CONNECTIVITAT I FUNCIONALISME DE SISTEMES

Comunicació presentada el dia 20 de març de 1980

per

RAMON MARGALEF

Departament d'Ecologia, Universitat de Barcelona

En un ús dels mots que té bastant d'intuïtiu, els naturalistes han admès que les comunitats més diverses són també les més estables. Aquesta correspondència ha estat molt discutida les darreres dècades. El conflicte és, en part, semàntic; cal precisar millor els significats dels mots. L'expressió de la diversitat demana una referència a l'espai i una representació en forma d'espectre, no una xifra única. L'estabilitat es pot entendre com un qualsevol de dos extrems en una àmplia gamma de possibilitats: en un extrem, sistemes fets de petites parts poc connexes, cadascuna de les quals és persistent per ella mateixa; o bé sistemes organitzats en una xarxa de relacions mútues, sobre un esplai ampli, i demanant força energia per a la funció de transport. Certament, un espectre de divrsitat diagonal s'avé amb una certa estabilitat independent i local de cadascuna de les parts, i això és el que els naturalistes volien dir quan aplicaven els qualificatius de diversos i d'estables alhora a ecosistemes que accepten també el compliment que «la bellesa està en la dimensió petita».

Però hi ha una altra crítica que va més a fons i és més constructiva —portada a terme per MAY principalment— i que es basa en la consideració de la forma matemàtica habitual de representar la dinàmica dels diferents components d'un ecosistema, seguint la forma d'equacions diferencials suggerida per LOTKA i VOLTERRA la dècada dels 20, en què la taxa de variació d'una espècie *i* es fa igual a

$$dN_i/dt = b\,N_i + \sum_{j=1} a_{ij}N_iN_j$$

En estat d'equilibri, els N_i/dt s'anul·len i es pot posar $N_i = A + \sum_{j=1} B_jN_j$, una equació de regressió múltiple que justifica moltes disquisicions a

propòsit de l'anàlisi de comunitats però que vol, com s'ha dit, una situació de dinamisme nul o molt baix. Un sistema amb moltes espècies dóna lloc a una matriu amb els coeficients a_{ij}, matriu que defineix les condicions d'estabilitat del sistema d'equacions. Les propietats del conjunt d'a_{ij} es poden resumir per les Eigenvàlues de la matriu. La conclusió és que un sistema amb molts elements no dura, generalment, i això és la traducció matemàtica del concepte popular que un sistema massa complicat, amb massa elements, té una major probabilitat d'espatllar-se, i s'espatllarà segurament. Recordeu que el mateix es pot dir de sistemes econòmics, expressats segons matrius de Leontieff, i també d'organitzacions humanes.

Aquesta fragilitat pretesa de les xarxes ecològiques contradiu l'observació quotidiana. Malgrat tot, sistemes força complexos perduren amb tota llur complexitat. Es poden donar raons que passen per una interpretació històrica. Un sistema complicat que existeix vol dir que ha passat el filtre de la selecció i el gran nombre d'estats possibles, per l'elevada diversitat, ha permès trobar més fàcilment alguns estats particularment persistents.

Aquesta explicació demana una interpretació més fina de les relacions, de tal manera que tornem a una representació del sistema que sigui *també* satisfactòria des del punt de vista matemàtic, basat sempre en les equacions volterrianes. (Ara i ací no vull introduir aspectes complementaris basats en la partició de la informació.) L'explicació més senzilla és que solament una part de les connexions possibles són efectives. Entenem per connectivitat el quocient connexions realitzades/connexions posibles. Òbviament, en un sistema d'alta diversitat, no totes les relacions possibles es donen realment. És probable que hi hagi molts paràsits i molts simbionts que no estan conectats amb moltes espècies, sinó amb una de sola. McNaughton, entre altres, ha cercat una justificació en les comunitats naturals i troba que la connectivitat pot ser entorn del 50 %. Segons el mateix autor, una mesura de la inestabilitat seria igual a $1/\sqrt{nc}$, en què n és el nombre d'elements (espècies) i c és la connectivitat. Òbviament, el mateix principi s'aplica a sistemes econòmics que, per ser persistents, han de tenir elements que no estan relligats directament a d'altres, i en xarxes jeràrquiques humanes on la via acceptada es el famós «conducto reglamentario», una limitació imposada sobre una connectivitat generalitzada.

