

Energia externa i agregació en poblacions humanes

Josep M. Casas(*)

Introducció

El present treball és un estudi preliminar, efectuat des d'una òptica sintètica, d'un sistema que ens interessa a tots. És a dir, l'ecosistema humà. Paral·lelament amb els avenços tecnològics l'estudi de la nostra pròpia civilització es perfila de manera més i més nítida com una disciplina de fort atractiu intel·lectual. Es detecta un interès creixent per tal de començar a entendre les lleis bàsiques que relliguen els diferents sectors que, tradicionalment, s'han dedicat a l'estudi de la societat humana.

L'article comença amb una presentació de les idees bàsiques de la teoria ecològica segons Margalef, ja que el treball pràctic que es descriu es basa fonamentalment en elles. Tot i que ja fa un quan temps que aquestes idees han estat publicades en diferents mitjans i països, ens anirà bé d'establir una base inicial comuna.

El que es pretén és arribar a quantificar els factors més importants que conflueixien en la redistribució de la població humana; això és: la forma com la gent tendeix a agrupar-se en concentracions més o menys nombroses. Pensem que si cal traçar les línies mestres per tal d'intentar entendre com funciona l'ecosistema humà, no n'hi ha prou amb apreciacions de tipus qualitatiu i cal passar a un nivell de detall més acurat. Això ens ha de permetre el disseny d'eines eficaces per a una gestió de recursos des d'una perspectiva sistèmica, tal com el nivell de complexitat assolit en les nostres societats aconsella que es faci.

Informació, demografia i espai segons Margalef

Sistemes

El concepte de sistema designa un conjunt d'elements que s'ajunten restringint els seus respectius graus de llibertat, de manera que les interaccions resultants són restringides, ordenades, recíproques i amb *feed-back*. La conducta dels elements d'un sistema presenta una certa convergència, que limita els estats que poden assolir si els comparem amb el nombre d'estats possibles sense interaccions. Aquesta conducta convergent és sinònim de nucleació, síntesi o generació de discontinuïtat. És en aquest contexte que hem d'interpretar la suggerència de Beer (1975), de que les indecidibilitats sorgides a l'emprar una

(*) Departament d'Ecologia, Universitat de Barcelona

metodologia sintètica cal resoldre-les mitjançant el metallenguatge de les fronteres o límits. Un sistema presenta una certa flexibilitat interna, i això implica un determinat grau d'incertesa en els seus estats futurs. En el cas de que aquests estats siguin predivinibles des del començament, parlarem d'una informació inicial màxima.

Malgrat tot, la predictibilitat depèn de la selecció de variables que escollim per a estudiar. Recordem que Margalef extrapola el concepte de sistema a partir de l'observació de la natura i senyala el fet de que qualsevol sistema és més o menys obert, especialment pel que fa a l'energia. Es tractarà, per tant, d'una estructura dissipativa que evolucionarà en l'espai i el temps i això ens obligarà a fer evolucionar també els nostres paràmetres de mesura. El nombre de possibles combinacions entre els elements d'un sistema serà el límit superior d'informació. Pot donar-se la volta a l'argument i dir que la informació és una propietat de tot el què estat format per parts diferents.

De fet, pot dir-se que la principal característica de l'Univers és la falta d'uniformitat, de manera que els canvis d'estructura són freqüents en el temps i en l'espai. Una connexió respecte d'aquesta idea pot trobar-se en els estudis de Hagerstrand (1984), referents al tema concret de l'organització de l'espai.

Els sistemes oberts, a l'evolucionar, registren una deceleració de les taxes de canvi i també una minva de la quantitat d'energia dissipada per unitat d'informació. Pel que fa a la manera d'articular-se entre ells, val a dir que s'estructuren de forma jeràrquica de manera que els subsistemes estan continguts en el sistema, i aquest queda inclòs en l'estructura del metasistema. Aquest model, que Margalef bateja amb el nom de *model de les nines russes* apunta vers possibles normes comunes de construcció, sempre i quan tinguem en compte que *no* tots els nivells són equivalents. Si el que fem és observar l'organització del sistema "des de dins", la jerarquia s'assimila a l'aparició de línies de comandament. Aquest fet ve condicionat pel que Margalef anomena *principi de Sant Marc* segons el qual quan dos sistemes interaccionen, és el més organitzat qui reb més informació. Encara que tornarem a tractar el tema més endavant adelantant ara que aquest fenomen constitueix una de les regularitats més notables en el funcionament dels sistemes físics. Quant als elements que componen un sistema, recordem que són discontinus i quantificables de manera que poden ser destriats en un nombre limitat de classes. Els sistemes mostren una certa inèrcia al canvi, que es manifesta en forma de *feed-back* des del sistema vers els elements. D'aquesta manera, l'entorn que condiciona l'evolució d'un element concret està format, en part, per tots els altres elements del sistema.

Qualsevol sistema actua com a conductor d'informació. La proporció, número o manera de relacionar-se dels components d'un sistema pot considerar-se com un missatge que és vàlid només en el contexte d'un sistema més gran. Aquest pot assimilar-se amb un canal o referència. Considerem, a títol d'exemple, les espècies en un ecosistema o les paraules d'un idioma. En una jerarquia, els sistemes de nivells més elevats són més estables que els situats a nivells més inferiors. D'una altra manera, poca variació a un nivell alt pot basar-se en nivells baixos de variances més gran. Simon (1962) desenvolupa una idea semblant al parlar de l'arquitectura de la complexitat i els temps d'interacció. Margalef remarca que els sistemes de baix nivell funcionen poc connectats, comparant-los amb els nivells més elevats, tot suggerint l'acreció diferencial d'informació a favor dels nivells més alts.

Un sistema pot aparèixer de forma natural a l'interactuar subsistemes que ja són estables o bé pot construir-se mitjançant l'establiment d'una xarxa de transport que interconnecta parts molts allunyades que deixen de ser estables. En aquest segon cas obtenim un gran sistema estable a canvi d'un important subsidi energètic que manté en funcionament la xarxa de transport. L'establiment de xarxes de comunicacions entre les nostres ciutats és un exemple ben clar d'aquest segon tipus, i el seu estudi constitueix l'objectiu principal del present treball.

Memòria i fronteres

Qualsevol interacció entre energia i matèria implica un canvi d'estructura d'aquesta darrera. És a dir, la matèria enregistra els seus contactes amb l'energia de manera que la caiguda energètica implica un augment d'informació. Pot parlar-se, doncs, d'una conversió d'energia en informació i afirmar que les estructures es generen com a resultat d'una funció.

És fàcil detectar en qualsevol sistema zones més efectives en l'acreció d'informació per una baixa d'energia donada. Es tracta d'àrees que es perfilen millor en l'espai o el que és el mateix, que queden menys connectades amb l'entorn. Per tal de contrastar aquesta darrera idea, podem citar el metallenguatge de les fronteres o límits tal com l'introdueix Stafford Beer (1975). L'acreció d'informació genera

discontinuitats, i és per això que Margalef considera que “el món real sembla un resultat de la inestabilitat de lo homogeni” (1982). Pel que fa a Beer, aquest autor suggereix que les situacions indecidibles generades per criteris sintètics han d'ésser resoltes considerant que els gradients molt marcats en el grau d'organització són els límits entre sistemes diferents. L'acreció d'informació implica una disminució en la dinàmica del sistema, de manera que al sistema més organitzat li pertoca la taxa de renovació més lenta. El DNA com a mol·lècula central dels organismes vius és una bona constatació d'aquest fet.

Hem dit que la informació s'acumula preferentment en la interfase existent entre dos sistemes, justament on els gradients són més acusats. Una termoclina, o banda d'estratificació de l'aigua segons la densitat en constitueix un bon exemple, i Margalef recorda com la informació emmagatzemada en ella reflecteix exactament els fenòmens esdevinguts en superfície. Els sistemes que interactuen poden, però, no estar en contacte permanent de manera que el concepte d'interfase adquireix una acepció molt àmplia en la teoria de Margalef tal com resulta evident al considerar el cas de l'interfase existent entre les abelles i les flors.

El concepte de memòria es perfila al considerar les zones d'acreció d'informació tot i que cal subratllar que la memòria seria ortogonal al gradient considerat, tal com el camp magnètic és ortogonal al corrent elèctric. La memòria presenta tal com ho veu Margalef, característiques de superfície, i posa com a exemple la pròpia superfície del mar, ortogonal als gradients de densitat, temperatura, etc. i l'estructura de la qual reflecteix, en un moment donat, els esdeveniments entre els medis aeri i aquàtic. Aquests esdeveniments queden representats en la memòria mitjançant ones, siguin aquestes les de la superfície marina, les que puguin detectar-se en una termoclina o les existents entre dues masses d'aire. Margalef ens fa adonar de que les memòries presentaran propietats comunes amb les membranes. Des d'aquest punt de vista i seguint la seva suggerència d'estudiar les propietats generals de construcció del sistema podria considerar-se tota la Biosfera com una fina pel·lícula que envolta la Terra amb propietats semblants a les d'una membrana biològica. L'estudi de l'ecosistema global des de l'espai ha de contribuir a un millor coneixement dels mecanismes que actuen a nivell planetari. La recent interpretació de les aurores com a manifestació de l'activitat dinàmica del nucli terrestre, generador del camp magnètic, atrau l'atenció (Jeanloz, 1983). De seguida acudeix al pensament la recerca d'una metodologia que relacioni superfície -memòria- amb estructura generadora.

Convé no oblidar l'assimetria (inestabilitat del que és homogeni) que acompanya qualsevol interacció entre dos sistemes, de manera que la norma general és que el guany d'informació important correspon a la part que era ja més organitzada prèviament (el mar en el cas de les ones marines, la termoclina en el cas del gradient de densitat). Aquesta assimetria té el seu origen precisament en l'efecte amplificador que presenta la informació l'expressió còsmica de la qual serà la dualitat matèria-energia.

