

La inexcusable tasca de confeccionar mapes

Ramon MARGALEF
Universitat de Barcelona

Introducció

Amb Salvador Llobet m'uní una bona amistat i una preocupació naturalística comú. L'oportunitat que se m'ofereix de retre homenatge a la seva memòria en aquestes pàgines, que molt agraeixo, em porta a recordar algunes preocupacions comunes. L'ecologia té molts problemes paral·lels i comparteix arrels amb certes maneres d'entendre la geografia física i és evident que molts problemes de fisonomia de la vegetació, i també de la composició de les comunitats vegetals, es retroben en una geografia general. Recordem, també, que la teoria de la clímax es relaciona, de bell antuvi, i probablement fora de propòsit, amb grans processos geomorfològics de peneplanació.

Salvador Llobet en el seu estudi sobre el Montseny es manifesta com un excel·lent coneixedor de la vegetació. Ell i jo, i tots els ecòlegs, hem tingut necessitat de fer mapes i de treballar amb ells. I qui diu fer mapes vol dir traçar fronteres o límits. La geografia política ho té més senzill, perquè pot arriscar-se a posar les taques de colors diversos des d'un despatx estant. La geografia de la naturalesa pot arribar a reflectir, i és cert, la geografia política, però generalment no és així. De qualsevol manera, la necessitat de fer mapes persisteix i ara ens és exigida per les tècniques més modernes d'observació i d'interpretació des de l'espai. No obstant, és un ofici que sempre deixa insatisfet: substituir un gradient per una discontinuïtat, tot exagerant i deformant els trets de les distribucions, sigui d'una espècie biològica, sigui d'un tipus d'ecosistema, no es fa mai sense recança i fins i tot remordiment. Tal vegada ho hem d'excusar tot dient que això és inevitable, perquè el nostre sistema nerviós treballa amb la discontinuïtat, inventant-la allí on no hi és. Cal traçar ratlles damunt d'un mapa sense massa sentit de culpabilitat i entorn d'aquesta obligació de qui confecciona els mapes girarà una bona part dels meus comentaris. De moment, proposo veure amb indiferència el descriptor mesurat en cada cas. Pot ser l'alça-

da de la vegetació, forma de l'espectre de la llum reflectida —anàlisi de la vegetació a través dels pigments—, mida de les onades, pluja caiguda en un període donat, etc.

Regions i vies, o mosaics i grafs: dos components dels mapes

D'un mapa corrent, esperem que delimiti àrees i defineixi camins. Els rius i els camins són elements d'unió; les fronteres ho són de disjunció. Aquesta doble funció, unida o separada, és molt important. Les àrees tenen quelcom d'estàtic, en el sentit que se suposa que llurs límits representen un estat estacionari, i fins un estat d'equilibri; mentre que les vies de comunicació, naturals (sistemes fluvials) o humanes, tenen un caràcter més dinàmic o de transport i relliguen directament punts allunyats. Els mapes de les divisions polítiques s'associen naturalment amb els mapes de carreteres i ferrocarrils. Els mapes de la topografia local, i dels tipus de vegetació es relacionen més amb els mapes hidrogràfics. La conca hidrogràfica és una unitat molt important en ecologia. I trobem relacions més precises entre l'estil dels rius: convergència d'afluents en les capçaleres i meandres en les planures aluvials, i les respectives formes d'erosió i de relleu.

De passada cal recordar els recursos usats en la definició o caracterització de les superfícies. Avui dia la reflexió de la radiació segons certes longituds d'ones i llurs combinacions és el descriptor més usat; també són importants característiques d'estructura, per exemple la mida mitjana de les capçades dels arbres, o la mida mitjana i llur distribució de les ones i dels remolins aixecats pel vent damunt la superfície dels oceans: els de major diàmetre són més freds, per contenir barrejada una major proporció d'aigua de les capes subsuperficials més fredes.

L'esmentada dualitat d'aspecte ha portat a consideracions independents de problemes comuns en tota cartografia que ni que siguin profunds, es presenten sovint de manera enjogassada: nombre de colors diferents necessaris per acolorir un mapa, de manera que no hi pugui haver confusió entre parcel·les veïnes, o traçats de rutes òptimes en relació a ciutats, rius i amb optimització de certes condicions dels possibles viatges. Així com les àrees es poden deformar, tot mantenint les relacions, fins a tenir un mosaic normalitzat, els «camins» també es poden simplificar en un arbre arbitrari que preserva la connectivitat.

