

La partició del metabolisme en ecologia i evolució

Ramon Margalef

L'energia que ingressen els organismes s'inverteix fonamentalment en dos aspectes: el manteniment de l'organisme i la producció de nova matèria viva. Ecològicament i evolutivament es troben un seguit de regularitats entre diferents organismes que permeten copsar diverses estratègies i tendències en la utilització d'aquests guanys d'energia.

Introducció: xarxes tròfiques i els seus components

Em proposo examinar alguns aspectes de com els animals inverteixen els ingressos que podem comptabilitzar en unitats de treball (per exemple, en watts per kg de pes), però que evidentment corresponen a un suport de matèria, en dues partides principals: 1) Mantenir en activitat l'organisme: termoregulació, moviment, etc., incloent-hi la renovació d'estructures internes, que ara no interessin; 2) producció de nova matèria viva en el creixement i la reproducció. No parlaré pas dels aspectes fisiològics, però sí solament d'allò que té una importància manifesta en la inserció de l'animal en el seu entorn i que, per tant, pot representar un factor de selecció que porta a una evolució.

En les consideracions ecològiques i evolutives que es desprenen de l'estudi comparat de diverses espècies, dintre un grup taxonòmic, es poden reconèixer diversos nivells d'aproximació. Hi pot haver una comparació elemental, sense més pretensions, que sovint és l'única que pot ser correcta. Però, de vega-

des, un hom té sèries de dades i s'engresca creient reconèixer tendències suggeridores de lleis o regularitats naturals. En una forma, sovint criticable, d'historicisme, la cosa es deixa ací, o bè s'usa per extrapolar i fer prediccions arriscades. Però en diversos casos, o per alguns caràcters, aquestes tendències poden trobar una explicació, generalment dintre de la termodinàmica, que els treu l'atractiu del

(En ecosistemes terrestres, la biomassa dels bacteris és superior a la dels animals)

misteriós i fa més modestes les temptacions de predicció. Em referiré a alguns d'aquests aspectes, especialment als que es relacionen amb la mida i amb la duració de la vida dels individus. Això porta a introduir consideracions en relació amb la informació o organització que té a veure amb la regularitat amb què l'energia i la matèria es disposen i funcionen.

Parlar ací gairebé m'obliga a fer referència a l'home. Per això he

triat un tema que porta necessàriament a la consideració de l'home, com a animal; com a animal extraordinari que és. I l'home ens permet arrodonir la imatge que ens poden fer de la participació del metabolisme, sense escapar-se'n, però completament les línies de raonament. L'home, és clar, ens dona major dimensió a dos aspectes que ja s'inicien en els altres animals: 1) l'aspecte cultural i social, i 2) la importància de l'energia externa o exosomàtica. No hi ha risc d'exagerar aquesta importància: avui dia la influència de l'home damunt la naturalesa és mes a través de la creació d'una sèrie de commutadors i amplificadors en les vies d'energia externa que no pas per la senzilla explotació de recursos naturals.

L'ecologia més elemental reconeix una xarxa de relacions (tròfiques) entre els components de tot ecosistema, caracteritzada bàsicament per un flux d'energia endosomàtica o interna als organismes. Els organismes, rics d'organització a petita escala, solament poden utilitzar energia a alta qualitat, la llum i l'energia dels productors primaris (plantes) es difon i s'esvaeix després de realitzar un treball a tots els nivells de la xarxa tròfica de l'eco-

sistema. Ací ens fixarem en els animals, però cal dir que la part major d'energia és degradada a nivell dels bacteris. Sorprèn, de vegades, assabentar-se que en els ecosistemes terrestres la biomassa dels bacteris és més elevada que la biomassa dels animals. I si tenim en compte el metabolisme, la diferència a favor dels bacteris encara és més gran. El contrast entre bacteris i animals en el que fa referència a mida, taxa de renovació i metabolisme és alligador, també en relació amb el tema de la present exposició, però no m'hi puc estendre. Dintre dels ecosistemes, els animals els veiem enllaçats en les xarxes tròfiques, segons que sigui fitòfags, carnívors de primer grau, o de segon grau, etc. Però és obvi que molts animals, com l'home, de dieta mixta, mengen a diferent nivell, i que les xarxes tròfiques no són mai rígides.