Les observacions de Margalef postulen un model teòric de memòria d'aplicació general que pot estendre's a sectors conflictius com és el cas de la recerca aplicada al cervell. Literalment, (Margalef, 1980 a: 41), “la memòria podria considerar-se com una propietat general de les interfases, i fins i tot, suposar que ordinàriament pren la forma d'ones estacionàries o progressives, o bé consisteix d'estructures que es poden analitzar com si fossin ones, i que permeten reconstruir escenaris en l'espai i en el temps com si es tractés d'una holografia”. La idea sembla haver assolit un cert ressò, tal com queda palès en comunicacions posteriors (Margalef, 1984 a).

Que els elements d'un sistema constitueixin o no un missatge depèn de l'adopció de l'escala adient. Així aquests elements poden considerar-se un missatge vàlid en un contexte o sistema més gran (organismes en un ecosistema, paraules en un llenguatge). A l'hora de tractar un ecosistema com a canal d'informació, caldrà distingir entre canals genètics i canals culturals. Un exemple dels darrers seran les pistes o els formiguers, comparables a les autopistes o ciutats d'un sistema humanitzat. Podrem distingir fronteres entre ambdós canals com ara la frontera entre la consciència i altres nivells subjacents més relacionats amb la memòria genètica. No resulta fàcil de caracteritzar aquesta darrera frontera. Margalef es pregunta (1983) quin llastre prehumà arrossegueu en els nostres cromosomes i observa que sigui quin sigui, el criteri evolutiu ha estat la supervivència i no la recerca de la veritat, de manera que convé tenir-ho en compte a l'hora de parlar d'educació o de planificació social. L'inconscient és una mena de generador d'atarjar i, cas de sobreviure, incloses en la memòria de les civilitzacions.

La vida és per Margalef un “realista hipotètic” que admet que la realitat existeix i és cognoscible fins un punt que encara està per precisar. Aquesta visió, relacionada amb la idea de què la ciència és possible perquè l'univers és un sistema, contrasta potser amb la postura d'aquells pels quals no val la pena buscar cap simplicitat darrera la complexitat. El problema en qualsevol cas és que l'home queda

dins el sistema que caldria estudiar des de fora, i la sortida, ara per ara, consisteix en afegir a les interpretacions humanes una visió "de perspectiva" en què l'home es contempla a sí mateix contemplant la natura, i això a infinits nivells, com si es tractés d'un quadre d'Escher o de la imatge generada per la càmera de vídeo enfocant al televisor. Això recorda una analogia utilitzada per Bateson en *Mind and Nature* al parlar de la visió binocular: imaginar-se al plegat la Terra vista des de la Lluna i la Lluna vista des de la Terra (1979).

Igualment a la distinció canal-missatge o suport-memòria, també senyal i soroll es difuminen en la Natura. Una mutació pot interpretar-se com a soroll, però el mecanisme selecció-evolució hi treballa damunt, de manera que el soroll pot resultar creador, a l'igual que les il·lusions de l'inconscient que hem comentat abans.

Energia externa, transport i organització de l'espai

Una de les característiques diferencials de l'espècie humana envers les altres és l'ús ampli d'energia auxiliar, és a dir, energia no esmerçada per a la pròpia alimentació (la persona humana ha de menester diàriament 2.000 calories). A l'energia utilitzada per l'home per a escalfar-se, coure els aliments, viatjar, mantenir les ciutats, etc. en direm, doncs, energia auxiliar. El total de l'energia auxiliar utilitzada per la humanitat és vuit vegades més gran que la necessària per a l'estricta alimentació dels 5.000 milions d'habitants que té la terra, ben entès que el valor esmentat no és pas uniforme al voltant del planeta, ja que la despesa d'energia auxiliar a una societat industrialitzada és de l'ordre d'un miler de vegades més gran que l'energia justa per a l'alimentació de la població. Fins fa ben poc, les fonts de l'energia auxiliar han estat, d'un costat l'energia produïda a l'aigua i l'atmosfera, com l'energia del vent o dels rius, que ha estat utilitzada per l'home mitjançant el molí de vent, la vela o la central hidroelèctrica, i de l'altra l'energia solar transmesa devers la fusta per mitjà de la fotosíntesi.

Davant de la tendència habitual de la Natura, l'espècie humana organitza sistemes on uns punts molt allunyats depenen dels altres, com és el cas de les ciutats, per exemple, on cal portar recursos cada vegada des de més lluny a fi que la gran urb no esdevingui col·lapsada. Així doncs, una part important de l'energia utilitzada per l'espècie humana manté un sistema de transport cada volta més complexe, contrastant amb les normes de la natura.

La conducta actual de l'home és comparable a la dels pobles nòmades, que menen els remats d'un lloc a l'altre, sense parar esment a l'estat de les pastures que deixen enrera, ja que no les tornaran a necessitar. Una forma semblant de vida implica una menor dependència dels recursos existents en un lloc concret, en contrast amb les comunitats sedentàries que depenen de la conservació dels recursos del lloc on viuen. L'home actual ha invertit l'estratègia, i en comptes d'anar-se'n a un altre lloc un cop esgotats els recursos d'una zona, estableix la seva residència a un lloc determinat i hi transporta tots els recursos necessaris. Si els recursos d'una zona esdevenen esgotats, tan sols cal establir una nova cadena de transport amb una altra font de recursos. Mirant-ho així, es comprèn que si la humanitat acceptés com a norma l'eliminar les aglomeracions actuals, i construir les noves més a prop de les fonts de recursos, s'aconseguiria un estalvi considerable d'energia.

És clar que l'actual estratègia humana d'esgotar fins al capdavant una font de recursos i, en acabat, cercar-ne una altra té un límit, i aquest límit és la quantitat de noves fonts de recursos que encara resten verges. Es pot dir que un problema tan popular com el de la pol·lució no és res més que un embús al sistema de transport organitzat per l'home: hom transporta els recursos naturals als nuclis de població, on són emprats parcialment, originant-se un amuntegament d'elements prop de la població, si més no, avisant que hom no aprofita els recursos naturals de manera adient (Margalef, 1976; Casas, 1976).

El transport horitzontal, que depèn de l'energia externa, modifica l'estructura de les trajectòries verticals, uniformitza els segments adjacents i, en la mesura que no és simètric (no hi ha retorn) implica una acumulació local de residus. La direcció, intensitat i distància del transport es relacionen amb l'organització de l'espai, de manera que pot establir-se un paral·lelisme entre les característiques del transport i les dimensions dels elements del paisatge (Margalef, 1980 a: 11). L'augment de la disponibilitat d'energia externa té conseqüències socials evidents, de manera que ha fet possible l'existència d'activitats antisocials sense cap valor de supervivència o bé ha permès la presència, en la població humana, de gens la permanència dels quals està sotmesa a determinats complements confeccionats per la societat industrial.

La disponibilitat d'energia externa augmenta el pes relatiu de la informació cultural davant de la informació genètica, i això amplifica les característiques que fan que l'espècie humana augmenti el protagonisme del canal d'informació cultural, de manera que l'efecte multiplicador és més i més accentuat.

Organització de l'espai. En termes generals podem afirmar que hi ha una relació entre energia i organització de l'espai. En el cas concret de l'energia auxiliar, pot estudiar-se el condicionament que aquesta exerceix sobre les estructures espacials i llur posterior evolució. Igualment, les dimensions d'aquestes estructures reflectiran l'energia auxiliar que les suporta, tal com ha quedat apuntat més amunt al parlar del transport i els elements del paisatge. El tipus de restriccions que l'espai imposa als elements d'un sistema són comparables a les originades pel temps, i també les assimetries, en el sentit del condicionament exercit per la història passada afecten els fenòmens relacionats amb l'espai i el temps.

L'acció de l'energia sobre una superfície determinada es tradueix en barreja i transport. La importància d'aquest darrer factor és més aviat secundària exceptuant el cas de l'espècie humana. La major part de l'energia utilitzada es destina al transport de mercaderies, informació i gent i Margalef subratlla la coincidència amb el plancton a l'hora de relacionar el tamany de les estructures (amb lligams funcionals), la quantitat d'energia externa i la potència global implicada en qualsevol nivell del sistema (1979b). La disponibilitat d'energia externa fa que l'impacte humà sobre la superfície dels continents sia visible comparant períodes de temps cada vegada més curts i és fàcil distingir el valor assolit a diferents països tot comparant imatges aèries del seu paisatge. Com que els nous paisatges poden associar-se millor amb l'activitat de l'energia externa que amb les distribucions preexistents, és més fàcil considerar l'ecosistema humanitzat com un procés, tal com Margalef suggereix que es faci en qualsevol ecosistema.

La compartimentació en sentit horitzontal i l'aparició d'ones de memòria que es propaguen perpendicularment al gradient poden imaginar-se, en el cas del plancton, suposant que tot un ecosistema està format per un feix de tubs paral·lels cada un dels quals és contenidor d'una reacció Belousov-Zhabotinski (Nicolis i Prigogine, 1977; Winfree, 1974). Podem inaginar que tot el conjunt entra en un ritme determinat, per exemple. Margalef compara cada tub amb una corda tensa que, al vibrar, propaga ones en plans horitzontals. Les interaccions horitzontals no determinen una organització tan rígida com la vertical, però podem distingir taques amb contorns molt arrodonits, que estarien poblades per espècies més actives quant a la producció primària, i una estructura més rica i més regular poblada per organismes que tendirien a una taxa de renovació més lenta.

La mateixa visió pot fer-se extensiva a l'observació d'un ecosistema humanitzat, on les zones més explotades coincidirien amb els camps de cereals, per exemple (Margalef, 1982).

Demografia

En l'estudi de poblacions, la variable més important a considerar és la *duració mitjana de la vida*. Igualment, podem adoptar dos punts de vista complementaris depenent de si volem considerar l'actuació de la població com un procés *continu* o bé com un de *discontinu*. En el primer cas, expressem la població en termes de biomassa, tot mesurant els canvis de *matèria* i *energia*, que poden considerar-se com variables infinitesimals. En el segon cas, considerem que la població està formada per *individus discontinus*.

