gran dificultat d'entendre el funcionament dels ecosistemes, tal com plantejava Margalef en la seva intenció d'enfocar una teoria integradora.

Vaig conèixer en Ramon Margalef quan estudiava i ell era el professor d'ecologia, encara no era catedràtic, i feia la teoria a la universitat vella i les pràctiques al que llavors s'anomenava Institut d'Investigacions Pesqueres (el centre del CSIC on ell encara treballava, avui Institut de Ciències del Mar). Quan jo feia cinquè de ciències biològiques, vaig demanar-li per fer alguna cosa a Pesqueres, com solíem dir, i em va posar a treballar amb en Francesc Vives, un biòleg marí expert, especialitzat en amfípodes. Vaig classificar amfípodes tot el curs, però aviat vaig descobrir que les sortides en barca per mostrejar em marejaven molt; i crec que aquest fet, tan minso si es vol, però d'una eficàcia incontrovertible, va fer que em decidís per l'ecologia terrestre. Després de fer la tesi a botànica (un treball sobre ecofisiologia hídrica de les plantes als Monegres) vam posar en marxa un equip de recerca en ecologia terrestre a l'Autònoma en què aviat es van aplegar alguns joves, entre els quals destacava especialment en Ferran Rodà. El 1978, juntament amb l'Antoni Escarré, aleshores a la Universitat de Barcelona però que tot seguit va passar a la d'Alacant, i en Carlos Gracia, de la Universitat de Barcelona, vam explorar el Montseny i vam localitzar una zona que semblava adient per fer-hi estudis del que es coneixia com a ecosistemes-conca: es tractava d'un concepte creat per Frank Bormann i Gene Likens que consistia a mesurar tots els fluxos d'entrada i sortida en petites conques cobertes d'una vegetació homogènia i amb substrat impermeable. Aquesta aproximació permetia fer balanços de nutrients del conjunt de l'ecosistema, que reflectien el seu

«metabolisme», i permetia també veure les respostes d'aquest metabolisme a diversos tipus de tractaments (com ara estassades, focs o altres). Vam demanar a en Margalef un cop de mà per preparar i presentar a Madrid un projecte de cooperació hispanonord-americana. Va acceptar de liderar-lo i de facilitar-nos el contacte amb Bormann, que estava a Yale. Al cap d'un parell d'anys, en Margalef es va retirar discretament, dient que aquell no era el seu tema i que, engegar el projecte, jo podia fer d'investigador principal. Així, va ser ell qui va donar la primera empenta en aquest camp als equips de tres universitats, l'Autònoma, la de Barcelona i la d'Alacant. Encara que només hagués estat per això, bé es podria dir que la influència d'en Margalef ha estat gran en la recerca en ecologia terrestre a Catalunya i al País Valencià.

Però, a més, tots érem deixebles i admiradors de les idees de Margalef. No vull dir que els ecòlegs terrestres catalans basin avui la seva recerca de manera primordial en les idees de Margalef. Això, en general, no és cert, ni fóra lògic esperar-ho. Però sí que és cert que els que ja som més grans vam rebre un impacte fortíssim de la relació amb ell, i les seves idees no han deixat d'estar presents en la nostra manera de veure l'ecologia. I els que quasi no l'han tractat s'han vist, tanmateix, sotmesos a la seva influència indirecta a través de nosaltres, de les nostres classes o dels seus textos. En el meu

.....
1 Aquest text, lleugerament modificat, va ser el que es va presentar en una sessió d'homenatge a Margalef l'octubre del 2004 a la Facultat de Biologia de la Universitat de Barcelona, facultat que avui porta el nom de Ramon Margalef.



cas, aquesta influència era palmària: quan vaig publicar el meu primer llibret, *Ecologia d'avui*, el 1971, farcit d'idees margalefianes, ell em va escriure un pròleg deliciós i ben característic de la seva personalitat. Més tard, jo treballava a temps parcial per a Edicions Omega i vaig fer d'intermediari entre en Margalef i l'editorial per a l'edició de la seva monumental *Ecología*, de 1974, de manera que vaig seguir el procés de molt a prop. La influència del mestre sobre els deixebles és d'una lògica perfectament natural. Però el cas de Margalef té algunes peculiaritats, com les que després comentaré.

L'època daurada de la projecció mundial de Margalef s'estén entre els darrers anys cinquanta i els darrers setanta del segle XX, quan formà part del grup d'ecòlegs (els germans E. P. i H. T. Odum, R. MacArthur, T. F. H. Allen, C. S. Holling, R. Levins, B. C. Patten, H. A. Simon, etc.) que estaven creant unes bases conceptuals, una teoria per a la ciència de l'ecologia amb l'estudi d'una sèrie de paràmetres macroscòpics de l'ecosistema, com ara la relació producció/biomassa o la diversitat, fortament inspirats en els progressos que en altres ciències havien fet L. Von Bertalanffy (sistemes generals), R. Rosen (optimització), N. Wiener (cibernètica), B. C. Goodwin (biologia de les cèl·lules), H. H. Pattee (sistemes jeràrquics), I. Prigogine (termodinàmica de processos irreversibles), etc.

A partir dels anys vuitanta, l'ecologia va optar decididament per uns punts de vista reduccionistes, i va disminuir l'interès pels paràmetres macroscòpics i la recerca de regles sintètiques de funcionament dels ecosistemes. Podríem caure en la temptació de considerar que el cicle d'autors com ara els Odum o en Margalef va quedar clos, per tant, fa més d'un quart de segle, i fins i tot amb una certa estigmatització com a autors holistes, considerats una mica somiatruïtes i metafísics per la línia de pensament dominant. Així era, aparentment, però Margalef va seguir elaborant les seves idees, encara que amb menys ressò, i va produir un grapat de llibres realment impressionants en qualitat i volum, com per exemple els seus tractats *Ecología i Limnología*, i els més teòrics *Biosfera, entre la termodinàmica y el juego, Teoría de los sistemas ecológicos, Our Biosphere*, etc. Va deixar-nos un munt d'idees que, en el seu moment, no era possible sotmetre a test, intuïcions si es vol, que tenia cura de no presentar com a resultats de recerca i que apareixen prudentment matisades en els seus escrits com interrogants oberts

o línies de recerca futura. Crec que moltes d'aquestes idees aniran donant fruit en les properes dècades, encara que la manera de funcionar de la ciència d'avui dia pot fer que quan se'n recuperi alguna potser no es reconegui que «Margalef ja ho havia dit». De fet, ja està passant. En aquest escrit em voldria referir a l'herència d'idees margalefianes que toquen l'ecologia terrestre. Per descomptat que Margalef no estaria satisfet pel fet que els ecòlegs ens dividísim en aquàtics i terrestres, ni tan sols que ens separéssim dels geòlegs o dels químics, ja que tenia una visió unitària de la ciència. Però també és cert que hi ha pocs ecòlegs que facin estudis en sistemes terrestres i en sistemes aquàtics, a causa de la diferència de tècniques. En tot cas, m'agradaria començar per un tema molt estimat per Margalef.

Pels ecòlegs terrestres, la teoria de la successió és potser un dels pilars bàsics de la nostra ciència. Ell va fer una teoria bàsica de tota la seva concepció del funcionament de la natura. Eugene Odum, el 1969, va elaborar una taula sobre les tendències de canvi al llarg de la successió. Moltes de les tendències que hi descrivia no han estat confirmades després (és més, un bon nombre han estat demostrades errònies) i tampoc no ho ha estat alguna de les que va apuntar Margalef al començament, però ell va anar depurant el seu pensament sobre la successió. No la veia solament com un més o menys procés banal de canvi, a causa del desenvolupament diferencial dels cicles de vida de les diferents espècies, sinó com un procés amb una base física termodinàmica i com el marc en el qual es dona l'evolució i en el qual, per tant, es conjuga el paper de l'energia amb el de l'adquisició d'informació en els sistemes vius. Aquest procés de la successió té un caràcter cíclic, i a Margalef li agradava insistir en el fet que es tractava d'un cicle amb asimetria entre la construcció lenta i espontània i la destrucció sobtada.

Un treball de Walker, publicat en castellà en el volum d'homenatge que la revista *Ecosistemas* dedicà a Margalef després de la seva mort, feia una anàlisi, al meu entendre un xic esbiaixada, de les idees de Margalef sobre la successió, en no reconèixer que el punt crucial del plantejament de Margalef sobre la successió és aquesta cerca d'una base física, termodinàmica, de caràcter general, i no la de mecanismes causals; per tant no té gaire sentit retreure-li justament, com fa l'esmentat autor, que no adoptés el punt de vista reduccionista sobre les causes.

.....
**A partir dels anys
vuitanta, l'ecologia
va optar per uns
punts de vista
reduccionistes, i va
disminuir l'interès
pels paràmetres
macroscòpics**
.....

Walker etiqueta Margalef com un holista, cosa que es considera un pecat, com ja he dit, als ulls de la major part de la comunitat científica, i pecat que ell segurament hauria admès, però l'holisme margalefià és un intent d'explicació general basat en una immensitat de dades d'observació i d'experimentació, dades concretes, d'organismes concrets, dels quals coneixia vida i miracles, de sistemes concrets que havia estudiat bé. Walker, en línia amb el pensament dominant, acusa també Margalef d'un rastre de l'emergentisme de Clements en les idees d'autoorganització direccional de la successió margalefiana, però l'emergència de propietats no és, ni de bon tros, un invent estrany de Clements: hi ha propietats emergents arreu, per exemple en el moviment en massa de l'aigua que comença a bullir en una cassola. És cert que en l'aigua que bull podem prescindir de cada molècula i descriure propietats estadístiques, ja que les molècules són totes iguals, mentre que els ecosistemes plantegen problemes més complicats. Margalef d'això n'era ben conscient. Walker també troba que el lligam entre evolució i successió que establia Margalef ha estat superat, i que «les idees de Margalef sobre relacions entre successió i cibernètica, teoria de la informació i evolució han trobat poc suport empíric o teòric». És del tot cert que moltes de les idees formulades per Margalef en aquest camp no han estat confirmades, i que un cop més la majoria de científics van en altres direccions, Margalef també n'era plenament conscient. Però ell pretenia assenyalar possibilitats cap a una teoria integradora, ni que fos a contracorrent. I el fet és que aquestes idees segueixen sent suggeridores. Potser per això el mateix Walker acaba reconeixent, una mica per sorpresa després de les crítiques, però crec que amb raó, que «sense un esquema general que ens permeti explicar la successió, algunes de les idees que formen la concepció oberta que Margalef tenia sobre aquest tema haurien de ser objecte de més atenció».

