

**L'HOME, PART DE LA BIOSFERA I OBJECTE  
D'ESTUDI DE L'ECOLOGIA**

Comunicació presentada el dia 1 de desembre de 1970 pel doctor

**RAMON MARGALEF**

Professor d'Ecologia a la Facultat de Ciències  
de la Universitat de Barcelona

Durant l'any 1970 hom ha parlat i ha escrit molt, a tot el món, de protecció de la natura, de pol·lució, de «l'explosió demogràfica» i també d'ecologia. Han estat organitzades reunions d'estudi i de pressió a tots els nivells, des de petits grups fins als grans organismes internacionals. Tots els qui toquem, de prop o de lluny, alguns dels temes esmentats sembla que tenim una major obligació de parlar-ne. Jo voldria insistir menys sobre els perills i amenaces suspesos com espasa de Dàmocles damunt la humanitat, i parlar senzillament de la possibilitat i de la conveniència de precisar els problemes, realment greus, que tenim davant en termes més rigorosos i dins un context més estrictament ecològic. És inevitable que en tot moviment de l'amplitud d'aquell en el qual participem, una sèrie de conceptes originats en la ciència siguin usats després com a crits de batalla i deformats, i que al mateix temps condicionin respostes amb una forta càrrega emotiva. Un examen més fred de la qüestió no vol dir deixar de compartir una preocupació profunda, a tots els nivells de la raó i de la sensibilitat humanes, per les seves implicacions. L'ecologia humana no és simplement un tema d'interès acadèmic, o un complement benvingut per a ampliar la teoria ecològica general, sinó que demana una participació seriosa per part de tota persona reflexiva. Potser una de les obligacions dels ecòlegs, és la de sensibilitzar la gent envers els problemes existents, àdhuc tractant de provocar una reacció exagerada, única possibilitat d'anul·lar que esdevinguin realitat les múltiples profecies que han estat exterioritzades, totes elles de color molt fosc. Una actitud excessivament indiferent i complaguda ens portaria a reaccionar potser massa tard. Una cosa és evident: els problemes que tenim davant són de tal mena que no solament posen en relleu la solidaritat biològica de toda la humanitat, sinó també els lligams i la dependència mútua de la humanitat respecte a la resta de la biosfera.

No crec ésser desmentit si afirmo que el problema material més greu enfront del qual es troba avui la humanitat és un problema ecològic. La població humana creix i consumeix energia i tota mena de recursos a velocitat accelerada. La conseqüència és que la Terra se'ns va quedant petita.

\* \* \*

El problema es pot plantejar d'una manera molt simple. Com a primera aproximació —vàlida sempre damunt un curt segment de temps—, suposem que l'augment del nombre d'individus en una població és proporcional al nombre d'individus existents, i que l'augment en el consum o flux d'energia per individu és proporcional a l'energia que ja usa el mateix individu. D'ací deriva la següent formulació exponencial:

$$\begin{aligned} dN/dt &= rN & N &= \text{nombre d'individus} \\ dE/dt &= fE & E &= \text{consum individual d'energia} \\ d(NE)/dt &= (r + f)(NE) & NE &= \text{consum total d'energia} \\ & & r &= \text{taxa d'augment net de la població} \\ & & f &= \text{taxa d'augment en l'ús individual} \\ & & & \text{d'energia} \\ (NE)_t &= (NE)_0 e^{(r+f)t} & t &= \text{temps} \end{aligned}$$

Tret que la suma  $(r + f)$  sigui igual a zero, la darrera expressió correspon a una corba que creix exponencialment. Però òbviament la corba *no pot créixer* exponencialment, perquè l'energia és limitada. Jo