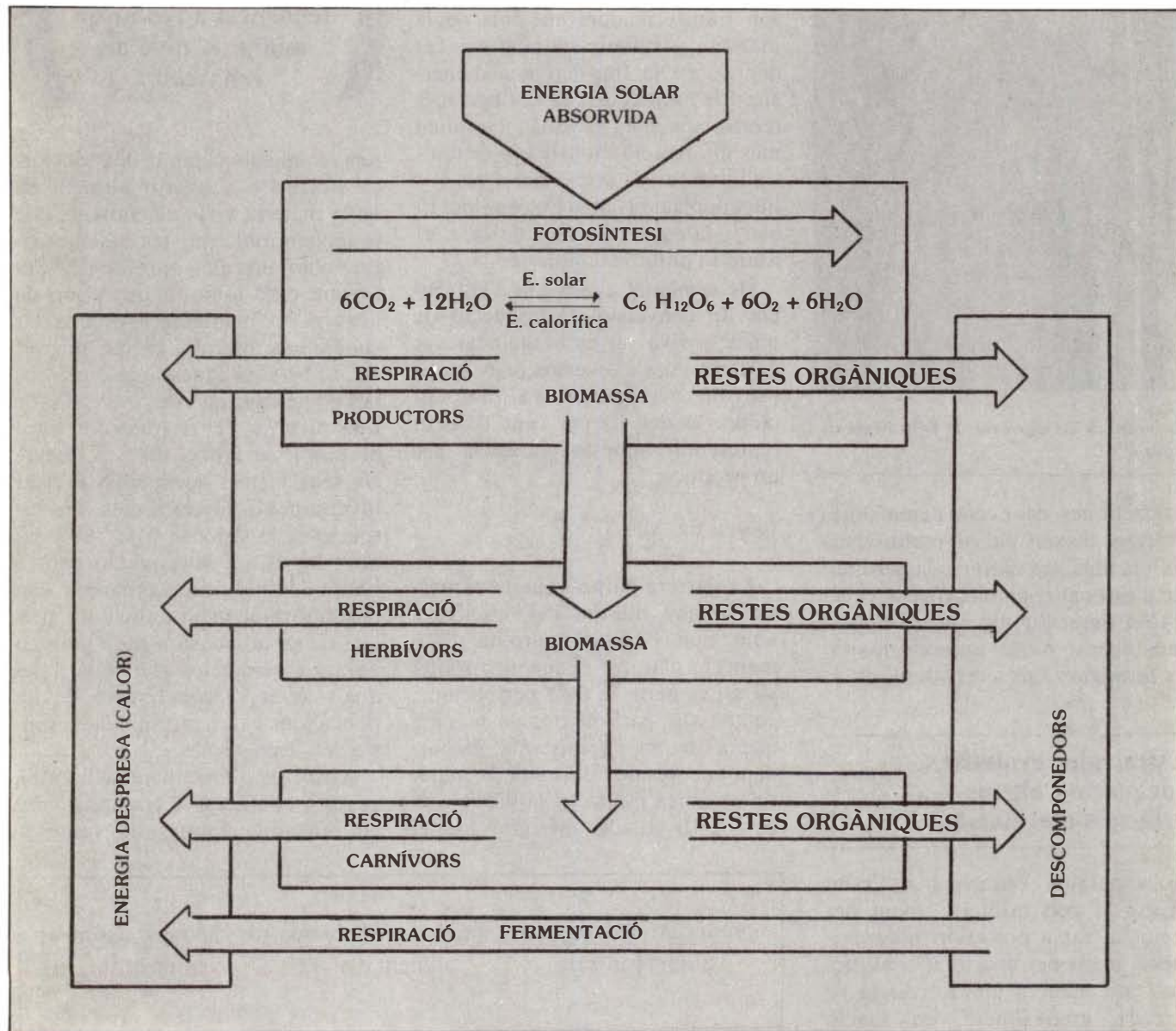
Per a una anàlisi més acurada, les podem descompondre en petits sistemes binaris, formats típicament per una presa i el seu depredador, o per un hoste i el seu paràsit. La

(Les espècies són com claus de pas en el flux energètic)

nostra atenció es pot fixar en el lligam entre dues espècies i com elles són afectades per les característiques de l'esmentat lligam; o bé l'atenció es pot dirigir just a una espècie i a les entrades i sortides d'energia. És, per exemple, el cas de la cria de porcs o de qualsevol altre animal, on l'interès es dirigeix a la relació que hi ha entre la carn que

se'n treu i els pinsos que es donen als animals. Aquesta relació és una eficiència, en el sentit econòmic, i, és clar, al pagès li convé que el seu valor sigui màxim. Els ecòlegs, d'una manera general, troben que en molts casos les eficiències (creixement o producció secundària/aliment ingerit) s'apropen a un 10%. És evident, també, que, en els ecosistemes, les espècies que estan al cim, que no tenen enemics grossos, com el tigre, o l'home, estan en una posició diferent de la d'aquelles espècies sotmeses a una explotació constant i que estan forçades a mantenir una taxa de renovació elevada com a alternativa a l'extinció. En certa manera podríem considerar les espècies com claus de pas en el sistema reticulat de vies

Fig. 1 Flux de l'energia.



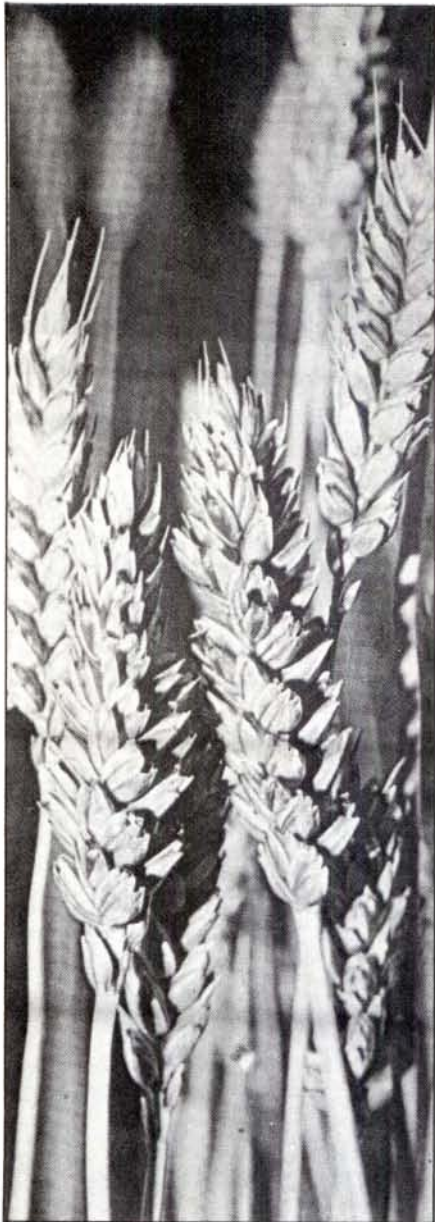


Fig. 2
El blat fóra un exponent de l'estratègia de tipus r.

energètiques de l'ecosistema; unes espècies deixen passar molta energia (el blat, les dàfnies, la sardina, etc.), unes altres molta menys energia (el tigre, l'home, que esmentàvem abans; molts animals tòxics, les formigues fins a cert punt, etc.).