L'expressió més clara de la successió en el món del plàncton és el mandala de Margalef, publicat per primer cop el 1978 (segons va tenir la gentilesa d'aclarir-me la que ha estat la principal deixeble de Margalef en l'estudi del fitoplàncton, la Dra. Marta Estrada, de l'Institut de Ciències del Mar). En aquest mandala, les condicions de vida del plàncton estan definides pels graus de turbulència i de disponibilitat de nutrients. El doble joc de condicionants ambientals que repre-

senten nutrients i turbulència o pertorbació l'han reconegut també els ecòlegs terrestres. Entre ells, fou Grime qui proposà, el 1979, per tant un any després, però sense cap relació, un esquema triangular per a les estratègies C-R-S de les plantes que es pot reformular en una taula de quatre entrades amb dades referents a disponibilitats alta i baixa de nutrients i grau de pertorbació alt o baix, tal com comento al meu llibre *Ecologia de la vegetació*.

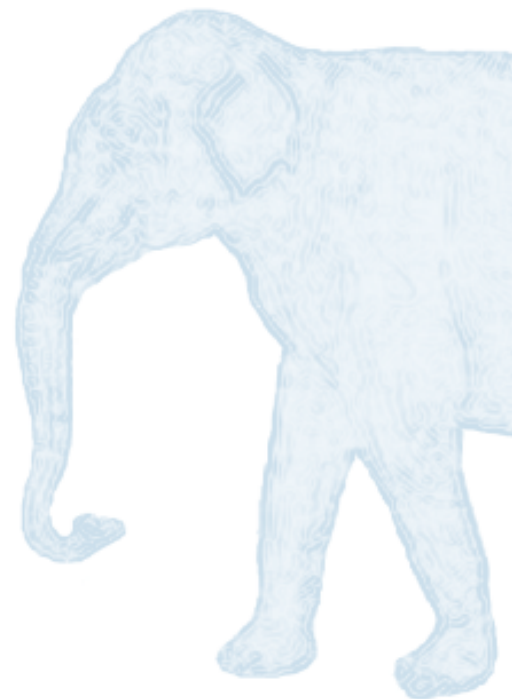
Les estratègies de Grime reproduïen en el fons el mateix plantejament del mandala de Margalef. Les espècies competidores es poden correspondre amb una estratègia K i les ruderals es corresponen amb una estratègia R, mentre que les que toleren situacions d'estrès, igual que els dinoflagel·lats causants de les mareas roges, estan en una tercera casella. La quarta casella és buida, tant en el mandala de Margalef com en la taula de Grime: no hi ha espècies que tolerin pocs nutrients i molta pertorbació. Avui, això de les estratègies sona antic, però la idea ha tingut una continuïtat clara amb els *grups funcionals* que, en canvi, estan molt de moda per fer models i construir teoria en ecologia vegetal. Això enllaça amb preocupacions molt velles de Margalef.

En ecologia terrestre fa molt de temps que se'n parla, dels tipus biològics, i la classificació més coneguda, la de Raunkjaer, és de 1935. Relaciona morfologia de la planta i condicions físiques: la base de la classificació és com passen les plantes el període estacional desfavorable. Els tipus biològics més dominants de plantes de molt diferents llocs del món han estat predits amb notable èxit per Box (1980) a partir d'un model essencialment climàtic. Els darrers anys, sobretot amb el neguit de fer programes que simulin el funcionament dels ecosistemes sense necessitat d'incloure totes les espècies, cadascuna amb les seves característiques, hi ha hagut un gran interès pels grups funcionals: el que es desitja és ajuntar en un mateix grup funcional conjunts d'espècies de comportament similar. Aquests grups funcionals, però, s'han de definir per a cada problema que s'estudia. Sovint, espècies molt semblants difereixen en algun aspecte del seu comportament, i si aquest aspecte és rellevant per al problema estudiat, han de separar-se en grups diferents. Per tant, els grups funcionals poden ser útils, però tenen un valor purament instrumental a l'hora de fer un programa concret per a un determinat ecosistema, i, a diferència dels tipus biològics clàssics, no impliquen una integració clara i senzilla de les relacions entre

.....

**Un dels treballs
més importants de
Margalef es refereix
als tipus biològics
del plàncton en
relació amb les
característiques
hidrodinàmiques
del medi**

.....





morfologia, energia lliure en el medi i recursos.

Crec que val la pena seguir tenint a la vista els tipus biològics, però relacionant-los amb l'energia lliure, en la línia que seguí Margalef. Un dels treballs més importants de Margalef es refereix als tipus biològics del plàncton en relació amb les característiques hidrodinàmiques del medi. En el plàncton, la segregació ecològica (les diferències de «nínxol» entre les espècies) depèn, en primer lloc, dels tipus biològics. Es deu sobretot a diferències de mida, densitat, taxa de sedimentació i capacitat de moviment amb què s'enfronten a la turbulència (que és entrada d'energia mecànica). Entre formes de vida semblants, la segregació és considerada com un resultat de diferències en les respostes de les taxes de multiplicació a la llum i a les concentracions de nutrients, i això pot representar-se per la covariància entre els factors de producció (cito textualment Margalef, 1991). No obstant això, hi ha petites diferències entre espècies amb requeriments i en habilitats per obtenir recursos. Una altra segregació ecològica es deu a l'estructura de la turbulència, amb cèl·lules petites o cadenes grans associades a vòrtexs petits o grans, i acumulació de matèria orgànica o picoplàncton en llocs tranquils. Això ho podem transferir als ecosistemes terrestres, en què també hi ha segregació entre formes biològiques a diferents escales espaciotemporals. En el cas de les plantes, els recursos són iguals per a totes (llum, aigua i nutrients). Les plantes grans, d'arrels fondes, controlen llum i sòl i els seus recursos fluctuen menys i només a llarg termini, com en els vòrtexs grans i lents. Les plantes petites, amb arrels superficials, depenen de clarianes ocasionals en el dosser o de canvis estacionals per la llum, i de pluges també ocasionals per l'aigua i els nutrients (vòrtexs petits, ràpids). Això també ho explico al meu llibre sobre ecologia de la vegetació, així que no m'estendré aquí sobre el tema.

Un altre tema preferit de Margalef des dels inicis de la seva carrera va ser el de les al·lometries i les temperatures. La lliçó escrita en rebre el prestigiós premi Robert H. MacArthur per James H. Brown i col·laboradors, que fou publicada a *Ecology* fa un parell d'anys, «Toward a metabolic theory of ecology», presenta una teoria de la variació de la taxa metabòlica amb la mida del cos i la temperatura que sembla ajudar a explicar un munt de coses sobre cicles de vida, interaccions entre espècies i processos que regulen taxes de producció de biomassa, respira-

ció i dinàmica tròfica. La seva lectura fa pensar molt en el primer Margalef i és un exemple del retorn d'algunes de les seves idees. Brown és el pare del que s'anomena macroecologia i un dels ecòlegs més influents.

Margalef ens deia també que «una de les mancances més notables de l'ecologia terrestre és la migradesa de les informacions sobre les disponibilitats de fòsfor en els diversos sòls i de la circulació del fòsfor en els ecosistemes terrestres, com també sobre el paper dels fongs en el transport d'aquest». Fa dos anys es demostrà en sis biomes forestals molt diferents que la manca de fòsfor és el que limita les fases finals de la successió i provoca la decadència del sistema. El treball no cita Margalef, però cap dels seus deixebles no pot deixar de pensar que aquesta línia també l'havia anunciat de manera reiterada i que sovint es lamentava que hi hagués tant d'interès pel nitrogen i tan poc pel fòsfor i ens incitava a estudiar-lo. En Margalef deia, cito abreujadament: «l'evolució de la vida, començant per la vegetal, ha anat molt lligada a superar les possibles mancances de fòsfor. Quan s'acaba el fòsfor, la fotosíntesi continua proporcionant poder reductor a la cèl·lula... Em sembla evident que l'invent de la fusta és una conseqüència de la manca local de fòsfor i de la capacitat del sistema fotosintetitzador, que no deixa de comunicar poder reductor a la cèl·lula mentre rebí llum. És clar que aquesta capacitat es pot manifestar també produint materials molt diversos, entre els quals hi ha cadenes d'hidrocarburs de totes les llargades, simples o ramificades o amb anells (farigola, romaní...) amb moltíssimes combinacions possibles, tal com trobem en la varietat d'essències de tota mena...». Aquí apareixen dos temes. Un és el dels compostos volàtils i la seva significació, que en Josep Peñuelas i el seu grup, al CREAL, estan estudiant intensament, i que és un dels temes avui punters dins l'ecologia terrestre. En Margalef en parlava fa dècades. L'altre és que Margalef veia la fusta com una clau per entendre l'organització de la vida animal en els ecosistemes terrestres. Mentre els animals dominen els medis marins i en bona part redueixen les plantes a una escassa complexitat i a una alta taxa de renovació, als continents les plantes van evolucionar primer en competició entre elles, sense una gran pressió dels animals, i van competir per créixer i van desenvolupar la fusta. Els animals no han estat, en general, capaços d'enfrontar-se amb aquest invent, excepte en

alguns biomes i amb les excepcions notables de certes espècies socials, concretament els tèrmits i els homes. És a dir, els animals que han pogut imposar el seu control sobre les plantes, convertides en grans organitzadores de l'espai gràcies a la fusta, han estat només organismes de vida social, i això ha dut potser també a la selecció de la comunicació, la intel·ligència, etc. Només els insectes socials i l'home són molt importants en l'organització de l'espai en els continents. Segons Margalef, en una xarxa tròfica l'energia entra per un extrem i la informació s'acumula a l'extrem oposat. Això ens duu a una visió nova de la xarxa tròfica. Quan hi ha molta energia externa, com per exemple en el cas del medi turbulent del plàncton, la vida desenvolupa estructures relativament senzilles. Animals de vida llarga i cos gran funcionen sobre turbulències més àmplies i lentes, menys explotats per l'excés d'energia i acumulen més informació. Crec que en els continents els animals que es troben a l'extrem d'aquest gradient energia-informació són els que aprofiten, de manera generalista, restes d'energia de moltes cadenes tròfiques no usades pels especialistes. És el que fan els omnívors. Com que han de tractar amb materials molt diversos, tenen una pressió selectiva en favor de la cooperació, la vida social, i l'increment d'habilitats manuals i intel·lectuals. Les formigues i els homes són els animals continentals amb més biomassa, i això em sembla explicable per aquesta observació de Margalef sobre la «distància» entre entrada d'energia i adquisició d'informació.