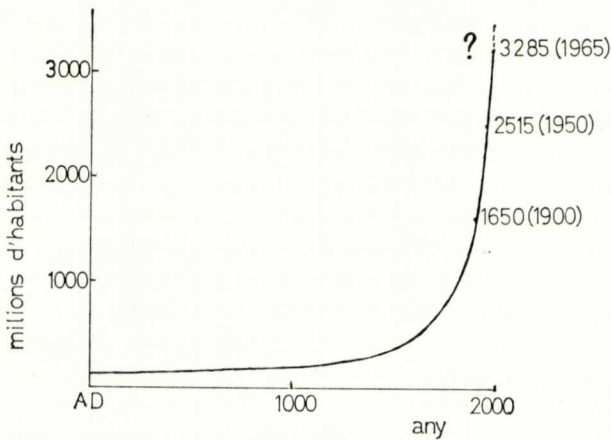


FIG. 1. — Creixement de la població humana, en milions d'individus

mateix he ridiculitzat sovint l'ús de models semblants per a situacions molt complexes, com són les que ens interessen. Hom té uns quants punts, hi fa passar una ratlla, a ull, i, si la funció creix ràpidament, la declara exponencial i així és extrapolada (fig. 1). En realitat i pel que fa al creixement en nombre de la humanitat, no segueix pas una funció expo-

nencial; però potser sí una sèrie de funcions exponencials la taxa d'augment (la  $r$ ) de les quals va canviant de tant en tant. De manera que qualsevol predicció basada en un model molt simple és defectuosa. Molt més exacte i conceptualment més correcte és estudiar el mecanisme del procés en el punt que representa el present. Per exemple, en la població humana,  $r$  depèn de la distribució de la població per edats i de la distribució de la fertilitat segons l'edat. Ensems, l'estructura demogràfica de la població humana és afectada per canvis en la mortalitat i aquests canvis se succeeixen a una velocitat molt gran en comparació de la vida d'una generació. Aleshores és factible de fer una projecció o distribució d'edats en anys futurs, però mai no massa allunyats, i aplicar estimacions més o menys versemblants de la fertilitat futura, per tal d'obtenir una predicció de  $r$ . Però, repeteixo, aquesta predicció no es pot estendre a més enllà d'una o dues desenes d'anys.

Pràcticament tota l'energia ens ve del Sol, la present i la passada —petroli, carbó de pedra—. La radiació solar representa 177 239 milions de megavats (taula 1). Però solament la meitat, aproximadament, té una

TAULA I

Flux d'energia que rep la Terra i que passa per la biosfera a diferents nivells. S'expressa en vats, i es donen diversos factors de conversió per a altres unitats. El consum per l'home, no estrictament alimentari, varia àmpliament, segons les nacions, entre 0,03 i 22,9 vegades el consum mitjà que correspondria al consum que s'indica de la humanitat entera

ENERGIA QUE VE DEL SOL . . . . .	177 238,9 × 10 <sup>12</sup> W
(secció de la Terra: 127,5 × 10 <sup>16</sup> cm <sup>2</sup> , constant solar: 1,99 cal min <sup>-1</sup> = 0,139 W cm <sup>-2</sup> )	
PRODUCCIÓ PRIMÀRIA . . . . .	122,5 × 10 <sup>12</sup> W
(65,9 × 10 <sup>15</sup> gC any <sup>-1</sup> ; 1 gC any <sup>-1</sup> = 0,001858 W)	
CONSUM HUMÀ: ALIMENTS . . . . .	0,4 × 10 <sup>12</sup> W
(9 × 10 <sup>15</sup> cal dia <sup>-1</sup> ; 1 cal dia <sup>-1</sup> = 0,000048 W)	
ALTRE . . . . .	3,0 × 10 <sup>12</sup> W
(molt divers, de 0,03 a 22,9 × 1)	
PRODUCCIÓ BIOLÒGICA HUMANA . . . . .	0,00055 × 10 <sup>12</sup> W

longitud d'ona tal que pot ésser aprofitada per les plantes. El sistema fotosintetitzador dels vegetals ha evolucionat de manera que la seva eficàcia és intrínsecament molt baixa. Encara hi ha moltes dificultats tècniques en la mesura de la producció primària, i l'exploració i l'estudi de la biosfera estan molt endarrerits, de manera que l'energia total que fixen les plan-