Aquesta manera de veure el tema ha suscitat un interès per fer simulacions d'ecosistemes, amb el resultat esperable que les situacions que duren més són aquelles en les quals es troben grupets d'espècies intensament relacionades les unes amb les altres, i després aquests grups es relacionen més laxament amb altres grups d'espècies associades, en una estructura feta de «nius», més o menys jeràrquicament enllaçats uns i

altres (ROBERTS i TREGONNING, 1980). Aquests sistemes serien particularment persistents. Després de tot, hi hauria un motiu per a preferir les cadenes tròfiques a les xarxes tròfiques indiferenciades. Cal afegir que l'interès per l'heterogeneïtat de l'espai —per l'existència simple de l'espai afegiria—, mostra que la seva consideració pot modificar unes conclusions massa precipitades, resultat de l'aplicació de certs tractaments matemàtics a un determinat conjunt d'elements interrelacionats.

Fins ací hem oblidat aspectes molt importants que valdria la pena de fer entrar en el model. Hi han suggeriments, com en aquest cas, que són donats per un estudi comparat amb altres sistemes, en el nostre cas artefactes humans. En una altra comunicació, Cèlia MARRASÉ i Emília GUTIÉRREZ es refereixen a comparacions possibles entre espècies d'ecosistemes i menes de peces intercanviables en jocs de construcció. Vull aprofitar un aspecte particular d'aquests resultats per obtenir nous punts de vista sobre l'organització de la connectivitat en ecosistemes. Un subconjunt dels models considerats per les esmentades comunicants es refereix a aparells elèctrics i electrònics, en els quals, per un costat, es poden estudiar les peces i les menes de peces i, per l'altre, és més escaient estudiar les connexions que en models mecànics. Es pot mesurar una connectivitat definida pel quocient posat anteriorment: nombre de connexions realitzades/nombre de connexions possibles. És evident que un aparell amb connectivitat igual a la unitat, rarament podrà ser funcional, *especialment si és fet de molts elements*. Es podrien fer sistemes d'equacions descrivint possibles interaccions, els quals ens portarien a limitar com a persistentment funcionals una fracció petita dels sistemes o xarxes possibles.

En comparar aquest model amb els models d'ecosistemes, trobem algunes analogies, però es fa palesa una diferència profunda que fa summament criticables les formulacions habituals. Ja he criticat en altres llocs alguns defectes, com l'oblit de l'espai, acceptar que les poblacions són diferenciables i no considerar els diferents elements com a potencials acumuladors d'informació sempre en un grau diferent. Ara ens adonem que hi ha una diferència fonamental en la forma d'entendre la connectivitat. En un sistema elèctric les connexions són generalment contínues, si no hi posem un commutador; en sistemes vius, en els ecosistemes, les connexions *són sempre discontínues*, llevat potser del cas dels paràsits, els quals són sempre elements de connectivitat limitada.

Això planteja de nou tot el tractament matemàtic necessari dintre d'uns altres termes: fins a quin punt es pot parlar d'equivalència —en allò que es refereix en relació amb el manteniment d'una estabilitat, definida com es vulgui— entre un sistema d'una connectivitat baixa, però contínua, i un altre sistema d'una connectivitat una mica més alta, però discontínua. L'efectivitat de les connexions seguiria una llei de diversitat:

algunes connexions s'usen freqüentment, altres de manera més rara. És el depredador especialitzat que, de tant en tant, menja un aliment estrany. La interacció real és el resultat de mesurar o avaluar d'alguna manera el resultat de combinar la freqüència i la durada de les diverses interaccions. De manera que ens caldria reformular el problema expressant totes les interaccions en una forma d'espectres de probabilitat per a cada durada o intensitat determinada, una tasca que és fora de la meva imaginació matemàtica, però que crec que algú podria emprendre. Aquestes formulacions serien o són aplicables també a l'economia, i també a les relacions interpersonals dintre dels sistemes socials. En realitat, no hi ha vies excloses, sinó vies poc freqüentades, i això està d'acord amb el concepte dindiferenciació inicial i autoorganització de les xarxes tròfiques en ecologia, en les quals existeixen segments forçosament lineals representats per paràsits i parasitoides. Sortim, doncs, d'un estructuralisme rígid, per passar a un domini on l'expressió és, potser, la dels conjunts confosos, i on és més perceptible una forma d'actuar de la selecció en l'organització d'ecosistemes, sobre una base que dóna el material necessari per bastir una estructura damunt d'una certa indeterminació.

BIBLIOGRAFIA

McNaughton, S. J. — *Stability and diversity of ecological communities.* «Nature», 274: 251-253 (1978).

May, R. M. — *Will a large complex system be stable?* «Nature», 238: 413-414 (1972).

Roberts, A. i Tregonning, K. — *The robustness of natural systems.* «Nature», 288: 265-266 (1980).