Hi ha certament relacions dinàmiques entre les dues classes de mapes, que són complementàries: les divisions polítiques comarcals es poden relacionar efectivament amb la disposició de les vies més freqüentades entorn de localitats que tenen, o tingueren, un poder d'atracció considerable, a vegades simplement perquè és on se celebren o celebraven periòdicament mercats. Perdoneu que, com exemple, prefereixi a la divisió comarcal de Catalunya, massa estàtica, la visualització d'una amiba en moviment i relacionar la seva forma en cada moment amb la disposició dels túbuls en el seu citoplasma.

Hom podria esperar que les relacions dinàmiques esmentades permetessin una anàlisi matemàtica separada i compatible, però ací es poden trobar, ensems a dificultats, la rel de problemes molt importants. Ara es proposa sovint una interpretació fractal del paisatge, ben utilitzable en els paisatges artificials que la televisió ens serveix quotidianament. Es plantegen problemes que crec que són més interessants i més profunds del que sembla de bell antuvi. Per exemple: Suposem un relleu que es pugui descriure per un model frac-

tal i suposem que aquest relleu terrestre es sotmet a la pluja i a l'erosió pluvial i fluvial, amb condicions definides, per exemple, que cada gota llisqui pel pendent màxim, a partir de cada punt i que, al fer-ho, erosiona el terreny. Al cap d'un temps tindrem un altre relleu. ¿Seguirà sent fractal? Mandelbrot (en Peitgen i Saupe, 1988) reconeix la insatisfacció que es produeix a l'intentar combinar el relleu amb els sistemes hidrogràfics, dintre de descripcions fractals compatibles. Tensions com aquesta o comparables han de trobar-se latents en els intents de racionalitzar la relació entre diferents representacions d'uns mateixos territoris, i una asimetria igualment molt profunda es manifesta subjacent a qualsevol representació dels remolins superficials en una massa d'aigua.

Descripció geomètrica de les fronteres

Hi ha moltes maneres de considerar un límit. És d'actualitat, o de moda, introduir ràpidament les fractals en el problema de mesura. La llargada resulta funció de l'eina, del regle, o de l'obertura dels braços del compàs amb el que fem la mesura. Una cosa és estimar la llargada d'un límit damunt d'un mapa a escala 1:100 000, i una altra fer-ho de manera més acurada, damunt del terreny, i sempre se'ns presenta la qüestió de fins on s'allarga la frontera si la tracem rodejant els més menuts granets de sorra. Tal procedir faria créixer sense mesura la llargada assignada. Algú ha fet notar que la frontera comú entre dos països s'expressa en els llibres de manera diferent pels dos i generalment se la fa més llarga mirada des del país més petit. Això es compleix almenys en la frontera entre Espanya i Portugal, que en els manuals portuguesos es dona com a més llarga, sense que això sigui criticable. De fet, la llargada entre dos punts força distants, L , expressada en unitats de mesura o «passos» P , és $L = P^k$, on k varia entre 0 i 1. Solament en una frontera rectilínia, sense divagacions, tindriem $k=1$. k s'apropa a zero en un etern divagar entorn d'un minúscul granet de sorra.

Per a un naturalista, la frontera té un sentit, per exemple, a un costat alzar i, a l'altre, una vegetació més degradada, potser amb pins esparsos. I és evident que la frontera té aleshores certes propietats dinàmiques. Hi ha la tendència successional, que farà que les àrees en camps abandonats més properes allí on hi ha la vegetació natural, si el conreu s'abandona, tenen tendència a revertir més ràpidament a la vegetació natural, amb qual cosa la frontera que allí vèiem es mourà vers els camps abandonats. Aquesta és una situació dinàmica de contrast que pot donar una frontera tant més rectilínia com major és la diferència entre les dues àrees que es troben al llarg de la mateixa frontera. Entre el bosc humit tropical i la part artigada per l'home el contrast és molt gran i acostuma a ser rectilini ($k \approx 1$), i així persisteix molt de temps. En canvi, el botànic que fila més prim i estudia la vegetació per la seva composició florística, reconeixent lleus matissos basats en història, nivell i qualitat del sòl, arribarà sovint a traçar fronteres d'una sinuositat innegable ($k < 1$) i, tal vegada, incloses dintre el que un observador superficial veurà com una regió de característiques uniformes.