Una altra font d'inspiració margalefiana per als ecòlegs terrestres és la seva manera de distingir l'ecologia de «pala i escombra», necessària però de poca volada, que practiquen les administracions, d'una veritable ecologia humana que entengui el paper de l'home a la biosfera, en molts aspectes semblant al d'altres organismes però amb una potència i una capacitat d'acceleració del canvi que està fent el medi més impredecible. Un tema crucial del qual parlava molt els darrers temps és la inversió topològica de les pautes del paisatge. Aquest punt de vista de Margalef lliga amb temes clàssics d'ecologia del paisatge i la biologia de la conservació, com ara el de la fragmentació o el de les estratègies de conservació, emmarcant-los en una perspectiva més general. Margalef creia que cal trobar un significat ecològic a coses simbòliques bàsiques en l'organització social, com per exemple els diners, per aproximar ecologia i econo-

.....

**Segons Margalef,
en una xarxa tròfica
l'energia entra per un
extrem i la informació
s'acumula a l'extrem
oposat**

.....



mia, i aquest és encara un repte pendent. Els diners són, sens dubte, un mecanisme d'estabilització de les reserves de cadascú davant de les fluctuacions que suposa el sistema d'intercanvi, però en el seu paper s'hi barrejen altres aspectes més difícils d'interpretar.

Tot el que precedeix només han volgut ser unes mostres del fet que el pensament de Margalef seguirà essent una font de reflexió per entendre l'ecologia, també la terrestre, durant anys. Com que la memòria del sistema científic del *publish or perish* i el predomini anglosaxó no ajuden que es conservi el coneixement dels clàssics, i menys dels perifèrics, crec que nosaltres tenim alhora un deute i una gran sort per posseir l'herència ben viva encara, en els seus llibres i en els nostres cervells, de Ramon Margalef.

No voldria acabar sense preguntar-me per què Margalef ha tingut un impacte tan gran sobre els qui el vam conèixer. Tot el que s'ha dit abans sobre ciència no explicaria aquest fet. Ni ho fa el fet que hagi estat durant un temps el científic espanyol més prestigiós, ni l'evidència que ha estat el més gran de tots els naturalistes catalans. Hi havia quelcom més que anava més enllà de l'admiració científica o la simpatia i s'acostava a la veneració, tot i que ell hauria detestat veure's com un guru i certament no era predicador

de cap secta. És obvi que Margalef cercava una explicació de la natura, no vull dir que cregués que la trobaria, però sí que la cercava, una teoria global sobre la natura. Quelcom a mig camí entre el *perquè* i el *com* de tot plegat. El *perquè* és filosofia, metafísica, el *com* és ciència, i ell es movia entre aquests dos nivells, atrapat entre la curiositat apassionada pels fets i el misteri impossible dels *perquè*. Aquesta situació és en certa manera romàntica, i sense la seva capacitat ni la seva audàcia, tots ens hi podem trobar implicats, i això ens captiva. També la seva mirada de nen encuriós davant de qualsevol detall de la vida, la seva modèstia, el seu tarannà respectuós amb els altres però no gens incaut, la seva antipatia envers el poder i envers l'exercici del poder, la seva austeritat, la seva llegenda personal de vocació indeclinable davant d'obstacles enormes, tot això es confabulava amb la fascinació intel·lectual i aquest ingredient romàntic. Personalment, no tinc el sentit del sagrat, però no se m'acudeix cap altra comparació que una mena de santedat laica en aquesta imatge una mica franciscana que teníem d'ell. De sants no en reconec, llevat potser d'en Ramon Margalef i dos o tres més que no he arribat a conèixer. Si existeix el cel en el qual ell creia, li desitjo que segueixi trobant moltes preguntes per fer-se i molts animalons

per observar. Nosaltres l'enyorarem, però encara hem de saber treure suc del que ens va ensenyar. Christopher Marlowe, que era ateu, en el seu Tamerlà va escriure que la natura ha creat les nostres ànimes perquè compreguin la prodigiosa arquitectura del món. Margalef hauria trobat que això era potser pretensions, però segur que hauria estat d'acord que estem fets per *intentar* comprendre aquesta arquitectura prodigiosa. ●



SUMARI

- 3 **Editorial**
Lluís Reales
- 4 **Mestre d'ecòlegs i d'ecologistes**
Joandomènec Ros
- 16 **Margalef i l'ecologia terrestre**
Jaume Terradas
- 22 **Margalef i l'oceanografia**
Marta Estrada
- 26 **Records personals**
Carles Bas
- 30 **L'ecoleg marí més influent des de Darwin**
Paul Dayton
- 34 **Entrevista a Ramon Margalef**
Lluís Reales
- 38 **La teoria ecològica i la predicció en l'estudi de la interacció entre l'home i la resta de la biosfera**
Ramon Margalef

SUMARIO

Texto castellano



- 67 **Editorial**
Lluís Reales
- 68 **Maestro de ecólogos y ecologistas**
Joandomènec Ros
- 73 **Margalef y la ecología terrestre**
Jaume Terradas
- 76 **Margalef y la oceanografía**
Marta Estrada
- 78 **Recuerdos personales**
Carles Bas
- 79 **El ecólogo marino mas influyente des de Darwin**
Paul Dayton
- 80 **Entrevista a Ramon Margalef**
Lluís Reales
- 82 **La teoría ecológica y la predicción en el estudio de la interacción entre el hombre y el resto de la biosfera**
Ramon Margalef

SUMMARY

English text



- 99 **Editorial**
Lluís Reales
- 100 **Master of Ecologists and Environmentalists**
Joandomènec Ros
- 105 **Margalef and Terrestrial Ecology**
Jaume Terradas
- 108 **Margalef and Oceanography**
Marta Estrada
- 110 **Personal recollections**
Carles Bas
- 111 **The most influential marine ecologist since Darwin**
Paul Dayton
- 112 **Interview with Ramon Margalef**
Lluís Reales
- 114 **Ecological Theory and Prediction in the Study of the Interaction between Man and the Rest of the Biosphere**
Ramon Margalef



Margalef, el «biòleg de la biosfera»



«L'ecologia és allò que li queda a la biologia quan tot el que és important ja ha rebut algun nom», solia repetir Margalef als seus alumnes. Home profundament crític, murri, savi, creia que acomodar-se en un núvol d'autocomplaença, d'ortodòxia acrítica, era una renúncia evolutiva. I era fidel a aquesta convicció tant en les grans coses de la vida com en les petites.

Margalef és possiblement el científic català que ha tingut més influència internacional. Les seves contribucions intel·lectuals, a partir de connectar la teoria de sistemes i la teoria de la informació amb el naturalisme de tota la vida, han modificat la manera de mirar i comprendre la natura. Així mateix, ha deixat petjada profunda en moltes generacions de biòlegs i altres científics. Ser margalefià és gairebé una actitud davant la vida i una manera d'entendre la ciència.

Aquest número especial de la revista *Medi Ambient, Tecnologia i Cultura* vol ser un homenatge a la seva persona, un document que subratlli la decisió que van prendre el president Maragall i el seu Govern de crear el Premi Internacional Ramon Margalef. Està clar que aquest és un número escrit per deixebles, amics i col·legues de Margalef, i dona una visió polièdrica de l'home i del científic.

Les reflexions de Joandomènec Ros ens ofereixen una visió holística del mestre d'ecòlegs i d'ecologistes i subratllen el seu compromís amb l'entorn social. Jaume Terradas i Marta Estrada, deixebles, repassen respectivament la seva influència en l'ecologia terrestre i marina. Carles Bas, coetani i company, dibuixa un retrat molt ric a partir dels seus records personals. Paul Dayton, que va ser el guanyador de la primera edició del premi Margalef, ha acceptat que reproduïm el seu discurs d'acceptació del guardó. Finalment, per una banda, hem recuperat una entrevista de principis dels anys noranta que mostra el Margalef crític, murri, i heterodox que comentàvem; i per l'altra, complementem aquest número amb un text escrit pel mateix Ramon Margalef l'any 1973. És un text clau i molt significatiu per entendre el seu pensament, que explica per què ha estat batejat com a «biòleg de la biosfera». ●

Lluís Reales

Director de *Medi Ambient, Tecnologia i Cultura*



RAMON MARGALEF, EL "BIÒLEG DE LA BIOSFERA"

Mestre d'ecòlegs i d'ecologistes'



Joandomènec Ros

Departament d'Ecologia, Universitat de
Barcelona

Ramon Margalef (1919), ecòleg, limnòleg, oceanògraf i planctòleg, és possiblement el científic i naturalista català de més anomenada internacional. Mestre d'ecòlegs i d'ecologistes, Margalef va realitzar aportacions destacades en l'àmbit de l'ecologia però sense descuidar l'entorn social. Tots aquells coneixements que l'estudi de la natura li van desvetllar, els va intentar explicar de manera senzilla a tothom, però especialment als infants.

Si és cert, com s'ha dit més d'un cop, que per protegir la natura se l'ha d'estimar; i per estimar-la se l'ha de conèixer; difícilment trobaríem a casa nostra un estudiós de la natura que hagi contribuït més a aquest coneixement (i, per tant, a la protecció de la natura) que el professor Ramon Margalef. Margalef va complir sis dècades de vida activa en la recerca científica en els camps de la limnologia, l'oceanografia i l'ecologia, i en tots ells va crear escola, a casa nostra i a fora. És un dels ecòlegs més respectats a tot el món, no només per la feina ingent que va fer en cada una d'aquestes disciplines, de les quals es pot dir sense exageració que ell en va ser el pioner i impulsor a Espanya, sinó perquè aquesta tasca de recerca que el va fer recórrer bona part de les aigües continentals de la península Ibèrica i estudiar la Mediterrània, les rieres gallegues, el mar Carib i l'àrea d'afiorament de les costes del Sàhara, entre d'altres, ha estat acompanyada de la publicació de treballs i llibres seminals i trencadors en teoria ecològica i ecologia general.

