

## Dinàmica de sistemes complexos



### Vicent Botella i Soler

Departament de Física Teòrica  
i Institut de Física Corpuscular (IFIC)  
Universitat de València-CSIC  
Exalumne de l'IES Antoni Llidó - Xàbia

La cèl·lula, la unitat bàsica de tot organisme viu, és el sofisticat resultat de milers d'interaccions físiques entre molècules. La nostra experiència conscient és el fruit de les interaccions químiques i elèctriques de bilions de neurones. Encara que en una altra escala, insectes socials, com les formigues o les abelles, prenen decisions col·lectives (com ara, on construir el niu) a través d'un procés auto-organitzat a través del qual la decisió emergeix espontàniament.

*Sistemes complexos* és el nom que s'ha donat a una varietat molt heterogènia de problemes amb aquest denominador comú: un gran nombre d'agents - per exemple neurones - interaccionen donant lloc a propietats emergents que no es dedueixen de manera trivial de les lleis d'interacció. A més a més, els sistemes complexos solen presentar dinàmiques fortament no lineals o, altrament dit, la seua evolució futura no es pot predir (diem que *el sistema és caòtic*). A l'hora d'encarar l'estudi d'un sistema complex, es fan servir els coneixements adquirits en disciplines ja existents com ara la física estadística, la teoria de jocs, la teoria de xarxes o la dinàmica no lineal. Cal remarcar que la investigació en el camp dels sistemes complexos és fortament multidisciplinària, és a dir, requereix la col·laboració de científics de diverses disciplines: físics, matemàtics, biòlegs, metges, enginyers i també, de vegades, economistes o sociòlegs.

Durant els meus estudis doctorals, he treballat en diversos aspectes relacionats amb sistemes complexos. En la part més teòrica he treballat amb sistemes caòtics senzills i estudiat un tipus concret de transició ordre-caos i també he investigat la interacció de sistemes caòtics en xarxes complexes

adaptatives parant atenció especial als fenòmens de sincronització. La part més experimental del meu treball, i potser la més fàcil d'explicar, està relacionada amb l'anàlisi de l'activitat elèctrica cerebral. Com hem dit més amunt, el nostre cervell és un munt de neurones que interaccionen mitjançant impulsos elèctrics. Fent ús d'elèctrodes podem mesurar el potencial elèctric resultant de l'activitat neuronal. Açò és el que s'anomena fer un electroencefalograma o EEG. Les dades electroencefalogràfiques ens donen una informació limitada però molt valuosa de la dinàmica cerebral i ens permeten estudiar aquesta en diferents situacions, com ara les diferents fases del son, un atac d'epilèpsia o la realització d'una tasca cognitiva concreta. En col·laboració amb un equip d'investigació en neurociència de l'*Institut du Cerveau et de la Moelle Épinière* de París (França) he estudiat la dinàmica de les ones lentes cerebrals. Aquestes ones són un patró característic de l'EEG que apareix en les fases de son profund. S'ha comprovat que aquestes ones o oscil·lacions juguen un paper important en els processos de consolidació de la memòria i l'aprenentatge. És per açò que ens interessa saber com aquestes ones organitzen o modulen l'activitat elèctrica cortical, com es propaguen i quines són les seues característiques dinàmiques més importants. A partir de dades EEG intracranials de pacients epilèptics i fent ús, en part, de la teoria de xarxes complexes hem pogut fer una reconstrucció estadística (a partir de milers d'esdeveniments) de la propagació de les ones lentes en el còrtex cerebral. Entre altres coses, el nostre estudi presenta una nova evidència d'allò que ja s'intuïa en estudis a partir de dades EEG de superfície: les ones lentes tendeixen a originar-se en el còrtex frontal i es propaguen majoritàriament cap a les regions posteriors (còrtex parietal i occipital) i laterals (còrtex temporal) del cervell. Recentment hem publicat un article (de lliure accés) [1] a la revista PLoS ONE (<http://www.plosone.org>) on s'exposen els resultats d'aquest treball.

[1] V. Botella-Soler et al.: *Large-scale cortical dynamics of sleep slow waves*. (2012) PLoS ONE 7(2): e30757

Reconstrucció de la propagació de tres ones lentes en el còrtex del lòbul temporal. Els punts rojos marquen la posició dels elèctrodes de registre a la superfície del còrtex. En cadascun dels esdeveniments d'ona lenta representats, la ratlla vertical assenyalava la posició temporal de la primera detecció. S'aprecia la propagació de la ona lenta en veure que el mínim de l'oscil·lació s'enregistra de manera consecutiva (no simultània) en diferents elèctrodes.