Hi ha una suggerència a fer, que pot tenir valor heurístic, i és la següent: Podríem situar la frontera en un màxim del gradient d'algun descriptor selecte, de manera que la frontera és la reunió dels punts que tenen la propietat de que, a cada un d'ells, podem situar una secció on el valor es màxim, i tots els punts on es dona aquesta situació formen una línia, la frontera. Aquesta inclou una serie de punts en cada un dels quals és creuen un màxim

i un mínim, és a dir els punts són centrals a sengles superfícies en sellà, representatives d'alguna distribució. Normalment la frontera serà tallada per una seqüència de seccions aproximadament paral·leles sobre les quals es poden reconèixer els màxims gradients o les inflexions que hàgim escollit per definir la frontera.

Ecològicament, les condicions de major contrast i més bones d'estudiar es donen en les distribucions en estisora, on dos factors mostren distribucions oposades quals conseqüències es reforcen mútuament, com és ara la distribució de nodriment i de la llum en una secció vertical d'un cos d'aigua. El mecanisme és simple, on hi ha llum els organismes consumeixen el nodriment, i després, en part es sedimenten; on no hi ha llum el nodriment s'acumula. És obvi que la màxima activitat biològica té lloc allí on és màxim el producte dels valors locals de les dues distribucions, on resulta més afavorida si hi ha turbulència o ones internes que barregen més o menys suaument les aigües; és on s'acostuma a observar un màxim profund de clorofil·la en la mar. Una altra distribució en estisora és la que dona la termoclina: l'acció del vent sobre l'agitació de l'aigua es va esmortuint a mesura que s'aprofundeix i va a l'encontre d'un gradient creixent de densitat que s'oposa a la barreja, i que és resultat de la barreja efectuada fins aquell moment. També s'observen efectes semblants en la costa marina, on és manifesta en la zonació de les algues i que resulta de la propagació cap avall de l'agitació de l'aigua i les limitacions imposades per la penetració de la llum.

Una analogia física: la tensió en els límits

És imaginable una senzilla analogia amb altres conceptes físics. Per exemple, amb la tensió superficial, o, en general, en la tensió entre dos fluids diferents que es troben en l'extensió d'una superfície comuna. Si la diferència de certes característiques moleculars és gran, la superfície tendeix a fer-se mínima; si és poc diferent, es poden mantenir situacions de major complexitat geomètrica. Podríem dir, doncs, que les fronteres més rectes correspondrien, per analogia, a una forta tensió superficial entre els dos volums en contacte, mentre que fronteres sinuoses i relativament més extenses, correspondrien a diferències més baixes de tensió superficial. La diferència entre: 1) fronteres que tendeixen a ser de mínima superfície i 2) fronteres molt més sinuoses i de superfície relativa augmentada és molt general. No és estrany que els botànics, al cartografiar les comunitats vegetals hi reparessin. Foren botànics holandesos els que ho expressaren més clarament, anomenant *limes convergens* a les fronteres més marcades i linears, i *limes divergens* a les més sinuoses, indefinides o confosos (van Leeuwen, 1966)

Associar energia a les fronteres és obvi en molts casos. Per exemple, això és evident en les falles geològiques: algunes rectilínies i molt llargues, que separen terrenys de característiques molt diferents, i que semblen sempre associades amb molta energia, i almenys són visibles de molt enfora, i altres de menor entitat i energia, fetes d'episodis menys reiteratius. Una diferència semblant s'observa en fronts marins: aigua ascendent o mesclada a un costat, i aigua més vella i estratificada a l'altre llavi, amb corresponents diferències en les poblacions respectives, interpretable sovint en termes successionalis o de grau de diversificació local. Naturalment, els fronts atmosfèrics es manifesten també per ser discontinuïtats molt netes, sense el grau de difusió i d'irregularitats que es van introduint més tard. Altres fronteres, tot i podent tenir semblants propietats dinàmiques, resulten molt més visibles a l'observació, com és la línia de costa.