Un resum en el marc que permeten aquestes pàgines seria per força massa sintètic i injust, i per això mateix em remeto a allò que jo mateix (Ros, 1991) deia sobre la seva vida i la seva obra en el volum d'homenatge que fa quinze anys li vam dedicar els seus deixebles i col·legues (Ros & Prat, 1991), a la biografia que en va publicar la Fundació Catalana per a la Recerca (Bonnín, 1994) i a la panoràmica històrica dels estudis ecològics als Països Catalans (Camarasa, 1989), de la qual Margalef és el més conspicu protagonista. Però no és exagerat afirmar que des de

l'aparició de les seves primeres publicacions de teoria ecològica, en les dècades dels cinquanta i seixanta, fins al darrer dels seus llibres, *Our Biosphere* (1997), l'aportació d'aquest naturalista *cum* ecòleg a la comprensió del funcionament de la biosfera ha estat immensa, i reconeguda internacionalment. (Allò que s'espera d'un elogi és que faci quedar bé la persona tractada, però les cartes de suport que vam recollir al departament en ocasió de preparar la seva candidatura per al premi Ramón y Cajal d'investigació científica, que li fou concedit el 1984, suposen un impressionant i variadíssim ventall de testimonis de reconeixement a la seva labor en els diversos camps de la ciència ecològica que ha conreat, procedents de professionals de tot el món.)

Les primeres d'aquestes publicacions sobre teoria ecològica són els seus articles «La teoria de la informació en ecologia» (1957), en què proposava l'aplicació de mètodes de la teoria de la informació a l'estudi de la diversitat d'espècies d'un ecosistema, que va ser publicat l'any següent en anglès a la revista *General Systems*, i «On certain unifying principles in ecology» (1963), i el seu llibre *Perspectives in ecological theory* (1968). Aquest darrer va tenir una gran influència a tot el món (va ser traduït a diverses llengües, entre elles al castellà el 1978), i va suposar la difusió de les seves idees sobre l'organització i el funcionament de la biosfera, de les quals *Ecologia* (1974a), *La biosfera*, entre

.....
1 He citat literalment els textos de Margalef en català i castellà, mentre que he traduït els escrits en altres llengües.



la termodinàmica y el juego (1980b), *Limnología* (1983a), *Teoría de los sistemas ecológicos* (1991d), *Oblik Biosfer* (1992b) i *Our Biosphere* (1997) han suposat contínues posades al dia. Com he dit, en aquestes pàgines no pretenc glossar el Margalef ecòleg, sinó tot just fer una pinzellada d'una faceta menys coneguda, però que corre paral·lela a les altres esmentades, del nostre gran naturalista: el seu interès pel significat i el rol ecològic de la nostra espècie dins de la biosfera. El seu missatge és que l'ésser humà és una espècie animal més, molt nombrosa (i molt poderosa, mercès a l'ús d'energia externa) però sotmesa a les regles del joc que les lleis físiques i biològiques imposen a tot ésser viu, i que el seu paper de modificador profund de l'entorn, allò que hem convingut a denominar «impacte ecològic o ambiental», és una altra de les moltes perturbacions a les quals els ecosistemes del planeta estan sotmesos, i a les quals l'evolució (de la qual també som el resultat, no ho oblidem) els ha adaptat. Aquesta visió, que contrasta sovint amb la panoràmica catastrofista que ens en donen els ecologistes des de fa més de mig segle —i que si es vol situar en el temps és contemporània de les de Rachel Carson (1962), Garrett Hardin (1968) i els Ehrlich (dècada de 1970), per esmentar tres fites importants en la difusió al gran públic de les relacions entre l'home i el seu entorn—, té el mèrit d'estar fonamentada en una teoria ecològica sòlida i de base científica.

Per aquesta contribució a la comprensió del paper de l'home dins de la biosfera (fa temps que Margalef deia que el programa MAB, *Man and Biosphere*, de la UNESCO, dirigit a l'estudi de les relacions entre l'home i la natura i a fomentar la conservació d'aquesta en un món transformat pels éssers humans, s'hauria d'haver anomenat MIB, *Man in Biosphere*) no dubto a afegir a les facetes ja universalment reconegudes de Margalef (de naturalista, ecòleg, limnòleg, oceanògraf) la de conservacionista o ecologista, en la seva varietat de teòric de la conservació i/o de l'ecologisme. Potser aquesta etiqueta no agradarà al col·lectiu que la fa servir, merescudament o no (que poden no combregar amb algunes de les idees de Margalef que els mitjans de comunicació han difós de tant en tant; vegeu, però, què se'n diu, d'aquests, més endavant); però des d'aquí m'agradaria dir-los que no opinin fins haver llegit els principals textos del professor Margalef que s'esmenten en la bibliografia.

Al professor Margalef no li agradava, tampoc, que se'l definís com a ecologista, de manera que li'n demano excuses i, si cal, ho matisaré: mestre d'ecologistes, com ho ha estat d'ecòlegs. Com tampoc no li agradava que les preguntes que sovint li feien els periodistes, que saben que tractaven amb un «savi de l'ecologia», tinguessin a veure amb les deixalles urbanes, la contaminació de la Mediterrània o la protecció de la biodiversitat, encara que sobre tots aquests punts podia opinar i hi tenia idees molt clares. Perquè creu que no són aquests els veritables problemes ambientals; que els mitjans i els polítics (i també alguns ecòlegs, per raons potser no del tot confessables) han contribuït a donar una imatge esbiaixada de l'ecologia (el que ell anomena «l'ecologia de pala i escombra», ocupada exclusivament de feines de neteja i endreç de l'entorn), i, sobretot, que la natura és tan meravellosa i el seu estudi tan interessant que ocupar-se d'aquestes foteses del medi ambient és perdre un temps valuós, que podríem dedicar millor a esbrinar-ne els mecanismes de funcionament.

Per això els periodistes no acaben d'entendre que «passi» d'aquests temes:

En les meves diferents trobades amb els periodistes m'he vist repetidament implicat en converses d'aquest gènere: «La Mediterrània és morta?». «No, que jo sàpiga». «Lavors, hi ha vida normal, en les seves aigües?». «En quaranta anys, la composició química de les seves aigües lliures i les diferents poblacions d'organismes que hi viuen gairebé no han canviat». «Però, llavors, com és que la gent es queixa de la contaminació creixent, els pescadors pesquen cada cop menys peix i, de tant en tant, ens espanta l'abundància excessiva de meduses, o les masses imponents de mucíl·lag, i els residus d'hidrocarburs a les platges, que cal afegir a la porqueria que sobre les mateixes platges amunteguen els turistes i les poblacions costaneres?». I, llavors, faig un llarg discurs que, naturalment, no és possible sintetitzar o bé és sintetitzat malament; i és per això que sembla que hom sigui un cínic o un ciutadà inconscient i irresponsable. (Margalef, 1990a)

I el públic en general tampoc no comprèn del tot aquest aparent desinterès pels problemes ambientals, sobre els quals sovint ironitzava:

...hace unas semanas tuve que pronunciar otro «sermón» en relación con el Mediterráneo, acerca de cuyo acontecer en el curso de los 40 últimos años me creo relativamente infor-



.....

**L'ésser humà és
una espècie animal
més, sotmesa a les
regles del joc que
les lleis físiques
i biològiques imposen
a tot ésser viu**

.....

mado, dentro de lo que cabe. Chocó que no fuera más catastrofista y caí pronto en la cuenta de cómo hubiera debido ser un lenguaje más correcto políticamente, que, para ser sincero, me hubiera dado repelús: «Sí, en efecto, el Mediterráneo se está muriendo, aunque quizá no podamos decir que está totalmente muerto. Con nuestro esfuerzo, si movilizamos debidamente a la gente, y con la ayuda de los gobiernos, aún hay esperanzas de poder salvarlo». Y, motivada la gente, podrá proseguir el relato explicando las desgracias presentes y las que se avecinan si no obramos adecuadamente. (Margalef, 1996)

Actualmente, la ecología goza de gran predicamento en los medios de comunicación y en la propaganda política. Los resultados son mixtos: no vale aquello de que, bien o mal, lo importante es salir en los periódicos. Mucho esfuerzo y dinero se han invertido en estudios ambientales de calidad muy dudosa y cuyos resultados, además —no sabemos si hay que añadir afortunadamente— suelen permanecer archivados. (Margalef, 1991d)

Però ens equivocariem si, com el periodista o l'audiència (o els polítics) que el mateix professor Margalef esmentava en aquestes citacions, creguéssim que les coses terrenals (els problemes ambientals) no interessin el nostre personatge. El mateix va definir ja fa molts anys la relació entre la ciència de l'ecologia i el moviment conservacionista o ecologista: «L'ecologia és a l'ecologisme allò que la sociologia és al socialisme». Algú ha volgut veure en aquesta frase un menyspreu alhora per una determinada forma de política i pels moviments de defensa de la natura, però a mi m'agrada més creure que el que volia dir el professor Margalef és que tant una com els altres necessiten una base científica sòlida per tal que els seus programes i accions per millorar la societat o per protegir la natura tinguin sentit i puguin entusiasmar els ciutadans. I prefereixo aquesta segona lectura perquè el professor Margalef és l'exemple viu d'aquesta manera de fer: Quan tants indocumentats s'han afegit a les reclamacions (molt sovint justes) dels ecologistes, que exigeixen protecció per a espècies i hàbitats, sostenibilitat en l'ús de recursos, energies i processos nets, etc., és bo recordar que qui ha posat el dit a la nafra de les maltempades ambientals han estat generalment els científics que, com el nostre protagonista, coneixen de primera mà els problemes, en copsen els efectes sobre la natura i, molt important, s'han

atreït a fer-los públics. Deixem que, de nou, sigui Margalef qui ens delimiti els camps d'acció respectius d'ecòlegs i ecologistes:

El moviment ecologista, com bona part de les religions organitzades, promouen un sincer sentiment de culpa, que de vegades porta a adoptar bones decisions personals. Portar-les a la pràctica es fa, sovint, difícil. Què pot fer el ciutadà normal davant les complicades estructures econòmiques de les quals també sent el pes, sobre ell i sobre el seu entorn? Tractar de millorar el planeta és important, però no ens ha de distreure d'ocupar-nos del nostre entorn... Una funció positiva dels moviments ecologistes és facilitar la percepció comuna que existeix un límit superior a tot, i estimular, discretament, les motivacions culturals per cercar el desitjable redreçament. La funció de l'ecòleg és, a partir de l'observació de la naturalesa, reconèixer els mecanismes físics i biològics en els sistemes globals; mentre que l'ecologista, intuït o recollint la percepció social dels possibles límits..., ha d'ajudar a generar motivacions o reaccions «redreçadores». També podríem parlar de la funció de relligar la percepció dels límits amb una ètica d'actuació. (Margalef, 1990b)