Per un espai i temps donats, sol acceptar-se que el nombre de naixements i morts és proporcional al nombre d'individus de la població. Utilitzant expressions infinitesimals s'escriu:

$$\frac{dN}{dt} = rN - mN = (r-m) = kN$$

$$N_t = N_0 e^{kt}$$

r = taxa de natalitat

m = taxa de mortalitat

N_t = població en el temps t

L'exponent K o *paràmetre de Malthus* és la taxa instantània de variació de la població. Margalef (1979a) adverteix que al tractar individus no podem usar equacions diferencials, que només són aplicables a magnituds que varien de forma contínua. Per tant, hem d'utilitzar *diferències finites* com ara ΔN_t . Caldria, doncs, partir d'una expressió del tipus:

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = f_e(N, \dots) - f_s(N, \dots)$$

Convé remarcar que la dependència de les entrades i les sortides respecte de la població N no és igual, a part de que cal tenir en compte la dependència d'altres factors. Sempre que tractem un sistema modificat per entrades i sortides, la *regressió* de les sortides respecte del contingut és més precisa que la de les entrades. Es proposa, per tant, una expressió:

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = f(N, \dots) - f(f(N, \dots))$$

significant que “les sortides depenen més de l'estructura de la funció que les representa que de les variables implicades”. El que fem aquí és introduir *funcions recursives* que fan que els valors depenguin més de l'estructura de la funció que de les variables independents. El fet de que en una població, les sortides puguin descriure's mitjançant una funció amb més graus de recursió, implica introduir en demografia la tendència de qualsevol sistema en què s'observen fenòmens d'*acreció d'informació*.

Quan tractem magnituds que varien de forma contínua (per exemple la Biomassa) podem treballar amb expressions infinitesimals del tipus dB/dt . La crítica a fer en aquest cas, es basa, segons Margalef, en l'oblit de l'espai. Caldria, doncs, utilitzar derivades parcials respecte de l'espai i el temps. L'oblit de l'espai és associat al fet de que la manera de pensar tendeix massa a ser seqüencial, en lloc de representar-nos mentalment les estructures.

No hi ha correspondència perfecta entre les expressions en termes de Biomassa i les expressions en termes d'individus, i això reflecteix la mesura en què una població pot fluctuar lluny de l'equilibri. Els individus, al ser discontinus, fan impossible d'ajustar una població sobre un continu i són, per tant, origen de tensió i creació.

Supervivència i migració. La corba de supervivència expressa la probabilitat de vida (l_x) a l'edat x de cada un dels individus nascuts. Dit d'una altra manera, descriu la distribució de la probabilitat de mort en moments successius. Els segments amb pendent més accentuada corresponen a períodes en els quals la selecció natural actua de manera més acusada. Una població amb taxa de renovació més gran canvia més energia per a mantenir una mateixa unitat de biomassa. Això permet que l'evolució sigui més ràpida. Les dues situacions extremes en les corbes de supervivència són: o bé mortalitat alta que varia poc al llarg de la vida o bé mortalitat baixa... o bé mortalitat baixa durant gran part de la vida, augmentant a partir d'un umbral. En el primer cas parlarem d'estratègia de la r , i en el segon, de la k .

Pel que fa a l'estratègia de la r , l'energia es destina a la síntesi de nova matèria orgànica, sempre que en el cas de la k , es tracta de perllongar el màxim possible la Biomassa persistent. Allò que Margalef anomena “el preu de la supervivència”. L'evolució tendeix a retardar les causes de la mort, de manera que al llarg d'un procés evolutiu s'observa la transició d'una corba amb forma diagonal o d'alta mortalitat a corbes rectangulars de mortalitat més baixa. Una corba d'alta mortalitat sol presentar la forma d'una exponencial negativa, tot reflectint la suma uniforme de les causes de la mort. El que fa l'evolució és retardar l'acció de les causes de la mort, de manera que aquesta es fa més probable a partir d'edats més avançades. Resulta atractiva la comparança suggerida per Margalef segons la qual l'aparició d'una corba de supervivència rectangular és assimilable a l'establiment d'una termoclina, en la que a cada fondària hi ha equilibri entre la força del vent transmès des de superfície i la resistència de l'aigua en forma de densitat creixent. Aquest equilibri es manté fins arribar a un punt on la caiguda de temperatura és molt ràpida, que en el nostre cas correspondria al punt on es perd l'equilibri de la corba.

En el cas de l'espècie humana es registra una reorganització de la corba de supervivència, de més diagonal a més rectangular, que coincideix amb la Revolució Industrial. Aquesta reconstrucció de la corba, que ha allargat la vida humana, ha tingut un preu que ha estat pagat pel metabolisme exosomàtic. Hi ha una bona correlació entre la duració mitja de la vida i l'energia exosomàtica o el PNB (Margalef, 1984b). Analitzant altres grups a part de l'humà observem que en evolució el preu de la supervivència ha estat el desviar a la respiració el que s'invertia en producció neta de biomassa. El pas de poiquiloterms a homeoterms n'és un bon exemple, i un pas equivalent ha estat efectuat per l'espècie humana mitjançant l'ús d'energia externa. Aquest allargament de la vida humana és caracteritzable mitjançant tot un seguit de símptomes. El cocient duració de la vida, duració d'una generació, per exemple, és ara mateix igual a tres. Això vol dir que hi ha tres generacions superposades en el moment present, de manera que el perill de generació de tensions socials és més accentuat. Igualment, hi ha diferències en la disponibilitat d'energia exosomàtica, tal com ja hem comentat a l'introduir aquest terme. Aquestes diferències han

augmentat les preexistents entre els diversos grups humans. El cocient edat mitjana/duració de la generació és més baix en els països en desenvolupament que en els industrialitzats, tot reflectint el fet de que els països amb una taxa neta de creixement més gran han augmentat menys la disponibilitat d'energia exosomàtica. Margalef observa una convergència de comportament en tota la humanitat. Destaca el contrast amb la situació europea de fa dos o tres segles, quan les corbes de supervivència de l'aristocràcia i el poble eren absolutament diferents.

Un aspecte interessant que apunta un tema sobre el que caldrà tornar és la relació semilogarítmica que es detecta entre esperança de vida al nèixer i productes bruts *per càpita*. Un augment de 20 anys en la vida mitjana implica multiplicar per 10 el subsidi d'energia externa. Aquí ja entra en joc la llei de rendiments decreixents, però el mateix Margalef adverteix que la tendència seguirà fins el límit perquè amb l'edat augmenta la capacitat de control i manipulació cultural en benefici propi.

D'una manera breu, val a dir que les característiques demogràfiques actuals reflecteixen l'energia de què hom ha disposat i que l'època de gran disponibilitat d'energia externa haurà marcat la història de manera decisiva.

El fet de que la humanitat actual estigui dividida en blocs segons la disponibilitat d'energia externa implica dos efectes importants: el control d'uns grups per altres, i la divergència en les condicions de selecció i estructura poblacional.

A l'hora de calcular la taxa de renovació, es suggereix per a l'espècie humana, un índex senzill del tipus: producció + energia exosomàtica / biomassa + biomassa exosomàtica, on la biomassa exosomàtica són els artefactes. Aquest índex tendiria a disminuir al llarg del temps de la mateixa manera que l'índex original producció/biomassa en què s'inspira. Per altra banda, s'ajusta millor a l'espècie humana ja que suggereix que acumular memòria (documents, organització de l'espai) és menys costós a l'anar passant el temps. Convé preguntar-se, en qualsevol cas, quin és el límit: quan no val la pena invertir més energia en el manteniment d'una organització que ha perdut la seva capacitat creadora (Margalef, 1984 b).

Material i mètodes

Les dades

A l'hora d'estudiar l'evolució de poblacions, sembla raonable adoptar una perspectiva global. Es tractarà, doncs, de considerar zones o àrees geogràfiques, més que localitats puntuals, afavorint una perspectiva sintètica davant d'una visió reduccionista. El present treball pretén establir unes quantes relacions globals pel que fa a l'àrea catalana, tot interrelacionant evolució de les poblacions, organització de l'espai i consum energètic.

La base de dades inicial ha estat confeccionada a partir dels treballs de Iglèsies (Iglèsies, 1961 i 1973) ja que la consulta del moviment de població, municipi a municipi, està especificada de manera directa.

Desglossament matemàtic del mètode

Les poblacions estudiades estan escampades en un mosaic cada peça del qual està centrada en un dels 1.034 municipis catalans (cens de l'any 1900), que s'han tingut en compte. La base de dades inicial són els censos corresponents a les dècades incloses en el període 1900-1970. Per exemple, una línia de la matriu de dades seria:

03AC 3079 3095 3010 3232 3044 3066 3423 4023

03AC correspon al municipi considerat, i la sèrie numèrica contigua conté els censos de 1900, 1910, etc. fins 1970. Per a cada una de les dècades l'evolució dels municipis es considera exponencial. Així assumim $\frac{dN}{dt} = kN$, és a dir $N_t = N_0 e^{kt}$, sent N_0 i N_t la població al principi i al final de la dècada, respectivament. Per tant, considerem el valor de k (Taxa de creixement) com a constant per a cada ciutat i dècada donades.

