

EXPRESSIÓ SENZILLA DE LA REGULACIÓ EN SISTEMES DINÀMICS

per RAMON MARGALEF

Departament d'Ecologia. Facultat de Ciències.
Universitat de Barcelona

En tractar d'explicar els processos de regulació en sistemes ecològics he trobat sempre molt efectiva una representació gràfica, amb les existències, material emmagatzemat o biomassa en abscesses, i les entrades i sortides en ordenades. Entrades i sortides estan representades per ratlles qual trajectòria mostra si són o no funció del material existent o de la biomassa. Les entrades i sortides es creuen en el punt estable d'acumulació de biomassa o de material en general.

El model s'introdueix amb diverses possibilitats senzilles, no restringides a sistemes vivents. Regulació de la temperatura de la terra (model B de la figura), regulació de la quantitat de fullaraca en un bosc (model A), o bé, de consuetud, a poblacions, que és l'aplicació que m'interessa desenvolupar.

És fàcil veure que una situació estacionària es dona quan les sortides són funcions de la biomassa o població existent d'un grau més elevat que no pas les entrades. Altrament la regulació no es possible i no ho és si natalitat i mortalitat es fan funció linear simple de la densitat de població. El mateix passa amb la migració; si immigració i emigració són funcions semblants de la població no hi ha regulació. Però és fàcil que l'emigració és més funció de la població que la immigració, i que les morts són més funció de la població que els naixements. A la llarga, aquest és el principi bàsic de regulació en sistemes naturals.

Aquesta discussió facilita el comprendre que les potències en què entra la població o la biomassa en els models matemàtics estil Volterra i Lotka, no tenen per què ser 0, 1 o 2, i és molt més versemblant que siguin fraccionaris. De fet, amb dades experimentals, la regressió de log naixements, o log morts, contra log població, mostra pendents diverses. Els valors diversos de la pendent de la recta de regressió són, en part, «vers», i, en

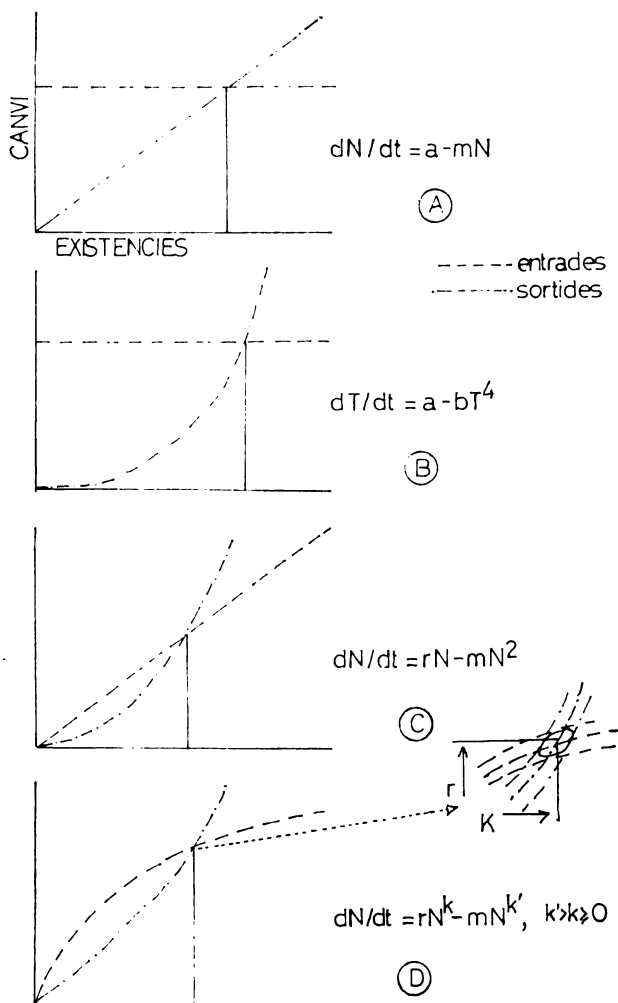


FIG. 1. — Quatre exemples de regulació d'existències, biomassa o població (en abscisses). La quantitat estacionària és donada en el punt on les entrades i les sortides s'equilibren (en ordenades, entrades a ratlletes; sortides, ratlla i punt). Representació gràfica i expressions matemàtiques d'ús corrent en ecologia. *A* correspondria a l'acumulació de fulleraça en un bosc, amb entrada constant i descomposició proporcional a la fulleraça existent. *B* representa la regulació de la temperatura a la Terra, amb entrada constant de radiació i emissió proporcional a la quarta potència de la temperatura. És un model aproximat que ignora la heterogeneïtat de la superfície de la Terra. *C* i *D* representen poblacions biològiques, i en *D* es suggereix l'interès d'una visió més exacta del punt d'encreuament i de la seva variabilitat, en relació amb les estratègies evolutives

part, una conseqüència estadística d'un menor grau de correlació en les entrades que en les sortides, el que és cert i té el mateix efecte. És a dir, l'essència de la regulació és una major predictabilitat en les sortides que en les entrades. Aquestes nocions no solament s'imposen a l'estudiant, sinó també al professor, que sovint ha llegit nocions molt diverses en llibres d'ús corrent i interminables polèmiques que no tenen massa sentit.

És possible donar un pas més vers l'abstracció, si es té present que, en la població d'un animal presa per exemple, les entrades (naixements) són

funció de la població de la mateixa presa, però les sortides són funció de la població de la presa ensem que de la població del depredador. Però la població del depredador és, al seu torn, funció de la població de la presa, de manera que podem escriure

$$dN/dt = \text{funció}(N) - \text{funció}(\text{funció}(N)), \text{ o } dN/dt = f(N) - f(f(N))$$

Expressions que potser són massa abstractes per ésser d'ús immediat, però introdueixen la noció de recurrència i el fet que les sortides tendeixen a dependre de l'estructura de la funció, més que dels valors de les variables implicades.

S'obre una altra perspectiva molt ampla en l'ús possible de funcions periòdiques, o de sumes de funcions periòdiques tant en les entrades com en les sortides, visualitzant possibles fluctuacions de la població com resultat de l'interferència d'aquells.

És possible portar a terme una anàlisi més detallada de la regió d'intersecció de les dues línies, sigui considerant les diverses derivades en aquesta regió, sigui la incertesa o la variabilitat de cada una de les corbes. D'una o altra manera es delimiten regions on «poden passar coses». Vull dir en termes d'evolució i d'estratègia de la evolució. En aquest sentit el gràfic que comento pot servir també per discutir un tema d'actualitat, el de les diverses estratègies evolutives al llarg de l'eix $r-K$. El quocient entre les ordenades i les abscisses, en cada punt, representa la relativa importància de les dues estratègies, de la r (entrades i sortides) i de la K (màxima població mantinguda).

DISCUSSIÓ

FLÓS

El problema és fer les equacions i seguir-les numèricament pas a pas. També caldria introduir el temps; l'estat del sistema pot canviar i donar lloc a respostes diferents.

MARGALEF

Quan varia l'activitat metabòlica, per exemple, les línies que representen les entrades i les sortides es mouen d'alguna forma. Es poden estudiar amb detall les lleis de canvi. Els càlculs numèrics poden complicar-se molt, matemàticament.