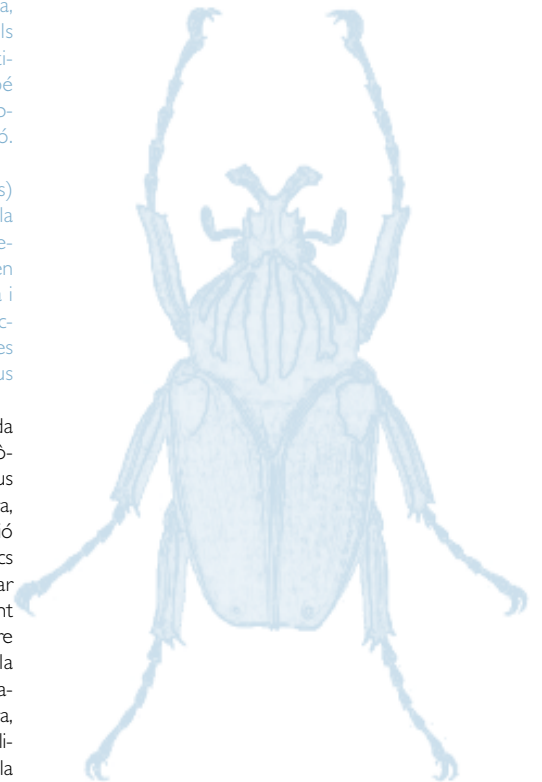
Els ecòlegs i els «paraecòlegs» (= ecoboigs) estan sensibilitzant la gent i fent augmentar la seva responsabilitat. Si hom escolta els profetes, si la gent se n'adona, les catàstrofes poden evitar-se. L'ecologia pot fer aquesta tasca i falsificar, amb optimisme, les seves pròpies prediccions. És millor que les prediccions resultin falses que tenir la dubtosa satisfacció de dir: «Ja us ho vam advertir». (Margalef, 1973a)

Ramon Margalef, el naturalista de nomenada internacional com a ecòleg, limnòleg, oceanògraf i planctòleg, i que ha integrat en un corpus teòric coherent el funcionament de la biosfera, ha fet precisament això: «a partir de l'observació de la naturalesa, reconèixer els mecanismes físics i biològics en els sistemes globals». I explicar de quina manera la nostra espècie està alterant aquests mecanismes. Pot sorprendre que, entre els quatre centenars d'articles científics i la dotzena llarga de llibres que el professor Margalef va publicar al llarg de la seva prolífica carrera, hi figurin un bon grapat de textos dirigits a explicar, precisament, el paper de l'home dins de la biosfera. (Sense pretendre ser exhaustiva, la bibliografia al final de l'article aplega bona part del que ha publicat en aquest camp). La raó és ben clara:

.....

«L'ecologia és a l'ecologisme allò que la sociologia és al socialisme»

.....





Mestre d'ecòlegs i d'ecologistes
Joandomènec Ros

Mentrestant, la destrucció de boscos persisteix, l'erosió continua essent important i comencem a modificar de manera preocupant la concentració de CO₂ en l'atmosfera i és possible que afectem el clima del futur. Al costat d'això, la contaminació sembla un problema secundari, encara que prou notable perquè pugui ser important per estimular moviments de reacció i, en general, una actitud de més respecte enfront de la naturalesa. El respecte depèn del coneixement i de l'admiració i hi va lligat. Una sèrie d'actuacions públiques s'orienten a evitar la degradació d'àrees naturals selectes, que poden servir també de centres educatius, però la defensa de la naturalesa no és només això, sinó que exigeix tenir cura també de qualsevol retall de terra, d'aquests racons plens de deixalles o descurats que ens estant convertint el país en un immens suburbi. (Margalef, 1985)

Després d'un quart de segle d'estudi de les comunitats aquàtiques de la Península i les Illes, Margalef va publicar «El concepto de polución y sus indicadores biológicos» (Margalef, 1969), que acota el significat del terme i descriu

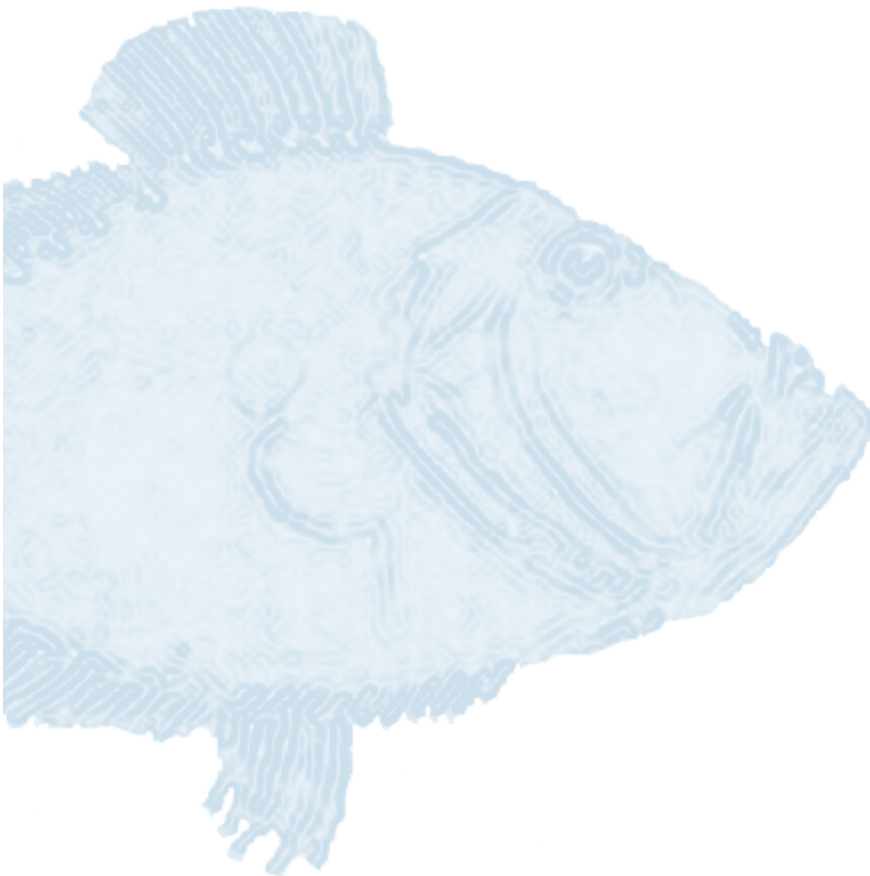
les característiques fisicoquímiques i les espècies que assenyalen que la situació ambiental «normal» de rius i llacs està alterada per causes antropogèniques. Posteriorment (Margalef, 1974a, 1977a, 1980a) va situar la contaminació en un context ecològic general i la va definir en funció d'aquest:

... polución significa que algo se encuentra fuera de lugar; y, como consecuencia de esto, las propiedades de cierto fluido son diferentes de lo habitual. La polución resulta del desequilibrio entre entrada o producción y salida o descomposición de ciertos materiales... y siempre existe una relación muy directa entre la intensidad de polución y la capacidad de transporte... La polución es la ausencia del retorno, la obstrucción del ciclo natural. (Margalef, 1974a)

La frase que segueix a les anteriors («Por esto, el mejor remedio para combatir la polución en los cursos de agua, consiste en obligar a tomar el agua *por debajo* del nivel donde se hacen los propios vertidos.») ha estat sovint presa com una *boutade*, però, com tantes altres afirmacions de Margalef, contenen un missatge

de racionalitat i sentit comú que, en el nostre tracte amb la natura, es troben a faltar sovint. I són, també sovint, malinterpretades per un lector o oient casual que no copsa el nucli del missatge. Això és el que va passar amb una magnífica exposició pensada i creada pel professor Margalef, «L'Ecologia», que va promoure la Diputació de Barcelona i de la qual el nostre personatge va fer un llibret deliciós. (Margalef, 1985)

Un estudi fet sobre aquesta exposició va demostrar, entre altres coses, que encara som lluny de saber què carat hi fem, com a espècie biològica, en aquest món. Els visitants de l'exposició van ser enquestats per tal d'esbrinar què n'havien entès, què els havia agradat més, què menys i què els havia sorprès. Els resultats van ser alhora xocants i allisonadors (Prats & Flos, 1991); per exemple, que, de tots els àmbits de l'exposició (que parlaven del planeta blau, de l'energia i la producció, de la diversitat, de la selecció natural, del llenguatge de la natura, del ritme de la vida, del bosc, i de l'home), el que menys va agradar i el que menys va entendre el públic va ser el referit a aquest darrer. Perquè l'home hi era



.....

***El postulat bàsic de
Margalef és que cal
considerar l'home com
a part de la biosfera
i dins d'un context
ecològic general***

.....

retratada com una espècie més (molt més capaç de modificar l'entorn que les altres, però al cap i a la fi, una peça més del gran trencaclosques que és la biosfera) i aquest missatge no va plaure ni va ser comprès. (Ros, 1991a)

És cert que alguns aspectes complexos del funcionament de la biosfera poden ser de comprensió relativament difícil per al ciutadà mitjà (els cicles biogeoquímics, el paper de l'oceà i de l'atmosfera com a reguladors del clima, la interacció i regulació mútua de les poblacions d'espècies que comparteixen un mateix hàbitat, els mecanismes de l'evolució biològica, etc.), però el professor Margalef va maldar per posar aquests coneixements a l'abast de tothom, i ho va fer en un llenguatge ric i suggestiu i amb una narrativa àgil i agradable, característiques totes (coneixements profunds, ploma fàcil i diversa) pròpies dels millors naturalistes-divulgadors, de Buffon a Wilson passant per Brehm, de Huxley a Attenborough passant per Gould. Prescindint dels seus textos més científics (que, però, estan lluny de la grisor «acadèmica» que sovint tenen els llibres de text), n'esmentaré només tres dels dirigits al gran públic, així com dues seccions introductòries per a enciclopèdies de gran difusió. Són aquests un llibret encantador per la seva senzillesa i breuetat, que va servir com a manual per a un curs de la UNED (Margalef, 1977b); un èxit de vendes, que primer va formar part d'una enciclopèdia així mateix de gran tirada (Margalef, 1981); una actualització molt reeixida (Margalef, 1992a), i sengles aportacions a dues enciclopèdies d'història natural (Margalef, 1989, 1993a).