Apliquem el model $N_t = N_0 e^{kt}$ a la base de dades inicial, obtenint així, per a totes les poblacions i dècades, les taxes de creixement o valors de k . La taula resultant té la forma:

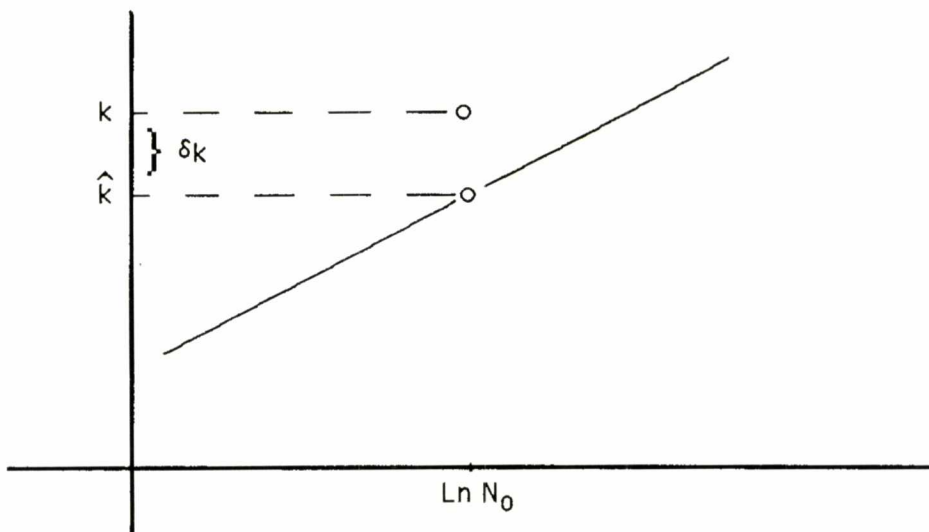
	1900/10	10/20	20/30	30/40	40/50	50/60	60/70
codi poble n° 1	k_{11}	k_{12}	k_{13}	k_{14}	k_{15}	k_{16}	k_{17}
codi poble n° 2	k_{21}	k_{22}	k_{23}	.....	.....	.....	k_{27}
codi poble n° 3	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....
codi poble n° 1034	k_{10341}	k_{10342}	.....	.....	.....	.....	k_{10347}

Per tal de comprovar la significació de $\frac{dN}{dt} = kN$ i d'explorar la sospita de que l'augment de població presentarà una dependència més complicada, hem analitzat, per a cada dècada, la regressió de k sobre $\ln N_0$ (neperià del nombre d'habitants al començar la dècada), de manera que cada municipi queda representat per la parella $(\ln N_0, k)$. Hi haurà tants punts entre els eixos com municipis considerem. Cal esperar, si la hipòtesi $\frac{dN}{dt} = kN$ es manté, que les línies de regressió seran paral·leles a l'eix X (és a dir, que el valor de k és el mateix sigui quin sigui el valor inicial (N_0) de la població considerada. Tanmateix, les línies resultants són inclinades, tot suggerint la presència d'algun factor d'amplificació que torna a ser funció de la població inicial. És per això que sembla que una expressió més acurada a tenir en compte tindria la forma $\frac{dN}{dt} = k(N)N$, reflectint l'efecte suara esmentat. Això ja suggereix la importància de la densitat de població en la redistribució horitzontal de la població humana ja que k -taxa de variació de la població- s'expressa com a funció de la mateixa població, és a dir $k(N)$. D'una altra manera, població crida a població, o bé quanta més població hi ha en un municipi, més de pressa creix. (cfr. apartat demografic)

La correlació no és perfecta, i per això tindrem dos valors de k per cada N_0 . Per una banda el valor teòric \hat{k} , calculat substituint N_0 en l'equació de regressió $\hat{k} = -b + \text{tg } \beta \ln N_0$, ja comentada en el paràgraf anterior. Per altra banda tindrem el valor k , calculat mitjançant l'equació $N_t = N_0 e^{kt}$. Aquesta segona k reflecteix l'autèntica de creixement del municipi (figura 1).

La distància des de cada punt a la recta de regressió però seguint l'eix d'ordenades és ∂k , és a dir, la diferència entre k "real" i k "teòrica". Per tant, podem escriure $k = \hat{k} + \partial k$.

Figura 1. \hat{k} està situat sobre la recta de regressió; a una distància ∂k trobem el valor k



El que vull dir és el següent: suposem que estem treballant en la dècada 1920/30. L'equació de la recta de regressió que li pertoca és:

$$\hat{k} = -0,03861 + 0,00561 \ln N_0$$

Si volem calcular el valor de \hat{k} per a un municipi determinat, només cal substituir $\ln N_0$ pel logaritme neperià del nombre d'habitants que tenia el municipi al començar la dècada (l'any 1920).

Per altra banda, calculem la taxa real de creixement del municipi en qüestió mitjançant $N_t = N_0 e^{kt}$ on N_t és el nombre d'habitants del municipi a l'acabar la dècada (l'any 1930) i N_0 al començar-la (l'any 1920).

La diferència entre les dues taxes $k - \hat{k}$ és el valor ∂k .

$$k - \hat{k} = \partial k$$

Convé fixar-se en què prèviament al càlcul dels valors \hat{k} ha calgut fer la regressió de k sobre $\ln N_0$ per tal de calcular l'equació de la recta. Dit d'una altra manera, el valor \hat{k} ens interessa per quant està d'acord amb el comportament de tots els municipis catalans per a la dècada considerada.

Tenint present el paràgraf precedent, podem intentar la quantificació de l'anomenat "efecte amplificador" esmentat més amunt. Primer, substituïm en $N_t = N_0 e^{kt}$ tal com segueix:

$$k = \hat{k} + \partial k = -b + \text{tg} \beta \ln N_0 + \partial k \quad (1)$$

i obtenim,

$$N_t = N_0 e^{[-b + \text{tg} \beta \ln N_0 + \partial k] t}$$

en aquesta darrera expressió, $e^{[-b + \text{tg} \beta \ln N_0] t}$ quantifica l'efecte amplificador. Concretament, la hipòtesi és que $\text{tg} \beta$, és a dir, el pendent de la recta de regressió, és funció de l'energia exosomàtica que actua sobre la zona durant la dècada considerada.

Mentre que el creixement de les poblacions naturals en condicions òptimes sol ajustar-se a una corba exponencial, observem que el creixement de les poblacions humanes és molt més accentuat com a conseqüència de la gran disponibilitat d'energia exosomàtica. Utilitzant la mateixa terminologia matemàtica de les expressions anteriors, tenim

$$\hat{k} = -b + \text{tg} \beta \ln N_0$$

$$\hat{k} + b = \text{tg} \beta \ln N_0$$

$$\frac{\hat{k} + b}{\text{tg} \beta} = \ln N_0$$

$$N_0 = e^{\frac{\hat{k} + b}{\text{tg} \beta}}$$

substituint aquest valor de N_0 en l'expressió $N_t = N_0 e^{kt}$,

$$N_t = e^{\frac{\hat{k} + b}{\text{tg} \beta} + kt} = e^{\frac{b}{\text{tg} \beta}} \cdot e^{\frac{\hat{k}}{\text{tg} \beta} + kt} =$$

$$= e^{\frac{b}{\text{tg} \beta}} \cdot e^{\frac{\hat{k}}{\text{tg} \beta} + \hat{k}t + \delta k \cdot t} = e^{\frac{b}{\text{tg} \beta}} \cdot e^{\hat{k} \left(\frac{1}{\text{tg} \beta} + t \right)} \cdot e^{(\delta k \cdot t)} =$$

$$= e^{\frac{b}{\text{tg} \beta}} \cdot (e^{\hat{k}})^{\frac{1}{\text{tg} \beta} + t} \cdot e^{\delta k \cdot t}$$

Una expressió molt general per al creixement és objecte d'un tractament força exhaustiu a (Peschel i Mende, 1986).

Estudi dels fluxos migratoris. Redistribució horitzontal de la població

Recordem que, per una dècada donada, disposem per a cada municipi de dos valors de k : k "teòrica", calculada subsistint N_0 en l'equació de regressió que relliga tota la zona, i k "real", calculada a partir de l'expressió $N_t = N_0 e^{kt}$. En l'equació (1) k "teòrica" es simbolitza com \hat{k} , i k "real" senzillament com k . Queda clar que la diferència entre \hat{k} i k és ∂k . La nostra interpretació suposa:

- que els factors subjacents més importants en la redistribució horitzontal de la població són la densitat de població i el subsidi energètic. L'efecte combinat d'ambdós queda quantificat per $tg\beta$. $\ln N_0$
- que cal tenir en compte la competència entre ciutats ja que és aquest fenomen el generador de fluxos migratoris. Per a una ciutat concreta, hem quantificat aquest aspecte com ∂k .

La diferència entre \hat{k} i k s'associa doncs amb els corrents migratoris més importants relatius a la població en qüestió. Parlem de flux migratori *important i relatiu a la població* perquè, sovint, el guany de població degut a l'efecte ($\ln N_0 \cdot tg\beta$) ja suposa un ingrès de població que no procedeix del creixement vegetatiu i que per tant ja es podria interpretar com a fluxe. El punt de vista adoptat en el present article pot il·lustrar de la següent manera: per a un objecte d'una migració important en relació al seu nombre d'habitants, ja que, un cop deduïts els efectes de la població ($\ln N_0$) i l'energia ($tg\beta$), la taxa mesurada de variació de la població presenta una desviació positiva.

Així, podem representar les diferències corresponents a tots els municipis, i per una dècada determinada, damunt d'un mapa. El que cal esperar és una representació dels punts que han actuat com a atractors extraordinaris de població en la dècada donada. Aquests punts han estat objectius especials de fenòmens migratoris, és a dir nusos de la xarxa de transport horitzontal, és a dir punts d'autoorganització en el sistema de distribució d'energia exosomàtica.

Aquests punts detecten canvis o derivades. Per altra banda, i tal com pot ser és ja intuïble, aquestes desviacions respecte de la recta de regressió mostren una certa ordenació espacial. Els atractors de valor elevat apareixen envoltats per atractors de magnitud més i més minvant, conformant taques el relleu de les quals pot representar-se fàcilment mitjançant corbes de nivell.

Al seguir la distribució de punts des d'una perspectiva espacial (els mapes) i temporal (la seqüència de mapes), estarem en condicions de dir si l'evolució estudiada reflecteix un procés determinista o bé estocàstic. Per tal d'aclarir aquest punt, una bona tècnica podria ser el sumar els mapes (anar sumant, punt per punt, els mapes de les diferents dècades, mostrant cada un dels valors dels residus corresponents). Per dir-se que, si l'aparició dels punts ha estat estocàstica, el resultat serà una superfície gairebé uniforme sense heterogeneïtats locals.