Aquesta distinció suggereix interpretacions dinàmiques. No solament podem preguntar-nos si existiran ones biològiques al llarg de les fronteres. Les fronteres sinuoses es van difuminant en un fons irregular: potser no val la pena de fer-ne el traçat precís i sovint és difícil trobar una interpretació funcional satisfactòria, talment tot sembla fruit del caprici. Semblen l'expressió d'una indiferència que s'expressa de manera aleatòria i porta a una confusió total, on es fa difícil seguir distingint fronteres. En part seran resultat d'interaccions entre organismes, amb poca energia, doncs pot ser incerta la conclusió de qui substitueix a qui. O és un «pattern» intern amb poca transcendència, que ni val la pena tractar de representar sobre un mapa. En canvi, les fronteres més dretes corresponen a situacions més energètiques. Evidentment poden separar dos taques d'ecosistemes que ocupen una posició separada o distant en una mateixa serie successional —dunes, cingols de vegetació entorn d'un estany— i aleshores es podria esperar que la frontera es traslladi vers l'espai ocupat pel tipus de comunitat que representa un nivell anterior en la successió. O si aquest moviment no es dona, pot resultar simplement que la regió més avançada explota a l'altra i priva de que en ella continui la successió. La frontera, en aquestes situacions, té un caràcter molt clarament dinàmic. La relativa equivalència entre desplaçament dels límits i dinàmica de successió o explotació pot ser un indicatiu útil des de conceptes molt diversos, àdhuc a usar en àrees d'economia i sociologia.

Sempre podríem arribar a concloure que una frontera recta i un altra de sinuosa poden tenir la mateixa energia total, en termes d'un anàleg de la tensió superficial; simplement que en la frontera més recta, com que també es més curta, toca a més tensió per unitat de longitud. És, en altres mots, una junció més enèrgica, on poden passar més coses. Sembla que hom hauria de resistir la temptació de fer més neta una imatge, per exemple, obtinguda de l'espai, substituint una frontera sinuosa i llarga per un altra més rectilínia i que serà més curta. Perquè això portaria a una representació totalment falsa de les relacions dinàmiques, a la que sembla raonable d'oposar-se.

Dinàmica de contactes múltiples

Associar a les fronteres una tensió interfacial pot ser una analogia útil per predir el destí en contactes múltiples. Probablement si hom pot traçar contactes, aquests no seran estables i l'única situació que permet certa estacionarietat és tenir unes fronteres incloses o tancades dintre d'altres i separades d'elles. En les interseccions són d'esperar dinàmiques que porten a fer-les desaparèixer. Sols situacions particulars són propícies a llur persistència. En el meu llibre d'Ecologia (1974) havia proposat l'exercici d'examinar la dinàmica entre el plancton i el bentos (una frontera senzilla) que es podia complicar per un contacte amb la frontera separant els bentos sobre fons fangosos o sorrencs, i el bentos sobre fons rocós o concrecionat.

Les coses poden ser més complicades, i fins i tot de manera regular, com esdevé en la successió de la vegetació terrestre associada a les planures de grans rius divagants i que mostren una dinàmica de meandres. La riba on el riu retrocedeix forma bandes d'etapes successives de fronteres més o menys paral·leles; al contrari, les circumstàncies de la dinàmica de meandres és tal, que la riba on el riu avança ho fa tallant perpendicularment una serie de faixes de vegetació que representen etapes successives i diferents del desenvolupament de les comunitats terrestres. Accidentalment, es donen connexions tri-

ples; però en el procés normal les fronteres no es tallen i són paral·leles. Això reflecteix l'essència de la successió ecològica, expressable per l'asimetria de la matriu de probabilitats de transició entre uns i altres tipus de comunitats. En la situació que ofereix la mecànica de meandres resulta evident que no tots els segments de frontera són equivalents, entre altres coses perquè separen etapes històricament més o menys distants una de l'altra.