Dit d'una altra manera, quan les beceroles de l'ecologia se'ns presenten tractades amb rigor i en un llenguatge a l'abast de tothom, en llibres, articles de divulgació i capítols d'enciclopèdies de gran tiratge, ben escrits i formalment bells, el problema no deu raure en el missatge ni en el vehicle, sinó en el receptor. Més endavant retornaré a aquest aspecte; seguim, però, ara, amb l'ecòleg *cum* ecologista que és el professor Margalef.

Són notables les contribucions de Margalef a una disciplina que fa un terç de segle encara no estava ben definida, que tot just començava a relacionar l'ecologia amb els problemes humans i que depassava els àmbits relativament ben establerts de l'ecologia humana o de l'antropologia social. Es tracta de l'aplicació de les idees i principis ecològics als problemes humans, siguin aquests ambientals o no: demografia i economia; ús, conserva-

ció i gestió de recursos; contaminació i degradació ambiental, etc. El postulat bàsic de Margalef és que cal considerar l'home com a part de la biosfera i dins d'un context ecològic general. Sense arribar, sortosament, al rebombori i al rebuig que en el seu moment va produir la inclusió de la nostra espècie entre la resta d'espècies del regne animal, pel que fa al comportament individual i social, en bona part inscrit en el patrimoni genètic i modulats per l'ambient (que és el missatge de Wilson a *Sociobiology*, 1975), el nostre urc com a espècie no ens acaba de permetre acceptar aquesta dependència humana de l'entorn (Ros, 2001). També hi té un paper el fet que, a casa nostra, mai no s'ha paït del tot la realitat de l'evolució:

...la aportación de la teoría de la evolución ha consistido en mostrar la continuidad genética del hombre con el resto de la naturaleza viva. Creo que la ecología nos está haciendo ver la unidad funcional del hombre con el resto de la biosfera y del planeta. Pero la cultura contiene muchos conflictos y las afirmaciones anteriores corresponden a la opinión de ciertos grupos. En otros despiertan un rechazo considerable... La norma tan antigua según la cual no se puede gobernar a la naturaleza, si no es conociéndola y obediéndola, despierta más irritación que entusiasmo entre las penúltimas hornadas de intelectuales. (Margalef, 1983b)

...la nostra societat, espanyola i catalana, no ha assimilat les teories biològiques de l'evolució. La intel·lectualitat no ha assimilat la inserció molt fonda de l'home dins la natura. La nostra cultura no ho admet. La naturalesa i l'home es veuen molt diferents. Dir que l'home no està relacionat amb la resta de la vida sembla que sigui una mena de defensa. (Margalef, 1999)

Les primeres incursions del professor Margalef en aquest camp, que podríem qualificar d'interacció de l'home amb la resta de la biosfera, fent un manlleu del títol d'un article fonamental seu (Margalef, 1973a), daten de fa més de trenta anys: ja són evidents a *Perspectives in ecological theory* (Margalef, 1968), però, segons les seves pròpies paraules, (el 1970) empecé a interesarme más seriamente por las implicaciones humanas y sociales de la ecología, que hasta entonces había consistido para mí en el estudio y la contemplación de organismos acuáticos. (Margalef, 1983b)

En aquella època hi va dedicar, efectivament, alguns articles inicials (Margalef, 1970a, 1970b, 1971, 1972, 1973b); la formalització del missatge

es troba especialment desenvolupada en l'article esmentat (Margalef, 1973a), en el capítol corresponent de la seva *Ecología* (Margalef, 1974a), en la introducció (Margalef, 1976) de *Natura, ús o abús?* (Folch, 1976 [1988]) i en un article escrit als deu anys de la famosa Conferència de les Nacions Unides sobre el Medi Humà, d'Estocolm (Margalef, 1983b). És important esmentar que, en la segona edició de *Natura, ús o abús?* del 1988, amb força canvis al llarg del text general del llibre, la introducció del professor Margalef va romandre invariada, la qual cosa indica fins a quin punt el plantejament era actual fa més d'un quart de segle (i segueix sent-ho ara).

En els dos capítols introductoris de les enciclopèdies esmentades (Margalef, 1989, 1993a) es va d'arrodonar aquesta presentació, que va ser així mateix objecte d'ampliació i refinament en altres contribucions posteriors, generals o centrades en la conservació, l'explotació i la gestió de la biosfera, l'economia de la natura, els lligams entre economia i ecologia, el paisatge, la biodiversitat, la predicció ecològica i diversos aspectes socials (Margalef, 1974b, 1979, 1980c, 1982b, 1984a, 1987, 1988a, 1988b, 1990b, 1990c, 1990d, 1990e, 1990f, 1991a, 1991b, 1993a, 1993b, 1994a, 1994b, 1995, 1996a, 1998, 2000a, 2000b). Algunes d'aquestes contribucions haurien de ser de lectura obligada per a alguns polítics i gestors del medi, com les que expliquen que el paper ecològic dels rius no es limita a transportar aigua per a l'apropiació per part de la nostra espècie (Margalef, 1982aa, 1996b), o les que expliquen per què és tan difícil fer prediccions en ecologia (Margalef, 1991c, 1994c). No sabria condensar adientment en l'espai d'aquest article la diversitat i profunditat de les contribucions del professor Margalef a la comprensió del nostre paper dins de la biosfera, i tenint en compte l'abundància de fonts fàcilment consultables tampoc no vull llevar als lectors que encara no el coneguin el plaer de la descoberta del pensament ambiental d'aquest naturalista i ecòleg, que és, alhora, un humanista:

És difícil plantejar-se i plantejar de manera raonablement completa, que no oblidí aspectes essencials ni doni lloc a crítiques que obliguin a començar una i altra vegada, la problemàtica de les relacions entre l'home i la natura, i d'allò que hom anomena la defensa de la natura. Aquesta



Mestre d'ecòlegs i ecologistes
Joandomènec Ros

•••••

El missatge del professor Margalef parteix d'una obvietat per a un biòleg: reconèixer que l'home és una espècie més dins de la biosfera

•••••

problemàtica implica en part sentit comú i en part ecologia —que és una ciència i com a tal no tota és sentit comú—, però també conté elements més emotius, que impliquen, fins i tot, la concepció que tinguem de l'univers. (Margalef, 1976)

Per a la major part de temes que tenen a veure amb l'ecologia, prefereixo els poetes als advocats, i em sento més inclinat a la fantasia, als sentiments i a la inspiració que al rigor, la consistència i àdhuc la responsabilitat. En la meua consideració dels problemes ambientals, em sento més atret per l'origen dels problemes i allò que ens diuen sobre els mecanismes de la biosfera que per les seves solucions... No es tracta de manifesta insensibilitat, sinó preocupació pel fet que molt sovint les actuacions acceptades com «ecològicament correctes» contribueixen a accentuar les desigualtats de les oportunitats de què la humanitat disposa. (Margalef, 1997)

N'hi haurà prou, pel que es dirà a continuació, amb unes pinzellades. El missatge del professor Margalef parteix d'una obvietat per a un biòleg: reconèixer que l'home és una espècie més dins de la biosfera, amb les limitacions biològiques i ecològiques que totes tenen; que usa, però, recursos no estrictament alimentaris (matèries primeres, estris, espai per a construir camps de conreu, carreteres, habitacles, etc.) i, especialment, recursos energètics, en més mesura que cap altra espècie animal. És l'energia exosomàtica que, a diferència de l'endosomàtica, no passa per dins del cos. Al metabolisme intern o biològic, que compartim amb la resta d'éssers vius, la nostra espècie n'hi afegix un d'extern o cultural, que hem portat a unes cotes inigualables pels altres organismes. És l'acció conjunta del creixent nombre d'individus de la nostra espècie i de la cada vegada més gran capacitat d'usar energia externa per modificar l'entorn allò que degrada la natura, malmet la biodiversitat i exhaureix els recursos, i crea desigualtats socials, econòmiques i polítiques (el Nord i el Sud), que paradoxalment tenen més incidència sobre l'espècie humana que sobre la biosfera en el seu conjunt, avesada a patir maltempades força més grans.

Aquesta degradació ambiental antropogènica té unes característiques i uns efectes sobre els ecosistemes que no la fan diferent, llevat de la magnitud, de la que té lloc per perturbacions naturals, i l'explotació humana dels recursos es regeix per les mateixes normes que

l'explotació ecològica en general. El resultat és la banalització dels ecosistemes, el rejuveniment de les comunitats, la pèrdua de la diversitat original i la seva substitució per unes poques «males herbes» (vegetals i animals) i espècies plaga que afecten negativament els nostres recursos. Perquè l'home és una espècie més, que actua sobre l'entorn segons pautes ecològiques ja establertes, és fàcil veure que algunes d'aquestes actuacions són insostenibles, per a la natura i/o per a la nostra espècie, i això en molts aspectes que d'antuvi podríem considerar fora dels circuits reguladors dels ecosistemes. Tot això, i més, que és fàcil de veure i de fer veure des d'un punt de vista ecològic, resulta difícil de fer entenedor a ciutadans i governants:

Podemos imaginar a la humanidad pulsando el acelerador del planeta: damos más gas y nos comemos la diversidad; mientras que si conservamos una marcha lenta la diversidad se podrá mantener. Sin embargo, el hombre necesita cada vez más recursos. ¿Qué vamos a hacer? Dentro de lo inevitable quedan dos opciones. Si aceleramos por un igual los flujos sobre todo el planeta, la pérdida total de diversidad seguirá siendo imparable. Otra posibilidad sería distribuir la presión de manera desigual: acelerar la explotación hasta el límite que permita la tecnología disponible en unas áreas, y disminuir en lo posible la explotación en el resto, con la esperanza de que allí la diversidad no disminuya tanto. Es esto lo que se piensa cuando, después de haber destruido totalmente los bosques primarios de la zona templada, ponemos el grito en el cielo para que se respete la Amazonia. Porque se ve como la única posibilidad de mantener no demasiado baja la diversidad promedio de la biosfera, en la medida que este promedio tenga significado. (Margalef, 1990g)

Aquests *desiderata*, que són perfectament defensables en el camp de l'ecologia, coincideixen de manera notable amb els suggeriments de paisatgistes i arquitectes, però molt menys amb les activitats de polítics i economistes. Els «tecnòcrates» són gent pràctica, i per això poden entendre l'ecologia. Allò que és essencial és afegir prioritat als objectius a llarg termini. Aquest és un punt de partida molt modest. L'objectiu final és dominar i restringir el flux d'energia. Un efecte secundari seria reduir el poder dels estats i propiciar una cooperació més efectiva entre tots els grups humans. I probablement aquí rau l'impediment més greu a l'efectivitat de posar



.....