L'energia accelera els processos de redistribució. És a dir que a més energia, més elevat serà el pendent de la resta de regressió. Per tant, podem esperar que els pendents es distribueixin semblantment als respectius increments de consum energètic.

Resultats

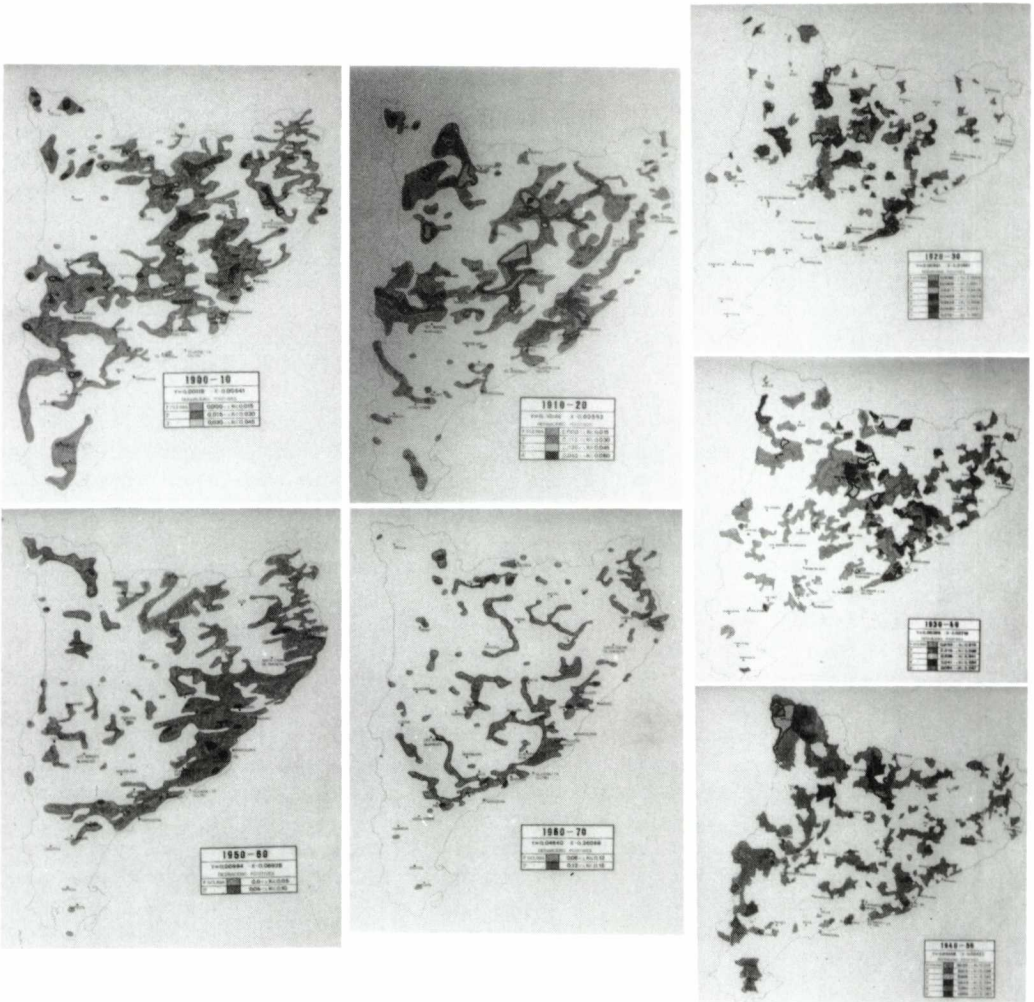
Cartografia per dècades

Presentem ara la cartografia dels valors de ∂k , realitzada per dècades (figura 2). Un llistat complet de ∂k per a tots els municipis de Catalunya i les set primeres dècades del segle pot consultar-se a (Casas, 1986: 64 - 82). Cal tenir present que la distància entre corbes de nivell no és la mateixa en tots els mapes. La justificació d'aquest fet radica en la desigual distribució dels núvols de punts en les regressions corresponents a les diferents dècades (Casas, 1986: 53 - 62).

Tanmateix, si observem els valors màxims i mínims dels diferents mapes veurem que els relleus que reflecteixen són força comparables. Per altra banda, la millor manera de comparar-los tots a la vegada és sumar-los. De manera que el mapa resum de tot el període que figura a l'apartat següent pot ser utilitzat a tal efecte, a més de les altres aplicacions ja esmentades.

Els primers mapes foren elaborats de forma manual, passant a continuació a la informatització del procés de la feina. Tanmateix, la digitalització del mapa municipal de Catalunya no ha estat pas una

Figura 2. Cartografia dels valors de Δk per a les 7 primeres dècades del segle. Els municipis que han estat punts de destí rellevants de migracions poden detectar-se cartografiant les desviacions positives respecte del model que designa el comportament global de la zona en estudi. Per a una dècada donada, aquests municipis apareixen organitzats en àrees i d'acord amb un gradient.

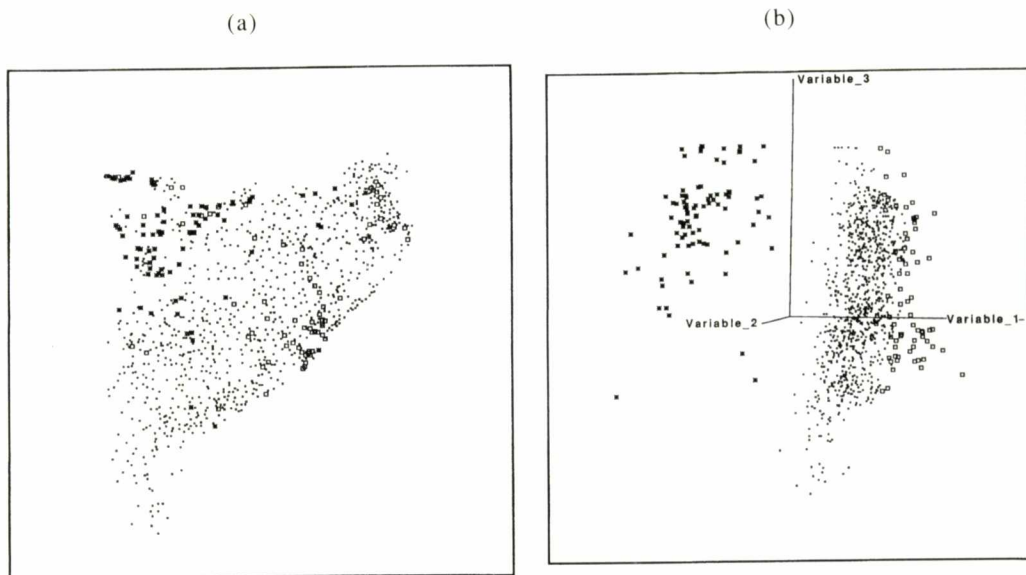


tasca exenta de problemes tant pel que fa a l'aprenentatge de la tècnica de gràfics amb ordinador com pels continus canvis d'equipament informàtic que han anat deixant absoltes moltes de les subrutines del sistema de gràfics al centre de càlcul. En qualsevol cas, sembla convenient de suggerir a qualsevol que pretengui mecanitzar l'elaboració d'una cartografia que faci un balanç acurat del temps que li caldrà emprar, tot comparant-lo amb la metodologia tradicional. La revolució tecnològica depara tota mena de sorpreses a l'usuari.

Cartografia acumulada

Seguint les directrius exposades a l'estudi de fluxes migratoris s'ha confeccionat un mapa resum o suma dels mapes corresponents a totes les dècades (figura 3). Mitjançant aquesta tècnica, pot dir-se que sintetitzem la perspectiva espacial (els mapes) i la temporal (la seqüència dels mapes). Tal com hem apuntat abans, una superfície gairebé uniforme designaria un procés estocàstic; tanmateix, podem observar en la cartografia adjunta l'aparició de certes heterogeneïtats locals.

Figura 3. L'aparició d'atractors de població no és atzarosa; registrem una acreció d'informació com en qualsevol sistema autoorganitzatiu lluny de l'equilibri termodinàmic. Al sumar, punt per punt, els mapes corresponents a les diferents dècades aparèixen nuclis que han estat punts de destí preferencial de xarxes de transport horitzontal. Aquestes xarxes constitueixen una memòria que és activada per l'energia auxiliar i una manifestació més dels fenòmens d'acreció d'informació. En la figura *a.*, els punts amb valors màxims s'han assenyalat amb un quadrat, i els mínims amb un asterisc. A *b.*, podem observar la estructura del núvol de punts que conforma el mateix mapa després d'efectuar un gir de 90° d'acord amb l'eix designat com a "variable 3", que és la latitud. D'aquesta manera els punts més a l'esquerra són els que presenten valors més negatius respecte de la "variable 1" que és ∂k , i són els punts que apareixen marcats amb un asterisc a la figura *a.* Igualment, els punts més a la dreta a la figura *b.*, són els valors més elevats del mapa i apareixen marcats amb un quadrat a la figura *a.* L'eix designat com "variable 2", quasi-perpendicular a la figura *b.*, correspondria a la longitud geogràfica.



