

# GEOMETRIA FRACTAL DE LA NATURA

La geometria sempre ha tingut un paper de primer ordre en les ciències naturals. Durant la dècada dels noranta es va veure que la geometria fractal pot ser un bon instrument per entendre millor el que ens envolta i intentar modelitzar-ho. El concepte i la paraula *fractal*, els va proposar el 1975 el matemàtic Benoît Mandelbrot. Tot i que fa anys que el món matemàtic i les ciències en general en coneixen l'existència i els utilitzen, encara no tenen una definició matemàtica precisa i d'acceptació general.

Un *fractal* és un objecte geomètric, l'estructura bàsica del qual, fragmentada o irregular, es repeteix a diferents escales. A un objecte fractal, se li atribueix un seguit de característiques:

- és una figura geomètrica complexa i una massa irregular infinita per poder ser descrit en termes geomètrics tradicionals,
- té detall en qualsevol escala d'observació,
- és autosimilar (exacta, aproximada o estadísticament),
- la dimensió de Hausdorff-Besicovitch és estrictament més gran que la dimensió topològica, i
- es defineix mitjançant un simple algorisme recursiu.

Processos regits per lleis estrictament deterministes (per exemple, la temperatura en un punt de la Terra) donen lloc a futurs incerts i impredecibles, dels quals l'únic que sabem és que *vaguen* gairebé aleatòriament per regions geomètriques d'estructura molt irregular: són els processos caòtics de tipus determinista. Si a això afegim l'existència de processos purament aleatoris, el resultat és una natura amb formes molt irregulars i capritxoses. La geometria fractal pretén, entre altres coses, trobar ordre i regularitats en formes geomètriques que semblen caòtiques. La teoria del caos i la dels fractals són dos temes que sovint han aparegut junts. Denominem *caos* el comportament impredecible d'un sistema determinista, atesa la gran sensibilitat respecte a les

condicions inicials. *Caòtic* no és sinònim de *fractal*. Tanmateix, el caos i els fractals sí que tenen aspectes en comú. Alguns fenòmens caòtics tenen una estructura fractal subjacent (per exemple, els atractors). Tot i l'aparent complexitat, ambdós solen tenir una formulació senzilla.

A la natura hi ha molts processos que porten a formes irregulars; dos dels més importants són el de separació i el de ramificació.

La *frontera de separació* de dos medis se sol caracteritzar pel fet que, si es mira a qualsevol escala, sempre es troben incursions d'un medi en l'altre; per això, si s'augmenta el grau de resolució del mesurament de longitud o de l'àrea, aquestes augmenten indefinidament. Si es vol tenir en compte aquest comportament, la modelització d'aquestes fronteres s'ha de fer amb corbes fractals, perquè la longitud és infinita. Aquest tipus de modelitzacions s'empren per estudiar costes o accidents geològics, entre d'altres.

El *procés de ramificació* és un procés de creixement fractal molt important per simular el creixement en éssers vius, atès que pot explicar per si sol la formació d'un gran nombre d'arbres, plantes, algues, etc. Cada una d'aquestes formacions segueix pautes diferents de ramificació, fins i tot dins de la mateixa espècie, però totes es basen en el mateix concepte. Freqüentment, també trobem la ramificació en l'anatomia humana, on són abundants les estructures *fractaliformes* que podem

observar en xarxes nervioses, xarxes dels vasos sanguinis, etc. Encara que les organitzacions anatòmiques fractals citades serveixen a funcions fisiològiques aparentment disperses, totes tenen en comú que augmenten la superfície funcional. Les ramificacions i els replècs fractals augmenten notablement la superfície de les àrees d'absorció (com l'intestí), de distribució o recol·lecció (conductes biliars) i del procés d'informació (terminacions nervioses). A causa de la redundància i la irregularitat d'aquests, són forts i resistent a les lesions. El cor, per exemple, és un òrgan l'arquitectura fractal del qual és evident en les pautes de ramificació dels músculs, del sistema de vasos sanguinis i del sistema His-Purkinje (encarregat de conduir els impulsos elèctrics cardíacs), la qual cosa permet una solidesa i un aprofitament dels recursos més gran.

Recentment han aparegut estudis prometedors sobre l'aplicació dels fractals en l'estudi de cert tipus de tumors. Es creu que és possible anticipar l'aparició d'un tumor mitjançant fractals, ja que ambdós evolucionen de manera semblant (alguns tumors es ramifiquen de manera fractal).

Finalment, val la pena remarcar que, a part del valor artístic –qui no s'ha deixat mai seduir per un gràfic fractal?–, els fractals s'usen molt en la compressió d'imatges en informàtica, en la indústria cinematogràfica (les llunes d'Endor a *El retorn del Jedi* són imatges fractals) i en economia i finances (es mesura millor el risc), i fins i tot existeix la música fractal. |