Estratègies evolutives, adequació i alguns principis d'evolució

La paraula estratègia ha estat usada pels militars, sovint per racionalitzar a posteriori esdeveniments regits per una total confusió. En certa manera una estratègia ve forçada, gradualment, en funció

d'esdeveniments històrics o de jugades passades. Les accions possibles perden variabilitat en passar el temps, i d'això se'n diu seguir una estratègia. Evidentment l'evolució es troba atrapada en una estratègia tan sovint com el jugador d'escacs. En ecologia i evolució es parla sovint d'una estratègia de la *r* i d'una estratègia de la *k*. La referència és a lletres usades com a símbols en les expressions matemàtiques que es fan servir per a expressar la competició entre espècies. En realitat no són pas categories discontinües, i defineixen més aviat un eix al llarg del qual es donen moltes possibilitats, i afegiria de grat que ni tan sols és un eix únic. Però no és necessari entrar en detalls, perquè el concepte fonamental és ben senzill. Els animals, o organismes, en general, que són més a prop de l'estratègia de la *r* fien més en la ràpida multiplicació per a ocupar el seu món, són transformadors eficients de la matèria, vàlvules relativament obertes en la transferència d'energia. Els estratèges de la *k* viuen més temps, són més grossos, acumulen més informació, no cal que es multipliquin tan de pressa per mantenir llurs poblacions ocupant un lloc. El blat i la sardina serien de la *r*; el roure i l'anfós, exemples de la *k*.

He esmentat abans que l'eficiència de conversió o producció de matèria viva no és exageradament variable en els diversos organismes i sovint s'accepta com a xifra orientadora la del 10 per cent. Podem representar aquesta eficiència per un producte.

(vegeu fig. 3)

La darrera part d'aquesta expressió és una mesura de l'eficiència amb què l'animal aprofita l'aliment. És clar que el que no aprofita ell no es perd; és usat per bacteris, comensals, paràsits, etc. de manera que s'usa en l'ecosistema. Recordem tan sols que el pes de la matèria orgànica morta en la biosfera és de 8 a 10 vegades més gran que el

de la matèria orgànica viva. El quocient aliment assimilat/aliment ingerit pot ser, i és generalment, molt alt en animals caçadors, de presa; en canvi és baix relativament en aquells que ingereixen un material poc alimentós, com és ara sediments o terra. L'altre quocient (creixement + reproducció / - aliment assimilat) depèn de la partició de l'energia ingressada entre fer biomassa nova, de l'una part, i el metabolisme de manteniment, de l'altra, i la seva consideració constitueix el tema fonamental d'aquest assaig. En animals superiors podríem dir que un terç va en producció secundària i dos terços es respiren per al moviment, termoregulació, etc. Els invertebrats marins, especialment els sedentaris. te-

Sembla que els organismes tenen tendència a reduir al mínim la taxa de renovació

nen un metabolisme baix i són força efectius a convertir aliment en nova matèria viva; els animals que es mouen molt, que tenen temperatura constant, etc., aprofiten bé l'aliment, però usen una gran part de l'energia a mantenir constants les condicions internes, córrer, migrar, etc. Si bé el producte que representa l'eficiència total de conversió, de l'un nivell a l'altre (pinso en carn de porc) varia poc, això és perquè els seus factors acostumen a estar inversament correlacionats. Els estratèges de la *k* poden triar i utilitzar molt bé el que ingereixen, però a l'hora de produir nova matèria viva resulten molt menys eficients, perquè tenen un consum molt gran en portar a terme les activitats a les quals duen la conservació de les poblacions i llur preeminència dintre dels ecosistemes.

Arribem, d'una manera natural, a certs conflictes i contradiccions en relació a formes de veure la

Fig. 3

$$\frac{\text{producció de biomassa}}{\text{aliment ingerit}} = \frac{\text{producció de biomassa}}{\text{aliment assimilat}} \times \frac{\text{aliment assimilat}}{\text{aliment ingerit}}$$

selecció natural i de judicar o anticipar les possibilitats dels diferents organismes per a superar-la. Sovint, l'adequació, la "fitness", s'avalua com el nombre dels descendents que deixa una població o un genotip. Que certament aquesta propietat és definidora de la capacitat per a evolucionar ningú no ho discuteix. Ensenms, però sembla que hi ha certa tendència a reduir al mínim les taxes de renovació necessàries. Això és coherent dintre la teoria de sistemes termodinàmics oberts, més o menys allunyats de l'equilibri, sense necessitat d'enlairar la mandra a altures metafísiques. Van Valen (1973), formulà una hipòtesi a la qual donà el nom de la Reina Roja, un personatge dels contes d'Alicia, en el sentit que, igual que aquesta famosa Reina, cada espècie ha d'evolucionar tan de pressa com pot, simplement per sobreviure, la qual cosa vol dir que s'ha de reproduir també tan ràpidament com pugui. Aquesta formulació pot ser apropiada per als protestants anglosaxons, però per als catòlics llatins

es pot escriure d'una altra manera: cada població –i d'evolució– mínimes, que permeten l'estricta supervivència. Si més no, especulacions d'aquest caire porten a veure la incertesa i l'arbitrarietat associades a qualsevol definició de "fitness".

Una vida més llarga permet acumular quantitats creixents d'informació cultural

Al cap i a la fi la prova és sempre a posteriori i l'únic que pot fer la vida és continuar jugant. Inspirat evidentment per Van Valen, jo mateix he intentat treure algun profit d'altres personatges imaginaris (Margalef 1980), en aquest cas de Tom i Jerry, representatius de la relació entre depredador i presa. En els films de dibuixos animats, a les trapelleries de l'un dels personatges, corresponen les pilleries de l'altre, tot mantenint, però, una

identitat en les relacions substancials de dependències. El ratolí pot esdevenir un superratolí i el gat, un supergat; però l'energia ha de continuar fluint del primer al segon. I el segon, més gros i vivint més temps, continua mantenint el control de sistema enter. Si els personatges viuen en un món amb pocs trasbalsos, sembla obvi que tant el gat com el ratolí poden posar-se més a jeure, fer-se més grossos i disminuir la taxa de natalitat, que és allò que probablement fa la natura en tots els casos comparables.