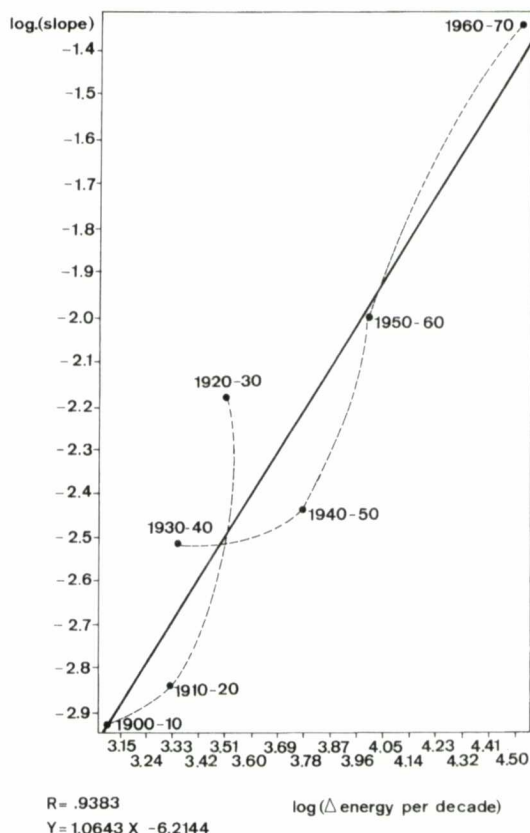
Distingim àrees sobredesenvolupades (marcades amb petits quadrats) que presumiblement han estat l'objectiu de freqüents injeccions d'energia, i també àrees subdesenvolupades (marcades amb asteriscs). Podem interpretar que aquestes darreres han estat històricament orientades en el sentit que ens mostra el mapa i que no s'ha fet res per tal de reduir aquesta tendència. La resta de la zona sembla romandre en una posició intermitja, en què els atractors de població apareixen de tant en tant, de manera que el balanç final és nul si el període de temps considerat és suficientment llarg.

Val a dir que els recursos informàtics han estat una eina rellevant en aquest cas, ja que una vegada disposem de les coordenades de tots els punts, és gairebé immediat obtenir un mapa representant qualsevol variable que vulguem assignar.

Resultats de model de regressió lineal relacionant pendents de rectes i increments de consum energètic

L'objectiu és comprovar la hipòtesi expressada al desglossament matemàtic segons la qual el pendent de les rectes de regressió es distribueix semblantment als respectius increments de consum energètic al transcórrer les dècades. És per això que s'ha estudiat la regressió dels pendents sobre l'increment de consum energètic. Com pot comprovar-se en la figura adjunta (Fig. 4) després d'una transformació logarítmica obtenim una expressió de tipus lineal. Pel que fa a l'energia s'ha utilitzat l'evolució del consum energètic a tot l'Estat espanyol tal com apareix reflectit en les referències següents: les dades pertanyents al període 1900-1945 procedeixen de Marín Quemada (1978); les del període 1945-1955 procedeixen de M^o Industria y Energia (1961); les del període 1960-75 procedeixen de M^o de Industria y Energia (1978). Concretament, els valors són:

Figura 4. Les regressions (de k sobre ln No) poden considerar-se com una manera de quantificar la mesura en què la població s'agrupa en nuclis de tamany més gran o més petit. L'agrupament en nuclis grans implica més subsidi energètic. És per això que trobem una bona correlació -cas de la figura- entre els pendents de les rectes i els corresponents subsidis energètics.



Any	1901	1910	1920	1930	1940	1950	1955	1960	1965	1970	1975
TEC ($x 10^3$)	2.834	4.138	6.311	9.499	11.759	17.872	24.076	27.843	39.958	60.606	83.857

tractant-se sempre d'energia primària i comercial.

Destaquem el fet de que l'ajust més acurat correspon a l'expressió que considera el log (pendent) com a variable independent. Per $Y = 1.0643 X - 6.2144$, $s^2y/x = 0.04252$; per $X = 0.82720 Y + 5.5782$, $s^2x/y = 0.03305$; sent $Y = \log(\text{pendent})$ i $X = \log(\text{increment consum energètic per dècada})$. El fet d'utilitzar l'evolució del consum energètic a tot l'Estat espanyol no suposa cap problema ja que la funció evolució del consum energètic a Catalunya és pràcticament la mateixa. De fet podriem dir que els resultats de la regressió confirmen aquest darrer punt.

Remarquem que la bona correlació obtinguda ens permet de relligar la distribució horitzontal de població amb el subsidi energètic, amb totes les conseqüències que això pugui tenir a l'hora de treballar en certs sectors de la ciència aplicada, com són l'ordenació del territori, per exemple.

Sovint (Margalef, 1976) s'ha exposat la hipòtesi de què consum energètic i Producte Nacional Brut han de presentar-se ben correlacionats. Malgrat que no disposem de dades exactes pel que fa a Catalunya, Cleveland (1984) presenta la confirmació d'aquesta hipòtesi en el cas concret dels Estats Units. És un estudi que relliga energia i economia des d'una perspectiva força atractiva. Les hipòtesis base del treball són:

- a) Que hi ha un lligam molt estret entre ús d'energia i rendiment econòmic;
- b) que un component molt important de l'increment de la productivitat laboral resulta d'incrementar l'habilitat humana pel treball físic mitjançant l'energia auxiliar, tant de manera directa com per l'energia incorporada (*embodied energy*) en l'equipament industrial i en les tecnologies;
- c) que el cost ascendent de l'obtenció d'energia i altres recursos a partir del medi natural és un important factor d'inflació;
- d) que la qualitat cada vegada més minvant dels recursos juntament amb el preu creixent dels combustibles desvia quantitats cada vegada més grans de capital i força laboral vers els sectors extractius i processadors de recursos (Cleveland et al., 1984).

A manca de la verificació a casa nostra, podem avançar algunes consideracions. El comportament de l'ecosistema humà sembla seguir unes lleis d'aplicació universal i que al capdavant s'inspiren en la conducta dels sistemes en general. És per això que sembla raonable afirmar que l'esmentada correlació es complirà també en el cas de Catalunya. De ser així, ens trobarem en el cas, força interessant, de poder associar demografia, consum energètic i indicadors econòmics, tot donant un pas més en l'estudi de la redistribució de la població humana al poder-lo contrastar directament amb el PNB de la zona considerada. Convé no oblidar tampoc la bona correlació observada entre duració mitja de la vida i energia exosomàtica o PNB (Margalef 1984b).

Estudiant el creixement de les regions centrals del Tercer Món, Vining (1985) observa que en la majoria dels països no comunistes l'afluència de població cap el centre només disminueix quan la producció econòmica assoleix un nivell prou elevat, que permeti dispersar la inversió pública per tot el territori nacional. La cota a superar sembla ser que oscil·la al voltant d'un producte interior brut *per capita* de 3.000 dòlars de 1975. Els països comunistes controlen eficaçment el creixement de les regions centrals mitjançant rigoroses restriccions sobre els moviments globals de població. Paral·lelament, s'afavoreix la millora de serveis públics en les zones llunyanes de la regió central. El factor clau és, doncs, per Vining l'acondicionament de les zones llunyanes i això implica, en el cas d'una economia de mercat lliure, una certa cota de producció econòmica. Tanmateix, la millora de la qualitat de la vida a la perifèria és també a l'abast dels països pobres, i es cita com a exemple el cas de Sri Lanka on amb un PIB *per capita* considerablement baix s'ha aconseguit una pràctica igualtat d'accés als aliments, vivenda, educació i atenció sanitària en la totalitat del territori nacional. El preu hauria estat una ralentització del creixement econòmic. Dit d'una altra manera, en els països capitalistes la concentració demogràfica és una conseqüència d'aquest creixement econòmic. El que Vining no s'entreté massa en considerar és l'ordre de prioritats a establir entre qualitat de vida i creixement econòmic. Tampoc sembla que coneixi massa a fons els països de què parla, ja que en el cas d'Espanya, atribueix la baixa en la taxa de redistribució a favor de les zones urbanes al fet d'haver assolit un PIB *per capita* de 3.253 dòlars de 1975 i senyala que aquest procés comença l'any 1970. D'haver viscut aquí potser veuria les coses d'una altra manera. També, i pensant en Sri Lanka convé recordar Arthur Clarke, el *shamadana* (Rogers Macy, 1980), i les excepcionals condicions culturals, climàtiques i geogràfiques del país.

Discussió

Consideracions generals

El termini de temps cobert en el present treball comprèn el pas d'un territori des d'una situació més diversificada, menys connectada, i per tant, amb menys subsidi energètic, a una altra en què la intensificació de la xarxa de transport ha induït menys diversitat, més connexió i més interdependència. Catalunya ha passat d'una situació en què zones allunyades del territori eren menys dependents les unes de les altres, a una situació caracteritzada pel fet de què districtes que per sí serien inestables són la base d'una zona més gran, que és estable gràcies a un sistema de transport i comunicacions que interrelaciona tots els municipis.

Tal com senyala Margalef (1980a: 151), el sistema gran és estable precisament perquè està format de petits sistemes inestables. Un ecosistema (en el nostre cas l'ecosistema humà) és una estructura àmplia en què les interaccions s'organitzen de manera que els valors mitjos, per un conjunt de variables seleccionades, persisteixen entre determinats nivells. Hi ha d'haver una extensió mínima sobre la que

calcular les mitjanes, i dins dels límits escollits hi ha una gran heterogeneïtat local. És gràcies a això que s'aconsegueix l'estabilitat relativa de l'organisme.

Demografia i organització de l'espai poden estudiar-se com a manifestacions diferents de la tendència a l'acreció d'informació. Una manera de posar de manifest aquesta tendència és la detecció de *processos recursius*, en què els valors depenen més de l'estructura de la funció que de les variables independents. L'expressió estudiada $dN/dt = k(N)N$ està en aquesta línia.

Resulta curiós de veure la manera com Margalef connecta el concepte de *funcions recursives* amb el d'evolució. La capacitat d'un organisme per a seleccionar el seu ambient introdueix un procés recursiu, de manera que cada decisió influeix sobre les següents funcions, i això és una propietat general de tots els sistemes que acumulen informació.

Quan ens imaginem el procés pel qual s'arriba a una organització de l'espai, podem imaginar-nos que estem contemplant les amplificacions d'unes determinades distribucions inicials estocàstiques. El resultat final que observem és la conseqüència de l'operació de determinades funcions anomenades funcions de transferència. Aquest és el camí a seguir per tal d'analitzar la cartografia elaborada en el present treball.