**L'exploració humana
dels recursos es regeix
per les mateixes normes
que l'exploració
ecològica en general**

.....

en pràctica àdhuc els més modestos projectes d'aplicar punts de vista ecològics a problemes pràctics en la mesura que aquests afecten el poder o el control. Actualment, el nom del joc és competència, basada en l'expansió, i és difícil imaginar que això pugui tenir un final. Àdhuc si hom té en compte aquesta possibilitat, el més natural és intentar per tots els mitjans arribar al moment decisiu en les millors condicions de prosperitat i de capacitat de control. (Margalef, 1973a)

Aquesta impermeabilitat de la societat en general, i dels polítics i gestors en concret, a les causes profundes de la problemàtica ambiental i a la millor manera de resoldre-la té molt a veure amb hàbits que arrosseguem, com a espècie, des que el món era gran i inexplorat i els nostres avantpassats podien explotar-ne recursos aparentment il·limitats, i com a ciutadans, a causa de mancances de formació que tenen a veure tant amb la visió judeocristiana del paper de l'home en el món (*Déu digué: 'Fem l'home a la nostra imatge, semblant a nosaltres, i que sotmeti*

els peixos, els ocells, els animals domèstics i els salvatges i totes les cuques que s'arrosseguen per terra'; Gèn. 1:26), com amb el disseny dels programes curriculars de les nostres escoles i universitats.

Precisament per intentar superar aquestes mancances, el professor Margalef va assenyalar en un article important (Margalef, 1984b) aquells «fets senzills sobre la vida i l'ambient que cal no oblidar a l'hora de preparar llibres de text per als nostres néts». Són, resumits, els següents: l'energia externa és un factor clau que explica l'èxit de l'home com a espècie i que cal tenir en compte en considerar el seu impacte sobre l'ambient i la seva supervivència.

La física imposa restriccions generals: màquines i ecosistemes no poden girar de la mateixa manera dues vegades seguides; els equilibris ecològics són tan impossibles com les economies estables.

Cal tenir en compte l'espai i les fronteres (a través de les quals hi ha trànsit de matèria i d'energia). Els sistemes ecològics, que sovint s'han simplificat per modelar-los com a sistemes binaris, són

força més complexos, en ser el resultat de la història, la termodinàmica i el processament de la informació.

Hi ha dos grans tipus de canvis en els ecosistemes: canvis procedents de l'exterior; sovint ràpids, impredecibles i catastròfics, i canvis controlats des de dintre, lents i predecibles.

Aquests canvis poden estar associats a maneres d'evolució diferent: macroevolució (interrumpuda) i microevolució (gradual).

Aquests conceptes bàsics que cal ensenyar a la mainada (i als més grans) per tal que entenguin aquest món en què vivim i que se'ns està fent petit, pobre i lleig perquè no el sabem amanyagar; són el millor resum del missatge de Ramon Margalef, com a ecòleg i com a ecologista. També hi ha espai per a altres actituds, però:

...no puc deixar de pensar en el bombardeig seguit a què els infants estan sotmesos, amb la visió fal·laç d'una naturalesa estrafeta -televisió, dinosauremania. L'allunyament real de la natura de molts infants de ciutat em sembla greu, així com la poca tendència o el poc esforç que es posa a



Mestre d'ecòlegs i d'ecologistes
Joandomènec Ros

desvetllar el seu interès per la natura... Em preocupa que

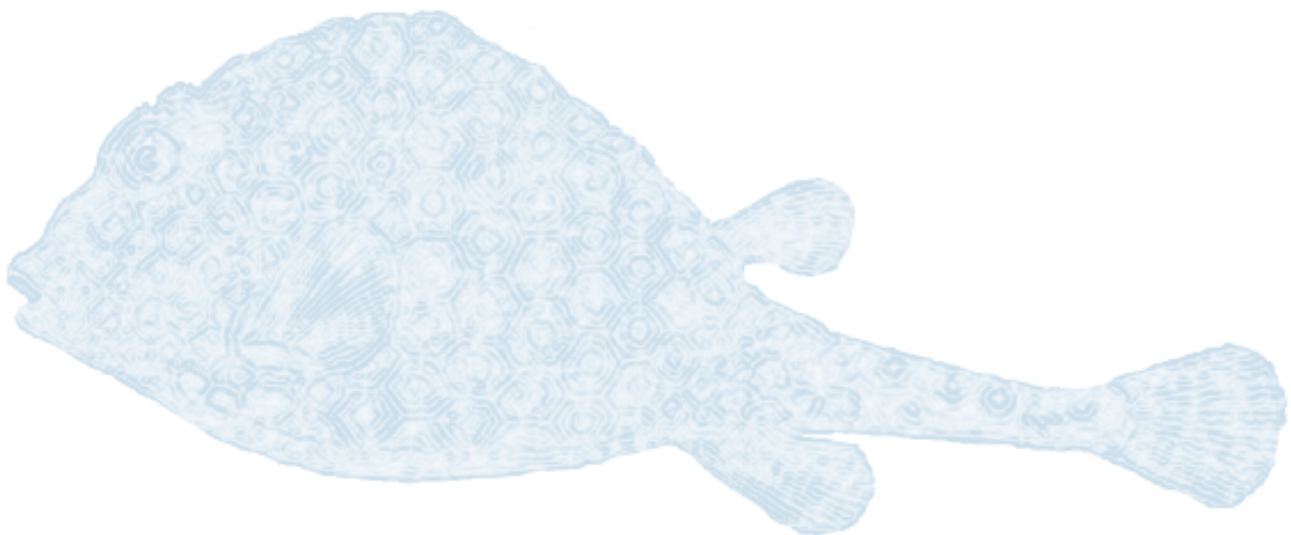
•••••

**“L'allunyament real
de la natura de
molts infants de
ciutat em sembla
greu”, va escriure
Margalef**

•••••

l'interès per itineraris de natura, museus, etc., estigui minvant... L'aquari de la Barceloneta desaparegué sense fer-ne esment i el projecte de fer per a Barcelona un jardí botànic mínimament digne es perd en els somnis de les grandeses olímpiques. La presentació de la naturalesa als museus s'està degradant... Potser els mestres no en sabem prou. Però... més aviat és qüestió de sensibilitat... la informació i el poder acumulats per la nostra civilització es pot permetre amb arrogància cloure l'entrada a més informació i... ens tanquem a l'adquisició de la saviesa. (Margalef, 1991d)

Reflexionant sobre la nostra Terra i la seva coberta viva podríem arribar a veure el món com una obra d'art. No existeixen tots els elements ni tots els compostos químics imaginables. Algú hi podrà veure la gràcia del transcendent. Davant d'una obra d'art genuïna generalment no pensem —almenys jo no hi penso— en altres imatges o no imatges que hauria pogut expressar un artista, el mateix artista. L'univers es pot veure amb la qualitat d'una obra d'art que porta una informació no gratuïta que encapsula almenys tota una història passada, difícilment o gens repetible, i segurament encara més coses. Hem de considerar l'univers com a obra d'art, perquè és un entre un nombre infinit d'universos possibles o pensables i nosaltres hem arribat per selecció natural a atrevir-nos a fer consideracions d'aquesta mena? I per què, en aquest món, queda tan d'espai per al sofriment i per a la culpa? (R. Margalef, 2000a)



.....

En la coberta d'un dels seus llibres més coneguts (Margalef, 1992a), s'hi pot veure el fragment d'un tapís del segle XVI, en el qual un ancià immobilitzat per unes manyoteres sembla estar estudiant unes conquilles, mentre al seu voltant té lloc una escena bèl·lica impressionant. En l'explicació de la il·lustració, l'autor comenta que «cal valor per estudiar la diversitat biòtica entre tanta adversitat», segurament en referència als seus propis i difícils inicis com a naturalista, en l'ambient gens propici, ni al camp ni al laboratori, de la Catalunya i l'Espanya de la postguerra. A mi m'agrada fer-ne una altra interpretació. Sovint als naturalistes se'ls ha criticat aquest anar a la seva, impassibles als esdeveniments d'aquest món, generalment turbulents, dels quals se solen aïllar en les seves torres de vori. El Margalef mestre d'ecologistes no ho ha va fer pas, això d'aïllar-se de l'entorn social; ans al contrari: va aplicar al món que l'envolta, difícilment explicable en la seva globalitat des de les diferents òptiques a l'ús, parcials i per tant sectàries, els coneixements que l'estudi de la natura li van desvetllar.

Segons J. Gould (1991), hi ha dues menes de naturalistes: els galileans (de Galileu) es delecten en els enigmes intel·lectuals de la natura però, sense negar-ne la bellesa visceral, malden per trobar-hi explicació científica (el mateix Gould en seria un cas). Els naturalistes franciscans (de Francesc d'Assís), en canvi, simplement en gaudeixen i l'exalten amb paraules: són els poetes de la natura. Segons E. O. Wilson (1998), el món, en tota la seva multifacètica complexitat, és explicable a partir d'uns mateixos principis generals, bàsicament físics, que són d'aplicació alhora a les ciències i a les humanitats; això és la consiliència. Temps enrera vaig dedicar un recull d'articles i assaigs sobre ciència (Ros, 1999b): «A Ramon Margalef, naturalista galileu i científic consilient *avant la lettre*...». ●

Referències

- Bonnín, P., Ramon Margalef, Fundació Catalana per a la Recerca, Barcelona, 1994.
- Camarasa, J. M., «Aspectes històrics dels estudis ecològics als Països Catalans», a: *Història Natural dels Països Catalans* 14 (J. Terradas, N. Prat, A. Escarré & R. Margalef, eds.), 15-25, Enciclopèdia Catalana, Barcelona, 1989.
- Carson, R., *Silent Spring*, Houghton Mifflin, Boston, 1962.
- Ehrlich, P. R., Ehrlich, A. H. & Holdren, J. P., *Ecoscience: Population, resources, environment*, Freeman, San Francisco, 1977.
- Gould, S. J., *Bully for Brontosaurus. Reflections in Natural History*, W. W. Norton, Nova York, 1991 (Traducció cast. «*Brontosaurus*» y la *nalga del ministro*, Crítica, Barcelona, 1993).
- Hardin, G., «The tragedy of the commons», *Science*, 162:1243-1248, 1968.
- Margalef, R., «La teoría de la información en ecología», *Mem. Real. Acad. Ciencias Arts Barcelona*, 32: 373-449, 1957 (traducció anglesa a *General Systems*, 1959).
- Margalef, R., «On certain unifying principles in ecology», *American Naturalist*, 97: 357-374, 1963.
- Margalef, R., *Perspectives in ecological theory*, University of Chicago Press, Chicago, 1968 (traducció cast. *Perspectivas de la teoría ecológica*, Blume, Barcelona, 1978).
- Margalef, R., «El concepto de polución y sus indicadores biológicos», *Documentos de Investigación Hidrológica. Supl. Agua*, 7: 105-133, 1969.
- Margalef, R., «Protección de la natura o protección de l'home?», *Muntanya*, 1970a.
- Margalef, R., «Explotación y gestión en ecología», *Pirineos*, 98: 103-121, 1970b.
- Margalef, R., «L'Home part de la biosfera i objecte d'estudi de l'Ecologia», *Treb. Soc. Cat. Biologia*, 30: 15-25, 1971.