El model de Tom i Jerry, o, en general, de depredador i presa, porta immediatament a analitzar com creix i es diferencia la informació en els distints nivells. Els contactes entre depredador (gat, ocell) i presa (ratolí, insecte) apareixen amb una diferent distribució estadística per a cada una de les espècies implicades. Per a la presa, el primer contacte és sovint el darrer; per al depredador, que viu més temps, cada captura és una experiència més. Hem de suposar, doncs, que la selecció es fa de manera asimètrica; la presa ha d'evolucionar cap a l'adquisició de caràcters que n'augmentin la supervivència d'una manera immediata. Per al depredador és millor augmentar la capacitat d'aprendre. Una de les característiques de la vida és convertir energia en informació, i un dels misteris de la vida, i potser no sols de la vida, és la falta de coincidència precisa entre els llocs on l'energia es degrada, i els llocs on la informació es fa utilitzable. Una mida més gran, una taxa de renovació més lenta, característiques pròpies del que en diem estratègia *k*, resulten especialment favorables per a l'acumulació d'informació, primer genètica, després cultural, i basada en l'adquisició i desenvolupament de la capacitat d'aprendre.

Tendències en l'evolució i regularitats al·lomètriques

Potser de manera massa ràpida, he intentat fer veure com, dintre la teoria ecològica, és raonable

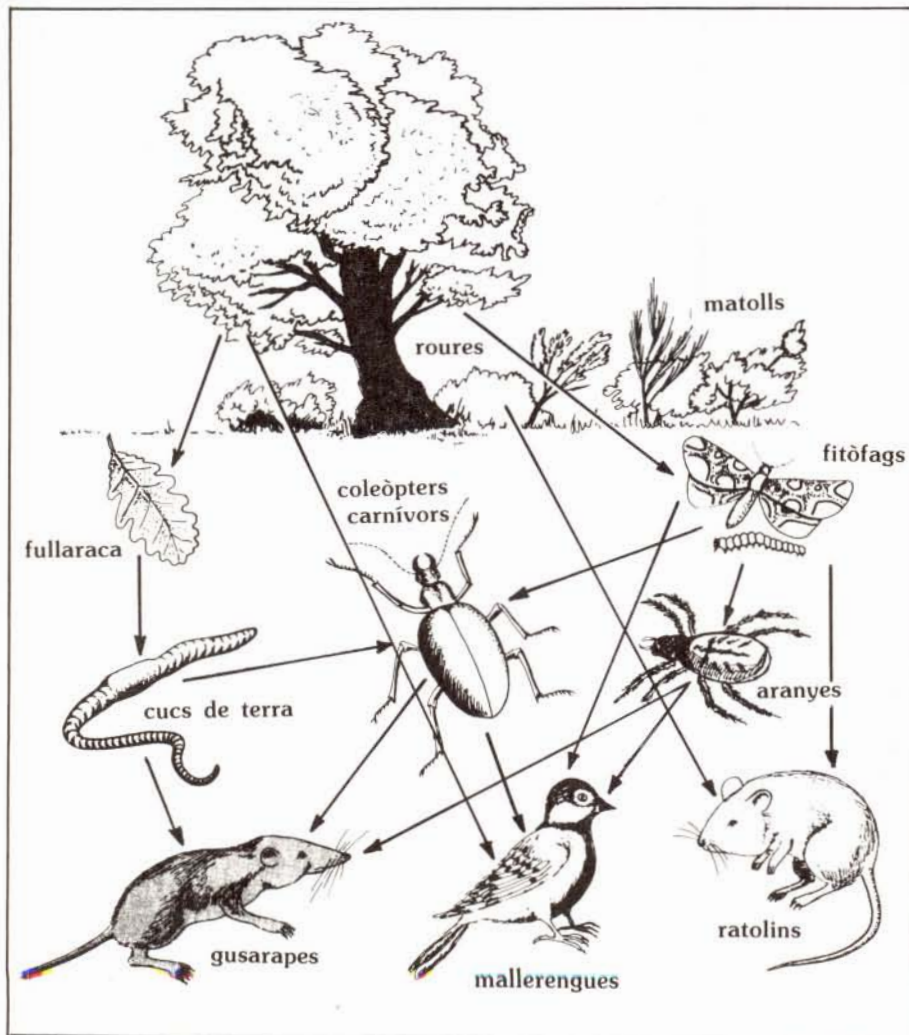


Fig. 4
Esquema d'una part de la xarxa tròfica en un bosc de roures:



Fig. 5
El model del depredador i la presa il·lustra l'estratègia de tipus k.

tumen a deixar més descendents, si bé aquest avantatge és afeblit per la més llarga durada de cada generació. L'avantatge principal refereix a la informació. Tots sabem ara que un ordinador de mida doble és més poderós que dos de junts de mida senzilla. I una diferència d'aquesta mena és més important en organismes, que són tots memòria, que no pas en artefactes. Una vida més llarga permet complementar la informació cultural. I, naturalment, una mida més grossa permet més domini del temps i de l'espai, també a través del desplegament d'òrgans sensitius. En aquest conjunt de propietats podem veure una expressió de la tendència a maximitzar la informació retinguda per unitat d'energia bescanviada, que sembla la tendència substancial en l'evolució (teòrica) de sistemes termodinàmics oberts. Per això, insisteixo, crec que la realització històrica de les tendències esmentades no té res de misteriós, car és l'expressió que s'ha d'esperar de propietats molt generals del nostre univers.

