

# FÍSICA I CERVELL

El cervell no ha entrat fins fa relativament poc en el conjunt de sistemes que estudia la física. De fet, l'estudi del cervell constitueix, per la seva significació filosòfica i per la seva vastitud i complexitat, una mena de cosmologia interior. La física hi contribueix en un triple aspecte: proporcionant instruments d'observació, ajudant a elaborar metàfores o models de treball, i explorant els límits del coneixement que en podem assolir. Posant tres comparacions d'aquesta cosmologia interior amb la cosmologia exterior, les tècniques d'RMN (ressonància magnètica nuclear) funcional, el model connexionista, i les limitacions establertes per la quàntica i per la lògica serien, respectivament, el telescopi, el model del *big bang*, i la relativitat quàntica.

**L'instrument.** Els telescopis més moderns, amb base a la terra o a l'espai, tenen l'atractiu de permetre'ns observar més amplitud (més galàxies, més buits entre galàxies), més detall (sistemes planetaris) i més acció (formació i explosió d'estrelles). L'exploració de l'interior del cervell es basa actualment en els mètodes de la TEP (tomografia per emissió de positrons) i, sobretot, de l'RMN funcional. A diferència dels mètodes d'exploració anteriors, basats en l'estudi de les seqüeles de lesions diverses, els estudis actuals permeten més detall de localització de les àrees del cervell que intervenen en diverses activitats, i permeten, a més, d'estudiar-ne, en temps real, l'actuació, en situacions que van des d'accions físiques molt concretes com el moviment dels dits

de les mans, fins a activitats més abstractes com l'evocació de paraules, de significats o de grafies diversos. Això permet d'anar establint una cartografia del cervell, anàlogament a les cartografies del genoma i de l'univers.

**La metàfora.** Els models cerebrals més utilitzats en l'actualitat són models connexionistes, basats en xarxes neuronals. Tot i que el model de partida és essencialment biològic, la física hi contribueix de dues maneres: afina els detalls quantitativs i conceptuals dels models mitjançant analogies amb vidres de spin, i permet la realització pràctica de xarxes neuronals electròniques i fotoelectròniques. Les xarxes neuronals han esdevingut un dels sistemes més estudiats en mecànica estadística. El punt de partida en són models magnètics de vidres de spin: cada neurona és representada com un spin, amb dos estats possibles (activada o no), i cada sinapsi pot assolir dos valors (activadora o inhibidora). Si les interaccions sinàptiques són simètriques, pot ser assignada una energia a cada estat d'aquest sistema, i una dinàmica que porta des dels estats de més energia als de menys energia. A diferència dels models del magnetisme clàssic, en què les interaccions vénen donades per paràmetres prefixats, ací les interaccions són també variables dinàmiques, que poden modificar-se segons certes regles d'aprenentatge. Les xarxes neuronals funcionen en paral·lel i es caracteritzen per un comportament global i robust, i per una certa capacitat per corregir errors i aprendre nous comportaments.

## d'ací, d'allà



Així com la interacció entre tots els objectes de l'univers queda descrita per una mateixa llei (la de la gravitació), les interaccions entre neurones poden ser molt específiques, segons els diversos neurotransmissors i receptors de cada sinapsi. Això fa que la descripció de l'univers interior sigui extraordinàriament més complexa que la de l'univers exterior. Aquesta complexitat, però, no és incorporada encara en les xarxes neuronals actuals, les quals usen models molt simplificats que, tot i això, han permès d'assolir èxits pràctics extraordinàriament remarcables, com ara xarxes neuronals que aprenen a pronunciar correctament les paraules que llegeixen.

**Els límits.** La física s'interessa pels límits de la realitat o del nostre coneixement de la realitat: límits en el mesurament fixats per la mecànica quàntica, o límits en la predictibilitat fixats per les característiques no lineals del sistema en el caos determinista. En el cas de l'univers, les qüestions referents als límits tracten temes com ara el contingut, la geometria i el futur de l'univers (obert i en expansió perpètua, o tancat i amb col·lapsament futur) i a les condicions inicials, que poden ser molt diferents en teories quàntiques o en teories clàssiques. En el cas del cervell, la mecànica quàntica ha estat invocada en els possibles límits entre una ment immaterial i un cervell material, ja sigui a nivell d'emissió de neurotransmissors, ja sigui a nivell de microtúbuls en