En alguns casos, la transferència de que hem parlat és fàcilment detectable mitjançant una transformació logarítmica. Margalef ens explica com la distribució normal del gradient de concentració d'un recurs es reflecteix en la distribució equivalent de les taxes d'augment, resultant finalment una distribució exponencial de les poblacions. Les estructures en l'espai resulten de transformacions més complicades, i en lloc d'expressions logarítmiques s'arriba a funcions successives o funcions de funcions, arribant una altra vegada a la característica general de tots els sistemes que acumulen informació.

Evolució dels sistemes complexes

Convencionalment, els models de la majoria de fenòmens naturals solen basar-se en l'equació diferencial. Les equacions diferencials subministren models adequats a les propietats globals dels processos físics. Descriuen, per exemple, els canvis en la concentració total de les molècules però no expliquen els moviments de cada una d'elles. Aquest seria el cas de l'equació diferencial de difusió.

Hi ha molts processos tanmateix en què una descripció mitjana no és factible. Llavors, les equacions diferencials ja no serveixen i cal recórrer a la simulació directa. Un exemple il·lustrador d'aquest tipus de processos, sovint utilitzat per a comparar continuïtat i discontinuïtat és "l'aixeta degotant" de Robert Shaw (vegeu Wolfram, 1984). L'aixeta degotant es descriu mitjançant un model basat en una equació diferencial. Si la velocitat de l'aigua és baixa es formen gotes de tamany constant a intervals regulars. Amb un flux més intens, el comportament es complica i apareix un fenomen conegut per "doblament de període"; en cada cicle es formen dues gotes, sovint de tamany diferents. Incrementant el flux encara més hi han més doblaments de període. Finalment, i just abans de que l'aigua surti de l'aixeta de forma contínua, es produeix un estol irregular de gotes. S'observen gotes de tots els tamany i els intervals entre elles semblen aleatoris. El comportament del sistema es descriu, llavors, amb una corba irregular anomenada *atractor estrany*. Aquest és un exemple de sistema de construcció simple que presenta un comportament sumament complexe.

Per tal d'establir possibles lleis comuns dels sistemes complexes es treballa amb els anomenats *autòmats cel·lulars*. Són sistemes matemàtics composts de molts elements idèntics, cada un dels quals evoluciona d'acord amb un conjunt de regles molt simples. Tanmateix, el comportament global de tots els elements sol resultar força complexe. Per tal d'estudiar la formació de cristalls de neu, per exemple, podem imaginar una xarxa hexagonal i simular, mitjançant un ordinador, la formació de cristalls que són força semblants als reals. També podem descriure el creixement dels cristalls de neu amb un conjunt d'equacions diferencials. L'avantatge de l'autòmata cel·lular és el de seguir el moviment individual de forma explícita. En sistemes biològics es suggereix l'estudi de fenòmens com ara el creixement o la pigmentació. L'evolució d'un autòmata cel·lular a partir de la configuració inicial s'assimila a una computació que processa la informació continguda en la configuració. La simulació treballa pas a pas, i només pot escurçar-se si l'ordinador pot calcular de manera més complicada que l'evolució del propi autòmata. En aquest cas ens trobaríem davant d'un sistema computacionalment reduïble. El que passa és que en la majoria de sistemes físics i biològics el comportament és tant complicat que no pot donar-se cap descripció resumida de la seva evolució. La irreducció computacional sembla aparèixer gairebé sempre que ens trobem amb un comportament complexe o caòtic, i una conseqüència d'aquest fenomen és el fet de que el comportament del sistema suggereix preguntes indecidibles que no poden ésser contestades

mitjançant un procés matemàtic o computacional finit. No hi ha cap procés de càlcul de longitud fixa que permeti determinar si un model s'extingirà al final (Wolfram, 1984).

Intentem ara contrastar tot el que hem dit fins aquí respecte dels autòmats cel·lulars amb les idees expressades a l'apartat anterior. Convé saber que hi ha una classe especial d'autòmats cel·lulars anomenats autòmats invertibles o reversibles. En aquests, podem partir d'una configuració inicial qualsevol, fer-la evolucionar el nombre de passos que vulguem, aturar el procés, anar enrera i retornar exactament a l'estat inicial. Aquests autòmats originen configuracions típiques, ben diferents de les generades pels autòmats no reversibles. Concretament, si la configuració és inicialment aleatòria, tendeix a permanèixer aleatòria. No apareixen estructures autoorganitzades. Un autòmata reversible presenta determinisme bidireccional, és a dir, ha de tenir una regla de transició determinista en ambdós sentits, el de la progressió i el de la regressió. A causa del determinisme bidireccional, en l'evolució dels autòmats reversibles no poden aparèixer atractors. La presència d'un atractor implica que molts estats inicials evolucionaran semblantment; d'aquesta manera, en l'evolució retrògrada els punts de confluència es transformen en punts de ramificació i es perd el caràcter determinista del procés. Igualment, els autòmats reversibles no poden entrar ni sortir mai d'un *loop*, ja que hauria d'haver-hi un punt de ramificació en una o altra direcció. Observem doncs que els autòmats reversibles no tenen ni atractors ni presenten fenòmens d'autoorganització, característiques destacables dels sistemes que hem estudiat. Finalment, destaquem el fet de que el contingut d'informació de qualsevol estructura d'un autòmata reversible es conserva al llarg de la seva evolució (Hayes, 1984).

Observacions tocant a la metodologia

Hem parlat ja de la llicència que suposa utilitzar expressions infinitessimals al tractar individus ja que només són aplicables a magnituds que varien de forma contínua. Per altra banda, davant la tendència habitual a acceptar una expressió senzilla del tipus $dN/dt = kN$, hem explorat la possibilitat de que la relació fos més complicada, de manera que el model ha resultat enriquit, tal com s'explica a l'apartat dedicat al desglossament del mètode matemàtic. Qualsevol estudi d'evolució urbana s'ha d'efectuar sobre una extensió mínima que permeti calcular mitjanes i veure com les interaccions suposen fluctuacions respecte d'uns valors mitjos; el present treball, efectuat sobre el Principat de Catalunya, ha estat dissenyat tenint ben present aquesta condició.

Convé no oblidar l'espai a l'hora d'emprendre un estudi de poblacions. En el cas que ens ocupa, les sèries cartogràfiques faciliten un seguiment en l'espai i en el temps tan acurat com ho permet la periodicitat de les quantificacions de població. Una possible connexió amb el camp de l'economia resulta de la bona correlació observada entre energia i PNB en el cas dels Estats Units. Convindria validar aquesta relació en el cas de Catalunya tot suportant l'argumentació exposada als resultats del model.

Igualment, pot resultar d'interès aplicar la mateixa metodologia en una altra àrea geogràfica de característiques semblants (el Nord d'Itàlia, per exemple) per tal de calibrar-ne la fiabilitat. La correlació final entre increment energètic i redistribució de població és prou concluent; tanmateix, una possible validació a efectuar passa per l'aplicació del model en una àrea en què es disposi d'una cartografia energètica confeccionada per procediments directes.

El disseny de mètodes que reflecteixen paràmetres termodinàmics associats als pendents de les rectes és un aspecte a ressaltar amb certa freqüència en teoria ecològica. Si més no, recordem Margalef al tractar de les corbes de supervivència o bé els components no periòdics de les fluctuacions de població (1980 a: 180). La representació sobre una base geogràfica de les desviacions implica la interpretació espacial dels esmentats paràmetres. L'evolució de la cartografia en el temps en dóna una perspectiva espacio-temporal que pot connectar-se amb els treballs Hägerstrand (1984).

La memòria condiciona inevitablement els intercanvis posteriors d'energia i la tendència ha d'ésser la generació d'una estructura que es vagi amplificant. És dir, que hi hagi una acreció d'informació, de manera que costi cada vegada menys energia mantenir una unitat d'estructura. La suma de mapes demostra, almenys en els intervals que hem tingut en compte, que hi ha unes zones concretes sobreexplotades i unes altres d'explotadores que es mantenen al llarg del temps, designant una informació que es manté i amplifica al transcórrer les dècades. La resta la qualifiquem de soroll, perquè de moment no té sentit. Tanmateix ha d'haver-hi una manera de poder esbrinar si aquest garbuix té algun ordre o no. I també, és clar, serà possible de cercar altres fenòmens que podem cartografiar d'acord amb la mateixa tècnica i que potser no presentaran les limitacions dels censos demogràfics a l'hora de subministrar les dades

de partida. Vull dir que per tal d'obtenir una bona representació cartogràfica, o una de més fidel, cal tenir dades més freqüents en el temps. Per altra banda, un treball sobre censos té l'avantatge de poder disposar també de dades referents a una estructura física tangible -ciutats i xarxes de transport- que potser seria més difícil de trobar en altres casos.

Conclusions

1.- En el cas concret de la distribució de la població humana a Catalunya, s'ha estudiat la manera com la disponibilitat d'energia externa condiona la dinàmica de l'ocupació de l'espai.

2.- La taxa de creixement d'una població humana pot assolir valors molt superiors a la de qualsevol població natural en condicions òptimes. En aquest cas, el creixement és exponencial, mentre que en poblacions humanes arriben a expressions més complicades. Per tal de caracteritzar millor aquest tipus d'expressions s'han efectuat estudis de regressió lineal entre taxes de creixement de municipis i població inicial dels mateixos, comprnent períodes de 10 anys des de començaments de segle.

3.- Una primera observació és que les taxes de creixement són funció del nombre d'habitants de la població considerada. És a dir, quan més gran és una població, més elevada és la seva taxa de creixement fins arribar a un nivell de saturació en que aquest efecte ja no es compleix.

4.- L'evolució del pendent de les rectes de regressió al transcórrer el temps es correlaciona molt bé amb els increments d'energia comercial primària. Queda, per tant, establert que juntament amb la densitat de població, l'altre factor decisiu en la redistribució de la població humana és l'energia auxiliar.