Hi ha un suport experimental considerable que consisteix en les relacions estadístiques entre una sèrie de característiques i propietats dels animals i llur mida, que és la variable més senzilla per a prendre com a referència. Generalment es comença per veure les relacions entre diverses variables dins d'un grup d'espècies que difereixen les unes de les altres per la mida dels individus. Al final poso unes quantes referències que resumeixen bastant d'informació i facilitem l'accés a d'altres fonts (Aspey i Lustick, 1983; Harestad i Bunnell, 1979; Humphreys, 1979; Lavigne, 1982; Milton i May, 1976; Peters, 1983; Ryszkowski, 1982). Si en lloc de comparar les magnituds mesurades directament (pes, respiració, etc.) Hom usa els logaritmes, les relacions es fan més linears, com, d'altra banda succeeix en comparació de les diverses mesures que defineixen la forma d'un animal. Per tant la relació entre les magnituds que es comparen, x , y , té la forma $y = ax^b$, en la qual b és ordinàriament diferent de la unitat. Aquest

esperar, si no una superposició total, sí almenys certes correspondències entre propietats i característiques tals com la posició en la cadena tròfica, l'estratègia evolutiva expressada segons un eix $r-k$, la mida, la duració de la vida, la capacitat i la modalitat d'acumular informació i, finalment, la participació del metabolisme a la forma d'invertir i distribuir els recursos ingressats. Una cosa és l'associació entre aquestes diverses característiques i una altra la possible tendència a variar conjuntament, en certa direcció, al llarg de l'evolució. L'evolució ha estat un procés històric tan complex que és difícil trobar-hi regularitats; però en seqüències més o menys suggeridores de processos evolutius relativament reposats po-

drem veure una prova que sovint triomfa l'estratègia de la k , unida a una mida més grossa, una vida més llarga i un predomini de les diverses activitats, de les quals forma una part important l'homeòstasi, per damunt de la simple multiplicació.

**La informació
acumulada pot servir
per a tancar la porta a
nova informació**

És raonable veure certs avantatges en una mida grossa: major independència del medi, mobilitat; àdhuc des del punt de vista de la selecció, ja que els individus més grans acos-

tipus de relació es qualifica d'al·lometria. L'al·lometria es diu positiva si $b > 1$ i negativa si $b < 1$.

Les relacions entre diverses variables comentades s'organitzen entorn de relacions com les següents (vegeu taula a) que solament es donen com a orientació, sense escatir possibles divergències en situacions particulars, que, en tot cas, queden documentades en les publicacions esmentades.

Taula a)

$$A = M^k$$

essent A l'àrea d'activitat en un plà horitzontal en Km^2 .

M el pes de la biomassa individual en Kgs. i el valor de k comprès entre 1 i 1,1.

tanmateix

$$L = 10 M^{0.33}$$

L és equivalent a la duració de la vida en anys.

$PM^{-1} = 0,16 L^{-1} = 0,016 M^{-0.33}$
essent P la producció neta en watts.

i la eficiència

$$= P / P + R$$

essent R la respiració.

Aquestes expressions esdevenen pel que fa als poiquelotermes

$$R = 0,15 M^{0.75};$$

$$RM^{-1} = 0,15 M^{-0.25} ;$$

$$RP^{-1} = 10 M^{0.08}.$$

i pels homeotermes

$$R = 4,5 M^{0.75} ;$$

$$RM^{-1} = 4,5 M^{-0.25} ;$$

$$RP^{-1} = 300 M^{0.08}$$

Unes altres propietats característiques dels organismes es poden posar en relació amb la biomassa individual. Per exemple, la producció de llet (Ofstedal, 1984) que es manifesta proporcional a una potència entre 0,7 i 0,8 del pes de la mare, de manera que la producció de llet per unitat de pes és proporcional a $M^{-0.25}$, aproximadament, com la respiració. També s'ha suposat que

el període de les fluctuacions, en les poblacions que fluctuen s'aproximaria (en anys) a $8,15 M^{0.26}$ (Peterson & al., 1984), una expressió que es podria relacionar amb les propostades per Volterra, i que relacionen aquest període, en sistemes oscil·lants formats per un depredador i una presa, amb característiques demogràfiques (relacionades al seu torn amb la duració de la vida) de les espècies implicades.

El possible avantatge de l'augment de mida, i la possible realització de tal tendència al llarg de l'e-

volució, permeten la següent consideració, que crec que és interessant. En augmentar la mida, hi ha un estalvi en el manteniment per unitat de biomassa: el valor RM^{-1} és proporcional a la biomassa individual elevada a una potència negativa. Hi ha un moment que aquest "estalvi", permet fer una nova inversió important, l'adquisició de la regulació tèrmica. En certa manera això fou fatal, perquè un organisme corpulent té una relació superfície/volum més baixa, i és difícil difondre tota la calor generada en el

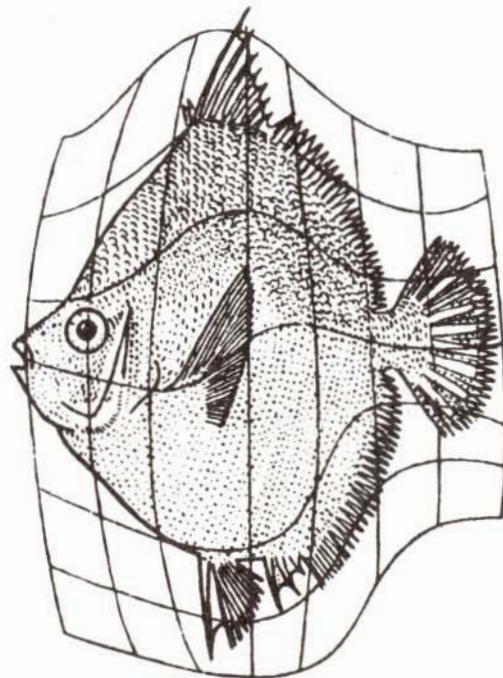
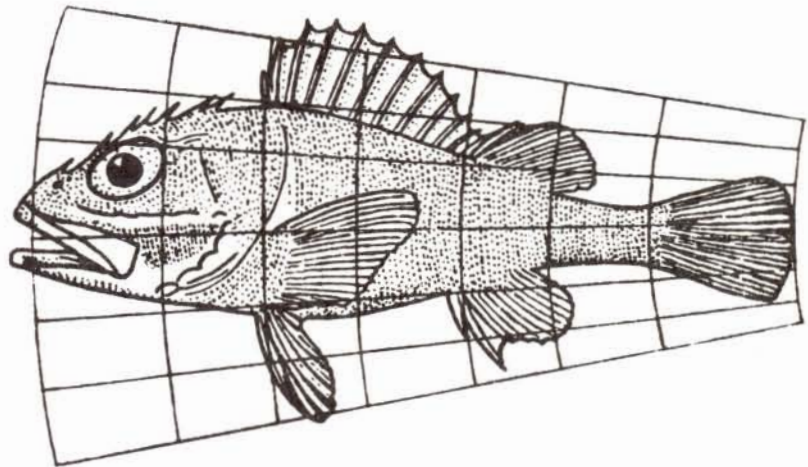