Mar
Persj

Mar,
in th
the r
chut
353,
«La
dio c
de la
ralez
Blun

Marj
a: De
18-1
Barc

Mar
197-

Mar,
and
pola
Ecology, La Haia, 1974b.

Margalef R., «Bases ecológicas per a una gestió de la Natura», a: *Natura, us o abus*. Llibre Blanc de la Gestió de la Natura als Països Catalans, (R. Folch, ed.), 25-64, Barcino, Barcelona, 1976 (segona edició de 1988).

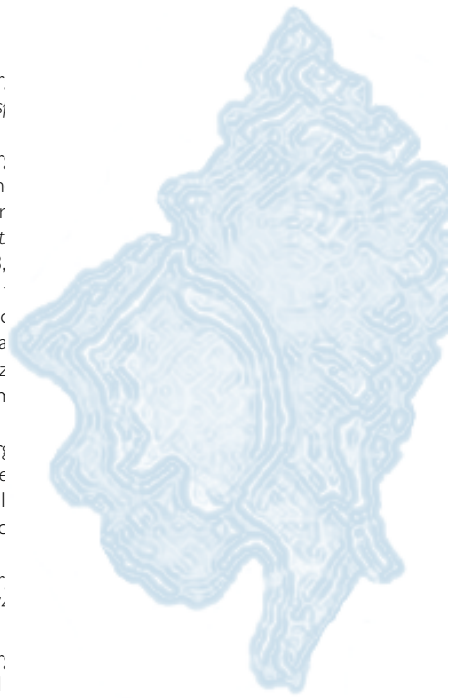
Margalef R., «Dinamica en un contesto ecologico generale», a: *Aspetti scientifici dell'inquinamento dei mari italiani*, 11-22, Roma, gener 1976, Accademia Nazionale dei Lincei, 1977a.

Margalef, R., *Ecología*, Universidad Nacional de Educación a distancia, Madrid, 1977b.

Margalef, R., «El precio de la supervivencia. Consideraciones ecológicas sobre las poblaciones humanas», *Ethnica*, 15:103-115, 1979.

Margalef R., «La contaminación en un contexto ecológico general», XI Congrés de metges i biòlegs de llengua catalana, 5-15, 1980a.

Margalef, R., *La Biosfera: entre la termodinámica y el juego*, Omega, Barcelona, 1980b.



.....

**Tem de considerar
l'univers com a obra
d'art, perquè és un
infinít d'universos
possibles o pensables",
entre un nombre
en paraules de
Margalef**

.....



- Margalef, R., «Cap a una teoria de la biosfera», *Ciència*, 1: 28-40, Barcelona, 1980c.
- Margalef, R., *Ecologia*, Planeta, Barcelona, 1981.
- Margalef, R., «Consecuencias previsibles de la regulación de los ríos sobre las condiciones de producción de las áreas marinas costeras», *The Siren*, UNEP, octubre 1982, 7-14, 1982a.
- Margalef, R., «Energía y medio ambiente», Simposium Asamblea Anual del Comité Nacional Español de la Conferencia Mundial de la Energía, 1982b.
- Margalef, R., *Limnología*, Omega, Barcelona, 1983a.
- Margalef, R., «La ciencia ecológica y los problemas ambientales técnicos, sociales y humanos», a: *Diez años después de Estocolmo*, CIFCA, Madrid, 177-200, 1983b (reeditat a *El desafío ecológico. Ecología y Humanismos*, Universidad Pontificia de Salamanca, 21-87, 1985).
- Margalef, R., «Visión del paisaje desde la ecología», *Monogr. de l'Equip*, 1: 101-117, 1984a.
- Margalef, R., «Simple facts about life and the environment not to forget in preparing school-books for our grandchildren», a: *Trends in ecological research for the 1980's* (J.H. Cooley and F.B. Golley, eds.), 299-320, NATO Conf. Series, Plenum Press, Nova York i Londres, 1984b.
- Margalef, R., *L'ecología*, Diputació de Barcelona, Servei del Medi Ambient, Barcelona, 1985 (traducció cast. *La ecología*, Diputació de Barcelona, Servei del Medi Ambient, Barcelona, 1989).
- Margalef, R., «Divagacions sobre el concepte de conservació», *Arrels*, 19: 6-1, 1987.
- Margalef, R., «La ecología como marco conceptual de reflexión sobre el hombre», *Ecología y Culturas*, 15-39, Asoc. interdisciplinar José de Acosta, Madrid, 1988a.
- Margalef, R., «Manipulació a l'escala de l'ecosistema. Gestió de recursos naturals», Tretzè congrés de metges i biòlegs de llengua catalana, Llibre de ponències, Andorra, nov. 1988, 53-64, 1988b.
- Margalef, R., «Introducció al coneixement de la biosfera», a: *Historia Natural dels Països Catalans* 14, 15-25 (J. Terradas, N. Prat, A. Escarré & R. Margalef, eds.), Enciclopèdia Catalana, Barcelona, 1989.
- Margalef, R., «Morto il mar Mediterraneo? lo dico di no», *Rivista del grupo Italgas*, 22(2): 51, 1990a.
- Margalef, R., Pròleg a «La necessitat d'una economia ecològica mundial», d'Edward Goldsmith, a: *Una sola Terra*, 111-114 (S. Vilanova, ed.), Gustavo Gili, Barcelona, 1990b.
- Margalef, R., «Is there a "balance of nature"?, a: *Environmental Ethics*, 225-233 (P. Bourdeau, P.M. Fasella & A. Teller, eds.), Comm. European Communities, ECSC-EEC-EAEC, Brussel·les, Bèlgica, 1990c.
- Margalef, R., «La Biosfera sota l'imperi de l'home: canvis en fluxos energètics i cicles biogeoquímics», *Mem. R. Acad. Cièn. Arts Barcelona*, 49: 295-332, 1990d.
- Margalef, R., «Viure a la Terra: dels límits i de les regles del joc», a: *Poblacions, societats i entorn*, 23-55, Els llibres de l'Institut d'Humanitats, I, Baranova, Barcelona, 1990e.
- Margalef, R., «Les xarxes en Ecologia», a: *Poblacions, societats i entorn*, 151-180, Els llibres de l'Institut d'Humanitats, I, Baranova, Barcelona, 1990f.
- Margalef, R., «La diversidad biológica y su evolución», *Panda*, 29: 4, 1990g.
- Margalef, R., «Energía exosomática y crecimiento cero», a: *O ambiente na Península Ibérica, perspectivas o montante*, 37-46, Universidade de Trás-os-montes e Alto Douro, Universidade Internacional, 1991a.
- Margalef, R., «L'homme dans la Biosphere. Les artifacts culturels en tant que commutateurs et amplificateurs sur les voies de l'énergie exosomatique», *Actes du Forum Science, Technologie et Société: Le Défi de la Grande Europe*, 145-155, 8-10 novembre 1990, Estrasburg, 1991b.
- Margalef, R., «La predicción ecológica: incertidumbre y riesgo», a: *Forum Deusto. Tercer ciclo: El presente discontinuo*, Universidad de Deusto, Bilbao, 1991c.

Margalef, R., *Teoría de los sistemas ecológicos*, publicacions de la Universitat de Barcelona, Barcelona, 1991 d.

Margalef, R., «Perspectives de la creació científica (a Catalunya)», a: *La recerca a Catalunya, reptes de futur*, 205-218, CIRIT, Barcelona, 1991 e.

Margalef, R., *Planeta azul: Planeta verde*, Prensas Científicas, Barcelona, 1992a.

Margalef, R., *Oblik Biosfer (A view of the Biosphere)*, Acadèmia de Ciències Russa, Institut d'Oceanologia, Moscou, 1992b.

Margalef, R., «El planeta blau. Matèria per a la vida. Energia per fer i desfer: Éssers vius i informació», a: *Biosfera* (R. Folch, ed.), 1: 145-233, Enciclopèdia Catalana, Barcelona, 1993a.

Margalef, R., «Biotic diversity and energy flow. Forcing from Man and Nature», Symposium «Biological Indicators of Global Change», 9-15, The Royal Academy of Overseas Sciences, 1993b.

Margalef, R., «Diversity and biodiversity: Their possible meaning in relation with the wish for sustainable development», *An. Acad. bras. Ci.*, 66 (Supl. 1), 3-14, 1994a.

Margalef, R., «A la recerca de l'estructura. Funcionament i evolució de la Biosfera», a: *Les Relacions entre Ciència i Societat a la Catalunya a la fi del segle XX*, 49-57, Fundació Catalana per la Recerca, Barcelona, 1994b.

Margalef, R., «Por qué es tan difícil hacer predicciones interesantes», a: *El mundo que viene* (J. Nadal, ed.), 249-266, Alianza Editorial, Madrid, 1994c.

Margalef, R., «Ecologia, artefactes i energies externes», a: *Reptes de la ciència a les portes del segle XXI* (X. Bellés i J. Estruch, eds.), 49-51, Rubes, Barcelona, 1995.

Margalef, R., *Una ecología renovada a la medida de nuestros problemas*, Fundación Cesar Manrique, Lanzarote, 1996a.

Margalef, R., «Apropiació de l'aigua epicontinental i cicle global», a: *Quinzè Congrés de Metges i Biòlegs de Llengua Catalana*, 1996, llibre de