5.- La representació cartogràfica dels residus de les regressions ens ajuda a interpretar les oscil·lacions no explicades pel model. L'heterogeneïtat de taxes de creixement condiona l'aparició de fluxos migratoris de població com a conseqüència d'un fenòmen de competència entre municipis. Els que siguin punts de destí rellevants de les migracions podran detectar-se fàcilment cartografiant les desviacions positives respecte de la recta de regressió que designa el comportament global de la zona en estudi. Concretament, s'observa que els municipis apareixen organitzats en l'espai en forma de taques i d'acord amb un gradient. Per a una taca concreta els municipis més actius ocupen una posició central i els menys, una de perifèrica.

6.- Al transcórrer les diferents dècades s'observa una evolució en les regressions i en les cartografies. Pel que fa als models de regressió observem que el quocient de correlació lineal augmenta conforme analitzem dècades més properes a l'actualitat. Això és el mateix que dir que quanta més energia es gasta i més temps fa que se'n gasta, el comportament de la zona tendeix a unificar-se, tot ajustant-se millor al model designat per la recta de regressió. En el cas de les cartografies, obtenim relleus cada vegada millor ordenats. És a dir, relleus en que els diferents tipus de municipis apareixen menys barrejats.

7.- L'aparició d'atractors de població no és atzarosa; registrem una acreció d'informació com en qualsevol sistema autoorganitzatiu lluny de l'equilibri termodinàmic. Al sumar, punt per punt, els mapes corresponents a les diferents dècades apareixen nuclis que han estat punts de destí preferencial de xarxes de transports horitzontal. Aquestes xarxes constitueixen una memòria que és activada per l'energia auxiliar i una manifestació més dels fenòmens d'acreació d'informació.

8.- Les regressions (de k sobre $\ln N_0$) poden considerar-se com una manera de quantificar la redistribució horitzontal de la població. És dir, la mesura en què la població s'agrupa en nuclis de tamany més gran o més petit. L'agrupament en nuclis grans implica més subsidi energètic. És per això, que trobem una bona correlació entre els pendents de les rectes i els corresponents subsidis energètics. L'energia també es correlaciona amb paràmetres econòmics, de manera que també cal hipotetitzar una bona correlació entre redistribució de població i PNB, per exemple.

Agraïment

Agraïco al Doctor Ramon Margalef el seu assessorament i direcció.

Referències

- (1) Aguilar, J. Senyals, Símbols i Sorolls. *Butll. Soc. Cat. Ciènc.*, VIII: 11-34, 1986.
- (2) Aida, S. A concept of Eco-Technology: Technological Approaches to Complexity. Paper pres. at the *Symposium on the Science and Praxis of Complexity*, Montpellier, may 1984, pp. 1984.

- (3) Allen, P.M., Engelen, G., i Sanglier, M. New Methods for Policy Exploration in Complex Systems. Paper pres. at the *Symposium on the Science and Praxis of Complexity*, Montpellier, may 1984, 53 pp. 1984.
- (4) Bateson, G. *Mind and Nature: A Necessary Unity*. Dutton, New York, 1979.
- (5) Beer, S. *Platform for Change*. John Wiley and Sons Ltd., London, 457 pp., 1975.
- (6) Boulding, K. Learning by simplifying Complexity: How to turn Data into Knowledge. Paper pres. et the *Symposium on the Science and Praxis of Complexity*, Montpellier, may 1984, 18 pp. 1984.
- (7) Casas, J.M. Aviat tres parcs naturals a la comarca de l'Anoia. *Igualada, periódico del Anoia*, 2327, 1976.
- (8) Casas, J.M. *La tesis de Beer*. Manuscrit, 15 pp., 1982.
- (9) Casas, J.M. Informació, Ecologia i Societat. *Igualada, periódico de l'Anoia*, 29 gener, pp. 3-6, 1983.
- (10) Casas, J.M. Evolució urbana, Ordenació territorial i Consum energètic a Catalunya. S.C.B., I.C.H.N., S.C.O.T., *Sessió conjunta a Castelló de la Plana*, juny de 1984, 6 pàgs.
- (11) Casas, J.M. *Expressió quantitativa dels processos subjacents a la reorganització en poblacions humanes*. Tesi de Llicenciatura. Facultat de Ciències. U.A.B. Bellaterra, 1986.
- (12) Casas, J.M. 1987. Energy and migratory flows: a preliminary study. *2nd Vienna Centre Conference of Economics and Ecology*. Barcelona. Setembre 1987.
- (13) Cleaveland, C.J., Costanza, R., Hall, Ch. A.S. I Kaufmann, R. Energy and the U.S. Economy: A Biophysical Perspective. *Science*, 225: 890-897, 1984.
- (14) Glandsdorff, P. i Prigogine, I. *Structure, Stability and Fluctuations*. Wiley Interscience, London, 1971.
- (15) Hägerstrand, T. Time-Geography. Focus on the corporeality of Man, Society and Environment. Paper pres. at the *Symposium on the Science and Praxis of Complexity*. Montpellier, may 1984, 28 pp., 1984.
- (16) Hayes, B. El autómata celular ofrece un modelo del mundo y es un mundo por sí mismo. *Investigación y Ciencia*, 92: 102-111, 1984.
- (17) Hofstadter, D.R. Los atractores extraños son configuraciones matemáticas en equilibrio entre orden y caos. *Investigación y Ciencia*, 64: 103-113, 192.
- (18) Iglèsies, J. El moviment demogràfic de Catalunya durant els últims cent anys. *Mem. Real Acad. Cienc. Artes Barcelona*, 33: 319-427, 1961.
- (19) Iglèsies, J. Avance sobre el moviment i la distribució comarcal de la població de Catalunya entre 1960 i 1970. *Mem. Real Acad. Cienc. Artes Barcelona*, 41: 329-421, 1973.
- (20) Jeanloz, R. El Núcleo Terrestre. *Investigación y Ciencia*, 86: 26-36, 1983.
- (21) Margalef, R. Bases ecològiques per a una gestió de la natura. A: *Natura, ús o abús? Llibre blanc de la gestió de la natura als Països Catalans*. I.C.H.N. Barcino, Barcelona, pp. 25-64. 1976.
- (22) Margalef, R. 1979 a. El precio de la supervivencia. Consideraciones ecológicas sobre las poblaciones humanas. *Ethnica* (Barcelona), 15: 105-115, 1979a.
- (23) Margalef, R. The organization of space. *Oikos*, 33: 153-159, 1979b.
- (24) Margalef, R. *La Biosfera entre la termodinámica y el juego*. Ediciones Omega, Barcelona, 236 pp., 1980a.
- (25) Margalef, R. (Libros) *Investigación y Ciencia*, 86: 160., 1983
- (26) Margalef, R. De la complejidad en la ciencia. *Investigación y Ciencia*, 94: 42-44, 1984a.
- (27) Margalef, R. La partició del metabolisme en ecologia i evolució. *Lliçó Pi i Sunyer*. Facultat de Medicina. Universitat de Barcelona. Octubre 1984. 17 pp., 1984b.
- (28) Margalef, R. Ecosystems: Diversity of their complication. Paper press. at the *Symposium on the Science and Praxis of Complexity*, Montpellier, may 1984, 17 pp., 1984c.
- (29) Marin Quemada, J.M. *Política Petrolífera Española*. Confederación Española de Cajas de Ahorro. Madrid., 1978.
- (30) Ministerio de Industria y Energía. *La energía en España 1945-1955*. Madrid., 1961.
- (31) Ministerio de Industria y Energía. *Evolución de los consumos provinciales de energía en España 1960-1975*. Conferencia sobre la energía y recursos naturales. Madrid, 1978.
- (32) Nicolis, G. and Prigogine, I. *Self-Organization in Nonequilibrium Systems*. Wiley Interscience. New York, 1977.
- (33) Peschel, M., and Mende, W. *The predator-prey model*. Springer-Verlag. Wien & New York, 1986.
- (34) Popper, K.R. i Eccles, J. *The Self and Its Brain. An argument for Interactionism*. Wernding, 1977.
- (35) Prigogine, I. and Stengers, I. *La Nouvelle Alliance*. Gallimard, Paris, 1979.
- (36) Rogers Macy, J. 1980. Sharamadana giving energy. In: *The Next Whole Earth Catalog*, edit. S. Brand, Point/Random House, New York, pp. 316-317, 1980.
- (37) Simon, H. 1962. The Architecture of Complexity. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 106: 467-482.
- (38) Turner, J.S. 192. Self-Organization in Nonequilibrium Chemistry and in Biology. In: *Self-Organization and Dissipative Structures*, edit. W.S. Schieve and P.M. Allen, University of Texas Press, Austin, pp. 40-62.
- (39) Vining, D.R. Crecimiento de las regiones centrales del Tercer Mundo. *Investigación y Ciencia*, 105: 12-20, 1985.
- (40) Vogue, J. The political economics of complexity. *Information Economics and Policy*, 1: 97-114, 1983.
- (41) Vogue, J. L'economie de la complexite. Paper pres. at the *Symposium on the Science and Praxis of Complexity*, Montpellier, may 1984, 9 pp., 1984.
- (42) Voltes Bou, P. *Información, Probabilidad, Historia*. Laboratorio para la investigación del conflicto. Facultat de Filosofia i Letras de la Universidad de Extremadura. Cáceres, 30 pp. 1984.
- (43) Wagensberg, J. and Rodellar, J. Patters of Nonequilibrium Organization in a Marine Bacterial Population. In: *Self-Organization and Dissipative Structures*, edit. W.S. Schieve and P.M. Allen, University of Texas Press, Austin, pp. 239-244, 1982.
- (44) Wagensberg, J. *Ideas sobre la complejidad del mundo*. Tusquets Editores, Barcelona, 154 pp. 1985.
- (45) Winfree, A.T. Rotating Chemical Reactions. *Sci. Am.*, 230 (6): 82-95, 1974.

- (46) Wolfram, S. Programación en ciencias y en matemáticas. *Investigación y Ciencia*, 98: 124-138, 1984.
- (47) Zeleny, M. Cybernetics and General Systems-A Unitary Science? Second prize in the *International Norbert Wiener Competition*. 7 pp. 1977.