Altres relacions mètriques i topològiques

Podem considerar de nou la relació entre els límits de les taques i els reticles o vies de comunicació inclosos, per exemple una carretera, que també figurarà en el mapa com una ratlla. Al llarg d'una carretera hi ha una gran mobilitat i una funció de transport neutre semblant a la que es dona en la interfacial entre dos fluids de diferent tensió superficial. De manera que, com a model general, no resulta una heretgia massa grossa posar junts en un mapa límits de vegetació i carreteres.

La dimensió fractal de les fronteres apareix també en la comparació entre llur longitud real i les superfícies que limiten. Per exemple, posar la superfície S en funció de la dimensió lineal F de les fronteres $S = \alpha F^k$. Això es pot fer sobre el pla, en dues dimensions, on és de suposar que k s'apropa a 2 i pot ser millor, per raons de coherència posar $S = \alpha F^{2k}$, o bé en un espai de tres dimensions, V , relacionant la superfície limitant entre les dues o més fases que en tal espai es distingeixen, $V = \beta S^{(3/2)k}$. En la realitat de l'ecologia el problema és interessant per la tendència dels sistemes a fraccionar-se en dues fases topològicament diferents. Aquest és el fenomen de la «patchiness», o formació de rotllanes, observades no només en el plancton, més també en claps de vegetació. En sistemes aquàtics, la rotació de la Terra, combinada amb el caràcter ciclònic o anticiclònic fa que un sistema es trenqui naturalment en rotllanes que contenen plancton més productiu, que és explotat per la regió reticuliform situada tot entorn, on els heteròtrofs solen ser més abundants. Però probablement aquesta asimetria és més general, ja que s'ha reconegut en l'espai del cosmos on no es pot parlar de predomini de depredador i de presa, encara que sí de disponibilitats d'energia, de matèria i d'informació. En qualsevol cas i des del punt de vista d'una comparació mètrica, una cosa és comparar el desenvolupament lineal o superficial de les fronteres amb l'espai total, o amb l'espai ocupat per cada una de les dues fases (dues fases en el model més general: doncs si són tres, com s'ha comentat abans, es donen nusos o interseccions i el model passa ràpidament a nous estats).

Hi ha moltes raons per examinar amb cura la qüestió de les fronteres, per arbitrari que pugui semblar el seu traçat. La veritat és que és inexcusable dividir una superfície indefinida en àrees per sistematitzar el seu estudi, i això no s'excusa a l'usar les tècniques més modernes d'observació des de l'espai. No és, doncs, qüestió trivial.

Suposo que sempre caldrà utilitzar alguna analogia o raonament que, o potser molt m'equivoco, hauria d'incloure consideracions semblants a les esmentades. En la pràctica, però, el problema sovint se simplifica molt: es tracta de calcular una funció que defineixi millor els contrastos, exagerant aquells fins posar en relleu la línia que en el seu origen era de màxim gradient. No hi ha dubte que, en aquest cas, els procediments electrònics i de càlcul usats no fan més que imitar el que fa la nostra retina, exagerant els contrastos de les imatges.

Però aquest és un problema distint dels que intentava introduir, que es refereix a que les fronteres, com a tals, independentment de llur apreciació visual, poden ser llocs d'especial tensió en l'organització de la biosfera. Això no es limita als mapes de vegetació, o ecològics en general, sinó que té aplicació molt més àmplia al territori humanitzat, i es correspon a gradients associats amb ús d'energia, informació i transport.

Referències

- Van LEEUWEN, C.G. (1966): «A relational theoretical approach to pattern and processes in vegetation», a *Wentia*, 15, 25-46
- MARGALEF, R. (1974): *Ecología*, Omega, Barcelona, 951 pp.
- (1974): «The organization of space». *Oikos*, 33, 152-159.
- (1991): *Teoría de los sistemas ecológicos*. Publicaciones de la Universidad de Barcelona.
- PEITGEN, H.O. i SAUPE, D. (edit.) (1988): *The Science of Fractal Images*, Springer-Verlag, New York, 312 pp.
- WIENS, J.A., CRAWFORD, C.S. i GOSZ, J.R. (1985): *Boundary dynamics: a conceptual framework for studying landscape ecosystems*, *OIKOS*, 45, 421-427.