Fig. 6

Model matemàtic de forma i creixement segons Arcy Thomson.

metabolisme i augmentar la temperatura interna. L'evolució ràpidament aprofita l'avinentesa per treure profit de la imposició física, estabilitzar la temperatura i optimitzar les condicions de funcionament conjunt dels sistemes enzimàtics. L'adquisició de la termo-regulació sembla, doncs, fatal en arribar a certa mida: tonyines, taurons, grans tortugues i serps, sense parlar dels dinosaures, han estat portats per aquest camí. Dintre ja dels homeotermes el progressiu augment de mida ha portat a un nou procés d'estalvi. El nou salt, equivalent al que portà dels poiquiloterms als homeotermes, ha estat donat per l'home; però utilitzant energia externa.

És clar que no podem assimilar ni l'augment de mida, ni l'adquisició de la termo-regulació amb una tendència general de l'evolució, però sí que podem veure la participació de l'energia entre producció de biomassa i suport d'activitats fisiològiques diverses, com un exemple del que es diu "trade off" o distribució d'uns recursos a disposició de l'organisme. Com si la possibilitat de més moviment, de tenir

més força, de disminuir la mortalitat i d'allargar la vida, compensés el fet de tenir menys fills. El que s'anomena adequació, o "fitness" és la capacitat de continuar ocupant un espai, que no és sempre la capacitat de produir més descendents. I com més temps viuen els individus, més probabilitat hi ha que l'entorn canviï i es trobin més allunyats de l'equilibri; per això la longevitat va unida sovint amb una gran homeòstasi o l'adquisició d'una certa indiferència per la variabilitat de l'entorn. És més, la informació acumulada pot servir per a tancar la porta a la informació nova.

El cas de l'home. Evolució cultural, energia exosomàtica i demografia

L'home és un animal relativament corpulent i, naturalment, homeoterm, situat al cim de la xarxa tròfica, on no té gairebé altre depredador que ell mateix ("l'home és el llop de l'home"). Al llarg de la seva evolució, bastant ben documentada, hi ha hagut un

augment de mida, els nostres avantpassats de fa dos o tres milions d'anys eren força menys corpulents, i veiem que la tendència a allargar-se la vida (i, per tant, a invertir més temps en activitats diverses que a procrear) continua. La capacitat d'aprendre –més aviat d'aprendre a aprendre–, el desenvolupament d'una cultura, i la socialització han neutralitzat molts caràcters hereditaris i en certa manera han frenat l'evolució genètica, però les capacitats –àdhuc biològiques– de la cultura són tals, que es pot dir que l'home és equivalent, des del punt de vista que ens interessa, a diverses espècies biològiques d'altres grups. Vull dir que els límits de variació en les característiques que anem examinant, principalment taxa de renovació de les poblacions i usos de l'energia, formen un ventall força ampli de possibilitats. És, per tant, extremament apassionant, tractar de veure si en aquest món on la informació cultural té un paper preeminent, es retroben algunes de les regularitats que he esmentat abans, regularitats que, recordem-ho, atribuïa a la forma general de funcionar dels sistemes físic i a propietats bàsiques del nostre univers, i no pas a alguna propietat misteriosa de sistemes vivents. D'ací la lògica generalitat.

Cultura és tot allò que no és donat genèticament, si bé la base de la cultura, la capacitat d'aprendre o d'aprendre a aprendre, sí que és informació de transmissió genètica.

**(Cultura és tot allò que
no és donat
genèticament)**

En aquest sentit ampli, en el món no humà hi ha molts elements culturals: els troncs dels arbres, cada un d'ells diferent, els dialectes dels ocells, la transmissió de certs costums en vertebrats, etc. En l'home, el món cultural es vastíssim: la família, les estructures socials, potser més les especialitzades per l'adoc-trinament i l'ensenyança, i tot l'en-