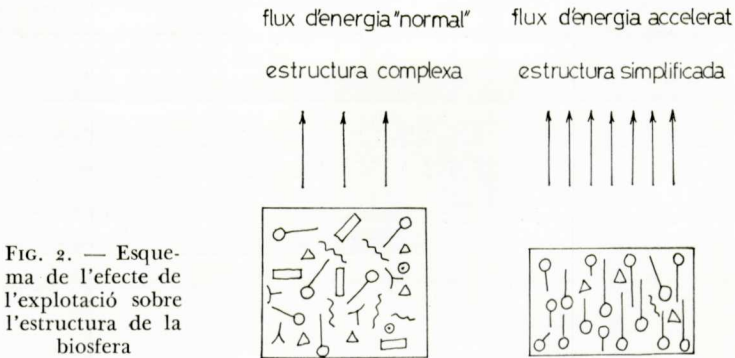
tes ens és coneguda d'una manera imperfecta. La xifra avançada en la taula 1, de 122 milions de megavats, és basada en extrapolacions força dubtoses de dades no sempre segures, tractant de tenir en compte tota la informació de què hom disposa actualment; però potser no s'aparta més d'un 20 o 30% dels valors «reals», i aquesta «precisió» és suficient per al nostre propòsit. La xifra es vol referir a la producció primària total, és a dir, sense deduir la respiració, encara que és difícil d'interpretar en aquest sentit moltes de les dades originals. La producció primària correspon a la fixació de 129 grams de carboni per metre quadrat i any i només és el 0,8 *per mil* de l'energia que ens ve del Sol.

Aquesta proporció pot augmentar sens dubte, però no indefinidament. En les millors condicions, en cultius d'algues i en alguns cultius de plantes terrestres (canyadolça, remolatxa, etc.) hom obté rendiments fins a 10 vegades més, és a dir, s'aprofita el 0,8 *per cent* de l'energia procedent del Sol; però donada l'estructura de l'organisme vegetal és impossible d'anar més enllà, i també sembla impossible d'augmentar la producció si no és en regions limitades, mai en la Terra entera. Desfermant la imaginació podem pensar en futures possibilitats d'una fotosíntesi *in vitro*, que encara són llunyanes. En tot cas hi ha un fet cert i és que una biosfera sotmesa, per part de l'home, a una explotació que n'accelera el flux d'energia —en benefici de l'home i vers l'home— ha d'ésser una biosfera simplificada (fig. 2), més sotmesa que l'actual a fluctuacions capricioses i fins catastròfiques i indubtablement més lletja, almenys als ulls dels qui hem viscut en un món on encara hi ha boscs, llacs blaus i oceans sense massa brutor.

Cada espècie té una necessitat mínima d'energia, per a mantenir-se en vida, créixer i reproduir-se. A l'home li interessa d'explotar espècies en les quals un tant per cent molt alt de l'energia ingressada s'inverteix en la creixença; però l'evolució en condicions naturals de les espècies mostra una tendència molt general a reduir, de primer, l'energia invertida en la reproducció i després en el creixement, i, finalment, a mantenir —la qual cosa a vegades porta a un augment relatiu— l'energia usada en el moviment. La relació entre la producció secundària o augment de massa atribuïble a creixement i reproducció, i l'aliment consumit, és de l'ordre del 5 al 22 per cent en herbívors, del 12 al 35 per cent en carnívors; però baixa ràpidament en animals com les formigues —1 a 2,6 per cent— i especialment en l'home, 0,1 per cent, [vegeu taula 1 (0,00055/0,4)].

L'home és, doncs, un organisme que menja molt i produeix poc, en termes de matèria viva. Una altra característica humana és l'ús d'una energia suplementària per a necessitats no estrictament metabòliques, per a escalfar-se, cuinar, transport, etc. Si l'evolució biològica porta en molts organismes a un consum d'energia més aviat baix per la massa de matèria que es manté en vida, l'evolució cultural de l'home ha augmentat febril-

ment el consum suplementari d'energia. Aquesta energia no es consumiria si no donés un avantatge obvi a l'home en el seu domini i control de la biosfera. El transport, per exemple, és un caràcter positiu en la competència i en la selecció: el transport de substàncies que fa el miceli dels fongs afavoreix aquests vegetals; la mobilitat de les tonyines i la connexió de llurs migracions amb la circulació oceànica els permet d'explotar diverses àrees marines de forta producció. Gràcies al transport, l'home escapa a la regulació local: quan ha malmès una regió, se'n va en una altra, o importa aliments, i erosiona successivament tota la terra. L'ús d'energia, a part l'alimentació, és molt gran en l'home i especial-