*(Continua a la pàgina 38)*

## Referències

- SALMERON, M., *Revista de Física*, 3, 4, (1992).
- OGLETREE, D.F., HWANG, R.Q., ZEGLINSKI, D.M., LÓPEZ VÁZQUEZ-DE- PARGA, A., SOMORJAI, G.A. i SALMERON, M., Scanning tunneling microscopy studies of sulfur overlayers on the Re(0001) surface, *J. Vac. Sci. Technol.*, **B9**, 886 (1991).
- HWANG, R.Q., ZEGLINSKI, D.M., LÓPEZ VÁZQUEZ-DE- PARGA, A., OGLETREE, D.F., SOMORJAI, G.A., SALMERON, M. i DENLEY, D.R., Formation of sulfur clusters on Re(0001) surfaces observed with the STM, *Phys. Rev.*, **B44**, 1914 (1991).
- DUNPHY, J.C., SAUTET, P., OGLETREE, D.F., DABBOUSSI, O. i SALMERON, M., Scanning-tunneling-microscopy study of the surface diffusion of sulfur on Re(0001), *Phys. Rev.*, **B47**, 2320 (1993).
- DUNPHY, J.C., McINTYRE, B.J., GÓMEZ, J., OGLETREE, D.F., SOMORJAI, A. i SALMERON, M., Coadsorbate induced compression of sulfur overlayers on Re(0001) and Pt(111) by CO, *J. Chem. Phys.*, **100**, 6092 (1994).
- McINTYRE, B.J., SALMERON, M. i SOMORJAI, G.A., An in situ STM determination of a kinetic pathway for the coadsorbate-induced compression of sulfur by CO on Pt(111), *Surf. Sci.*, **323**, 189 (1995).
- McINTYRE, B.J., SALMERON, M. i SOMORJAI, G.A., A variable pressure/temperature scanning tunneling microscope for surface science and catalysis studies, *Rev. Sci. Instrum.*, **64**, 687 (1993).
- McINTYRE, B.J., SALMERON, M. i SOMORJAI, G.A., In situ scanning tunneling microscopy study of platinum (110) in a reactor cell at high pressures and temperatures, *J. Vac. Sci. Technol.*, **A11**, 1964 (1993).
- McINTYRE, B.J., SALMERON, M. i SOMORJAI, G.A., 'Nano-catalysis' by the tip of a scanning tunneling microscope operating inside a reactor cell, *Science*, **265**, 1415 (1994).
- ZHENG, J.F., LIU, X., NEWMAN, N., WEBER, E.R., OGLETREE, D.F. i SALMERON, M., Scanning tunneling microscopy studies of Si donors ( $\text{Si}_{\text{Ga}}$ ) in GaAs, *Phys. Rev. Lett.*, **72**, 1490 (1994).
- ZHENG, J.F., WALKER, J.D., SALMERON M. i WEBER E.R., Interface segregation and clustering in strained-layer InGaAs/GaAs heterostructures studied by cross-sectional scanning tunneling microscopy, *Phys. Rev. Letts.*, **72**, 2414 (1994).
- HU, J., XIAO, X.D., OGLETREE, D.F. i SALMERON, M., Imaging the condensation and evaporation of molecularly thin films of water with nanometer resolution, *Science*, **268**, 267 (1995).
- HU, J., XIAO, X.D. i SALMERON, M., Scanning polarization force microscopy: A technique for imaging liquids and weakly adsorbed liquids, *Appl. Phys. Lett.*, **67**, 476 (1995).

---

(Ve de la pàgina 29)

l'interior de les neurones. La indeterminació quàntica ha estat vista tant com un element creador d'universos considerats com a fluctuacions quàntiques o com a creador de possibilitats de llibertat en un món regit per lleis deterministes. Alguns autors han suggerit que un element clau en la distinció entre cervell i ordinador seria una teoria quàntica de la gravitació.

Per altra banda, la matemàtica ha arribat, a partir del teorema de Gödel, a diverses limitacions de les possibilitats de decidibilitat en sistemes axiomàtics. En el cas del problema cervell-ment, les subtileses

lògiques poden tenir un paper especialment important. Alguns autors es pregunten si un ordinador limitat a operacions no algorísmiques pot arribar a les mateixes potencialitats del cervell, capaç d'operacions no algorísmiques. D'altres, es pregunten pel tipus de lògica seguida pel cervell, que probablement sigui una lògica borrosa o difusa més que no pas la lògica clàssica. També en el cas de la cosmologia, hom es pregunta si en l'univers de l'època de Planck té sentit parlar de geometria o de nombres tal com els hem definit, o si no hauria de ser descrit per un llenguatge completament diferent al de les nostres matemàtiques.

En definitiva: la interacció física-cervell proporciona molts estímuls a la curiositat. Si la física ha sentit l'interès per l'espai exterior i ha estat capaç de convertir en problemes observacionals qüestions que abans eren exclusivament metafísiques (i que no per això deixen de tenir un vessant metafísic), l'estudi del cervell presenta també un camp científicament i filosòficament apassionant, molt més complex i menys elaborat que l'estudi del cosmos exterior. Sentir-ne la curiositat ens duu, també, a voler saber més física.

David Jou