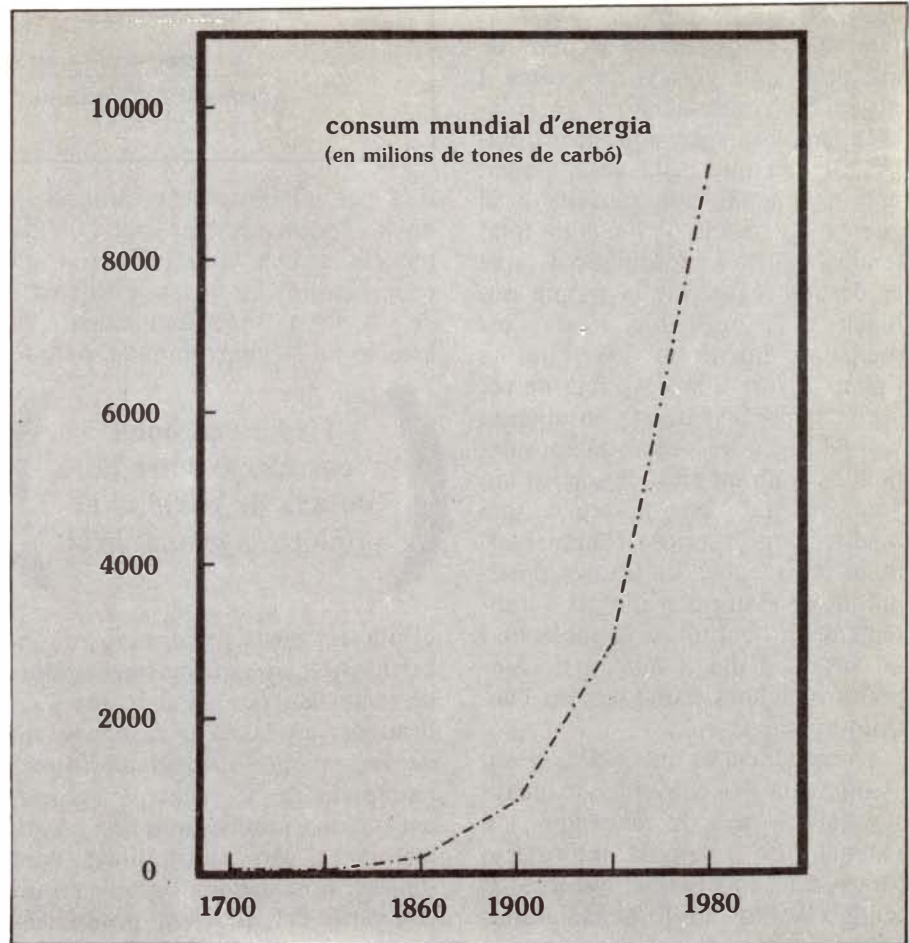


Fig. 7
"L'home és el llop de l'home".

Fig. 8
Evolució del consum energètic mundial.

torn físic, organitzat en cases, ciutats, camins, més tots els suports específics d'informació, com llibres, cintes magnètiques, etc. Diu Salomó: "Vés drogo, contempla la formiga i aprèn d'ella." I aquest insecte ens pot ajudar a continuar la mateixa línia de raonament. Una enorme avidesa per energia de manteniment, sols indirectament unida a la reproducció, és òbvia en aquests animalets. La reina pon molts ous, però és ella sola.

Els aliments, en general, tenen una composició elemental mixta, i aquesta composició és important també des del punt de vista de la partició de l'energia ingressada. Aliments rics en fòsfor, en nitrogen, en oligoelements, són adients per a organismes amb gran producció de biomassa nova. Organismes de menor producció secundària i activitat relativament major, poden passar amb una fracció més gran de compostos de carboni. Els pugons usen la saba i els sobra sucre. Les formigues usen el sucre, ja que són molt actives, com, d'altra banda, molts animals que cerquen el nèctar. Els ocells mosca xuclen nèctar, però s'han de complementar amb petits insectes. En els himenòpters socials trobem semblant divisió entre mel i pol.len; els individus treballadors, dins la colònia, usen més nèctar; els reproductors, més pol.len. Tan mal productor de "carn" és la formiga com l'home. Per altra part, les corbes de supervivència de diversos insectes socials, per exemple, l'abella, s'assemblen per la seva forma a les de l'home. El sucre per a les formigues és el vi del guerrier. Conreus d'oli i de vi són de país pobre; són bons combustibles, enfront dels cereals i llegums, més rics en nitrogen i fòsfor. Tot això per fer veure com les possibilitats que ofereix l'entorn tenen certa incidència sobre els camins que pren l'evolució. Les mateixes formigues ens mostren l'ús d'energia externa i de construccions que s'hereten. Els munts de pinassa de la formiga de bosc són col·lectors de calor que atemperen el clima local del formiguer. I no parlem dels tèrmits. El treball deixa artefactes, construccions, informació, una veritable cultura, Lotka



parlava d'òrgans exosomàtics (eines), complement dels nostres òrgans somàtics o endosomàtics (dits, boca); la mateixa distinció es pot fer amb l'energia, i, potser encara amb més raó, podem parlar d'energia exosomàtica, que, en el cas de l'home, és l'energia emprada per cuinar, per tenir llum, ambient condicionat, transport, etc. Una ve-

El treball deixa artefactes, construccions, informació, una veritable cultura

gada reconeguda aquesta energia exosomàtica és l'energia que puja els elements nutritius als estrats il·luminats de l'oceà, la que fa ploure i manté la vida a la superfície dels continents. Òbviament, en el cas d'insectes socials, el treball organitzat i el condicionament climàtic permet la supervivència de la població amb valors relativament baixos de taxa de reproducció.

Crec que uns del temes que poden tenir més interès per a tots

nosaltres, és la relació entre l'allargament de la vida individual i la disminució de la taxa de renovació de les poblacions, per l'un costat, i la disponibilitat d'energia externa que ve a complementar la quantitat d'energia endosomàtica no esmerçada en la producció de nova matèria viva, per l'altre. La consideració de diversos animals, per exemple, dels insectes socials, ens ha marcat certs suggeriments. La consideració de la manera tan general d'operar en la naturalesa, consistent en l'acumulació d'informació, de detall, en relació amb l'energia bescanviada entre sistemes, ens allibera d'una visió massa estreta dels canvis que va experimentant la humanitat. És un fet que la duració mitjana de la vida en l'home, especialment a partir de la revolució industrial, ha anat lligada al consum d'energia externa. Hom troba una bona correlació, comparant els diferents països, entre duració mitjana de la vida i energia exosomàtica, o producte nacional brut, que és molt proporcional a aquella energia. Però la relació, com es podia esperar, segueix la regla dels rendiments decreixents; com deia en una altra

conferència, la gent no solement viu més temps, també es mor de malalties cada vegada més cares. I no hi ha contradicció, o és solament aparent, entre aquesta afirmació i el fet que cada vegada sigui més car matar una persona a la guerra. La fracció de l'energia total (endosomàtica + exosomàtica) que es destina a renovar la pròpia població es fa negligible, i tota s'esmerça a mantenir en vida al qui ha tingut la sort o la desgràcia de ser acceptat per a ingressar en aquesta vall de llàgrimes. Aquestes consideracions, amb un punt de sortida tan "materialista", ens porten a una meditació molt seriosa, fonamentalment ètica, sobre les nostres possibilitats de manipular directa o indirectament, l'entrada a la població, i la sortida d'ella, i ajuden a comprendre algunes paradoxes en l'actitud humana.