ment gran en la civilització que es diu «americana», però que resulta seductora per a un espectre molt ampli de règims polítics: per terme mitjà és més de deu vegades superior a les estrictes necessitats metabòliques. Una part molt considerable d'aquesta energia procedeix d'ecosistemes del passat: és l'energia fòssil del petroli i del carbó mineral. Una altra ve d'ecosistemes del present (fusta, etc.) i una altra és energia solar que no ha passat per la biosfera (energia hidràulica).

La reserva de carbó fòssil explotable és molt elevada (taula 2), probablement més de 20 vegades la quantitat de carboni fixada en la biosfera actual, i unes 150 vegades la producció primària anual. Una altra part considerable de carboni es troba en les substàncies dites «húmiques» del sòl i dissoltes en les aigües naturals. Recentment hom ha manifestat una certa inquietud sobre possibles canvis atmosfèrics produïts per una combustió excessiva de carbó fòssil. És probable que el perill sigui menor que hom no sospita gràcies a la capacitat de retenció de carboni inorgànic en l'aigua del mar: el carbònic de l'atmosfera es dissol ràpidament en l'aigua i la solució s'equilibra per dissolució d'una major proporció de calcària. En aquest sentit, i en molts altres, els oceans aconpleixen la missió d'un volant



de consum, que, malgrat tots els escarafalls, és la que té més atractius per al poble.

Cal acceptar que hi ha un límit superior en el producte NE, és a dir, en l'energia que l'home pot utilitzar. La humanitat reté una certa capacitat de decisió en la forma com això es produirà. ¿Què disminuirà abans: r o f, o tots dos alhora? ¿O encara passarà temps fins que comencin a davallar? ¿O potser l'ús individual d'energia continuarà augmentant i la població humana es reduirà a un nombre més petit?

\* \* \*

Tenim dos problemes bàsics o primaris, pròpiament ecològics: un problema d'augment de població i un problema d'augment d'ús d'energia. Cadascun d'aquests problemes porta associat un altre problema que es pot dir secundari i de forta transcendència social. Les variacions demogràfiques generen canvis en la composició de la població per edats, font de dificultats socials i polítiques. L'augment en el flux mitjà d'energia n'augmenta també la *variabilitat* individual, i augmenta el grau de control i explotació d'uns grups humans per uns altres.

\* \* \*

Una població es diu *estable* si la proporció d'individus de diferent edat es manté constant. I *estacionària* o en equilibri si és el nombre total d'individus el que no varia, és a dir, si  $r = 0$ . La població humana no és ni estable ni estacionària. I suposant que es fes estacionària, seguiria essent inestable per molt de temps. A més, qualsevol regulació de l'estabilitat depèn de la forma de regular  $r$ . La taxa neta d'augment ha estat molt propera a zero durant la major part de la història de la humanitat i pot retornar a zero, sigui mantenint una mortalitat relativament alta, sigui reduint molt la natalitat. Indubtablement els metges han influït i influiran molt a fer que predomini una o altra solució. La limitació de naixements té l'aspecte negatiu d'implicar una cura excessiva en la conservació dels escollits, alterant el curs de la selecció natural que fins ara havia actuat. Potser hom ha exagerat els resultats previsibles d'aquest canvi en l'estil de selecció; però és cert que ha de tenir alguns efectes.

Els economistes prefereixen una població relativament estable i creixent. D'ací han sortit crítiques al propòsit de fer nul el creixement, cosa que, de realitzar-se, portaria a una forta desestabilització en la distribució per edats. Solament després de diverses generacions hom podria arribar a una població ensem estable i estacionària. Però de fet la població humana no ha estat pas estable, almenys durant el darrer segle, al



món occidental. El paràmetre demogràfic més constant de la població humana és la duració d'una generació, el període entre els moments entorn dels quals es distribueix la producció de descendència en dues generacions consecutives, i que és i ha estat per molt temps entre 27 i 29 anys. En canvi, la duració mitjana de la vida ha augmentat ràpidament, des d'un valor comparable al de la generació, a edats de 70-75 anys en els països més desenvolupats i de 55-65 anys en els que lluiten per desenvolupar-se. El quocient entre els dos paràmetres, que havia estat inferior o proper a la unitat durant mil·lennis, ha passat ràpidament a un valor de dos o de tres. Això reflecteix un canvi profund en l'estructura per edats de la població. Amb un quocient igual a 1, els individus vells tenen un valor indubtable com a fonts d'experiència o factors de cohesió social, però amb un quocient igual a 3 tenim convivint diverses generacions, aquella funció positiva dels individus de més edat es difon en una mena de gerontocràcia i es presenten problemes nous, que són completament característics de l'espècie humana. En realitat, en tota espècie social, els canvis en la distribució per edats de la població porten trasbalsos. Si ara disminuïa la natalitat de manera important, els joves de la generació que neix es trobarien en un món en el qual la fracció de persones d'edat avançada seria encara més gran que en el món actual. No és fàcil d'imaginar el destí de la humanitat enmig de tants esculls. Si es tractava d'una població de paramècis, de dàfnies o de *Tribolium* ens ho podríem mirar amb una certa indiferència; però és que es tracta de la nostra espècie i qualsevol opinió porta elements emotius.

De tota manera, l'estudi demogràfic de l'home posa en relleu algun canvi més lloable. Cal assenyalar, incidentalment, que els antics registres parroquials contenen un tresor d'informació, molt més interessant, als meus ulls, que el que puguin dir pragmàtiques oblidades. D'estudis fets a Anglaterra i França, referents a períodes no massa llunyans, (segles xvi a xviii) es dedueix que aleshores les corbes de supervivència eren molt diverses d'un país a un altre i d'un estrat social a un altre. Avui dia persisteixen algunes diferències, en països en els quals conviuen races diverses, o entre nacions més o menys avançades en el camí tecnològic, però és un fet que la humanitat ha anat uniformant les seves característiques demogràfiques d'una manera fantàstica i el progrés continua. Crec que és un signe positiu. Tot canvia, i precisament per això és tan difícil de fer prediccions: és a dir, no sols hem de rebutjar una senzilla extrapolació, a ull, de la funció de creixement, sinó àdhuc una predicció basada en un estudi de la funció a base de dades presents.

\* \* \*

Paral·lelament a la qüestió demogràfica tenim l'explotació i la conservació de la natura, base de la nostra subsistència. L'home extreu els materials que necessita de la resta de la biosfera; abans, però, si en treia massa es moria de fam o havia d'emigrar. L'home ha produït una cultura lligada a l'ús d'un nombre creixent d'artefactes i a un augment de la mobilitat. Mobilitat dels individus i mobilitat dels productes de la natura. Tot això es paga amb l'elevat consum d'energia i ha tret l'home de qualsevol mecanisme de regulació, de tipus cibernètic, i d'efectes locals. Cada vegada estem més lligats els uns als altres i cada vegada la interacció entre home i natura es fa a una escala més àmplia, és a dir, cada vegada seria més difícil de superar els nostres disbarats col·lectius.

Avui dia es parla molt de pol·lució. En realitat l'única definició que se'n pot donar és que es tracta de quelcom que està fora de lloc. Pol·lució i transport estan, doncs, íntimament lligats. La gran ciutat importa productes d'una àrea extensa, però en concentra les deixalles en un punt. No és estrany que els mecanismes naturals de circulació se'n ressentin i fallin. I no parlem ja dels altres problemes de contaminació radioactiva i dels pesticides, creació per l'home de molècules especials que els altres éssers vius encara no han après a manejar. El mal també l'estem fent a escala mundial i no sabem si podem confiar en una immobilització natural o produïrem una catàstrofe en arribar al nivell crític i afegir la gota que farà vessar el dipòsit. Sobre això hom ha escrit i escrit copiosament, així com sobre l'organització de l'espai, relacions entre àrees urbanes i rurals, etc.