La tendència es una espècie prou avantatjada és a conservar-se igual i a reduir la taxa de renovació. Un sistema que manipula informació (organisme, ecosistema, burocràcia) tendeix a usar la informació adqui-

Fig. 9

$$\frac{\text{producció + energia exosomàtica}}{\text{biomassa + biomassa exosomàtica (artefactes)}}$$

rida per tal d'excloure informació nova. Podria semblar que la vida tendeix a una constància i a un conservadorisme no gaire diferents de la mort. Afortunadament, la creació no és interrompuda, perquè

Hi ha una bona correlació entre la durada de la vida i el producte nacional brut

el planeta porta incorporats, de fàbrica, prou mecanismes generadors de trasbalsos per a exigir una vida limitada, un excés en la producció de descendents, i l'operació ininterrompuda de la selecció natural, encara que molt esmorteïda en un organisme tan culturalitzat com l'home. Possiblement, en un estudi comparat del quocient producció-

/biomassa, que és el més senzill índex de la taxa de renovació, hauríem de proposar per a l'home un altre índex de la forma

(vegeu fig. 9)

i en els dos índexs retrobaríem aquella propensió a disminuir al llarg del temps, que sembla que s'ha d'esperar del funcionament de sistemes complexos sotmesos a les regularitats de la termodinàmica de sistemes oberts i fora d'equilibri, amb la capacitat d'autoorganitzar-se. Disminuir el darrer índex voldria dir que cal esperar que la tasca d'acumular, mantenir i guardar memòria (documents, organització de l'espai) sigui relativament menys costosa a mesura que passa el temps. És clar que una informació pot persistir com a tal, però pot esdevenir obsoleta -com el diner, que perd valor amb la inflació- i ens podríem preguntar quin és el límit, és a dir, el punt, en què no val la pena invertir més energia en el manteniment d'una organització que ha perdut la seva capacitat creadora. Evidentment, consideracions com aquestes plantegen un nou marc dintre el qual prenen un altre significat l'ús de l'energia per la nostra civilització, els seus riscos -la creació de commutadors i de multiplicadors en les vies de l'energia exosomàtica-, en el sentit que pot tenir la cultura, i fins problemes pràctics i immediats, com és ara la inversió de recursos en pretendre allargar la durada de la vida individual.

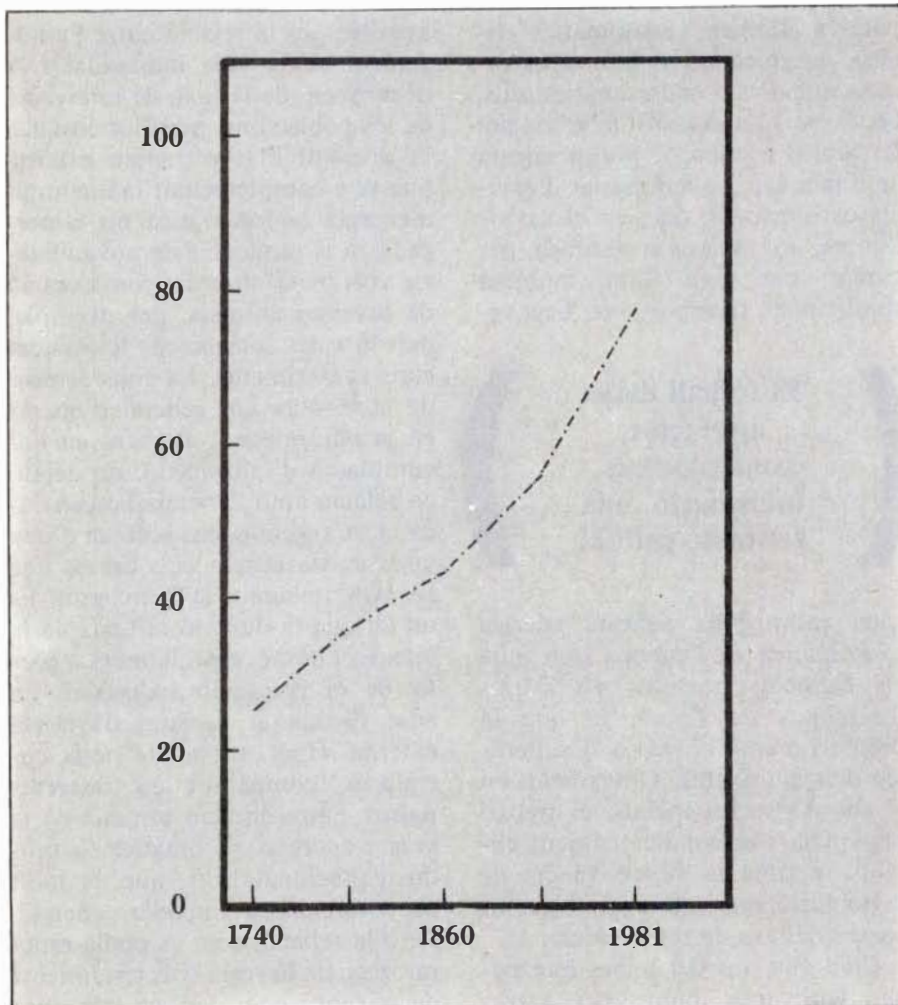


Fig. 10
Evolució de l'esperança de vida en funció del temps (vàlida per a Europa).