Voldria remarcar solament que, així com el problema demogràfic porta implícits problemes socials que depenen dels canvis en la distribució per edats, la intensificació de l'explotació de la natura porta un problema secundari que té a veure amb la desigualtat entre els homes i entre les nacions. Mentre que els individus d'una espècie solament consumeixen energia en forma d'aliment, es pot dir que estem en un mínim biològic, en el qual n'hi haurà de millor o de pitjor alimentats: el resultat pot ésser una mortalitat diferencial i potser una selecció natural. Però la variança en el flux d'energia individual no varia molt entre la mort i la sacietat. Quan augmenta el flux total d'energia, que aleshores s'estén a moltes altres activitats extrametabòliques, augmenta també exageradament la seva variança. Encara que pugui disminuir la probabilitat de morir de fam, es fa més palès el control d'unes nacions per altres, o d'uns grups humans per altres. He de remarcar que aquest fet talla, de dret i de través, totes les ideologies consagrades, la qual cosa fa comprensible que

l'ecologia resulta un sí és no és incòmoda quan no es limita a recomanar discretament que hom no embruti massa els rius o com seria de convenient de no talar un bosc bonic.

Les relacions que comentem poden ésser expressades amb un model cibernètic. La interacció «home/resta de la biosfera» és un circuit negatiu o estabilitzador, en el qual accions i reaccions poden ésser mesurades com intensitats de flux d'energia. Si diferents grups humans donen lloc a diferents circuits paral·lels, entre els termes dels circuits negatius paral·lels s'estableix un circuit positiu o de competència: un grup controla o explota

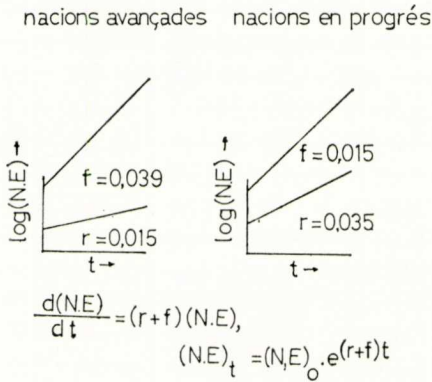


FIG. 3. — Augment de la població i augment del consum d'energia per individu, en diferents grups de nacions

realment l'altre. És com si posem en una habitació dos termòstats de característiques diferents: a la fi és un el que governa. L'home té una capacitat de control del medi més alt que qualsevol altre ésser viu; però precisament ací arrelen nous conflictes interspecífics. Cal reconèixer que si bé l'augment fabulós del flux energètic pot fer desaparèixer l'esclavatge i la fam, genera i augmenta ensems la capacitat de control d'uns grups per altres. ¿Pot realment renunciar l'home a fer ús d'aquesta capacitat de control?

\* \* \*

El problema es planteja d'una manera més concreta i més complexa, a la vegada, quan tractem de veure juntament la qüestió demogràfica i la qüestió de l'ús de la natura (fig. 3). Tornem a l'expressió exponencial del principi, aplicant-la a dades recents dels Estats Units i a d'altres mundials publicades pels organismes internacionals. L'augment en el consum total d'energia (NE) mostra diferències d'una nació a l'altra, però està entorn de 0,05 (valor de  $r+f$ ), que aproximadament correspon a una duplicació cada 13 anys. Majors són les diferències en com es distribueix aquest total en els seus components. En unes nacions augmenta més la població,

en altres el consum d'energia per individu. Aquesta diferent distribució caracteritza respectivament les nacions riques i les pobres, o les desenvolupades o en vies de desenvolupament, com diem amb un delicat eufemisme. Es fa difícil de visualitzar l'evolució futura i les implicacions d'aquesta situació. És una situació de competició. Tractar-la dintre un context científic pot afegir objectivitat, treure emotivitat i obrir els ulls a solucions ni utòpiques ni despietades.

En realitat no volia pas fer propaganda de l'ecologia. Avui, més en altres països que a Espanya, hom parla i escriu moltíssim sobre natura, ambient, pol·lució, ecologia, etc., de manera que, repeteixo, no falta una sorollosa —i estafeta— propaganda, a escala internacional. Volia recordar, solament, que l'estudi rigorós de tots aquests aspectes toca a l'home, com a tal, de molt a prop.