

retorna a la bola de foc primordial.

És important fer notar que l'autor entra en la reflexió quan se suggereixen conclusions físiques d'aquest tipus. Com a exemple del criteri esmentaré només l'aportació sobre la fi de l'univers. No cal preocupar-se, diu, de desenvolupar una actitud optimista o pessimista entorn a la fi de l'univers. La raó de preocupar-nos-en rau en la nostra naturalesa evolutiva i en el sentit de supervivència programat i condicionat per les influències ambientals de la Terra. Els eons de temps que caracteritzen les espècies portaran la vida per camins desconeguts molt abans que es produeixin els efectes de les prediccions físiques.

L'autor s'ha reservat la tercera part del llibre, que precisament s'anomena "El codi còsmic", per impartir la seva lliçó magistral, una vegada ja dona per acabat el fil de l'evolució del pensament de la física moderna. La lliçó se centra en les característiques que defineixen les lleis físiques, gairebé la definició de què és una llei física, cosa que reflecteix la relació de la nostra ment amb el món que intentem abastar. Es tracta d'un aprofundiment conceptual clarificador sobre les lleis físiques en el seu caràcter d'invariant, d'universalitat i simplicitat, de plenitud en relació amb la unificació, de relació amb el que és observació i experiment, i de la seva relació amb les matemàtiques com a eina per eliminar-ne l'ambigüitat.

Per acabar, es presenta l'univers com a missatge escrit en un codi que els científics han començat a desxifrar amb el món dels quanta i la immensitat del cosmos. La vella idea dels grecs en la versió de Francis Bacon, l'empirista anglès que ja al segle XVI va enunciar com les ciències havien de transformar la vida dels homes. Ara que els científics ja poden llegir el llibre de l'univers, ara, ens diu l'autor, els científics tenim el deure d'examinar com aquest coneixement influeix la nostra civilització. Massa veus ja s'han aixecat, i no sempre sense un fons de raó, per referir-se al moviment contracultural americà, per combatre el coneixement i la tecnologia que en deriva. El compromís de la nostra civilització, doncs, a més de respondre als descobriments del micromón i de les extensions sense fi de l'espai i el temps, és portar aquests coneixements a la consciència i humanitzar el seu enorme potencial.

Aquest és, més o menys, el missatge de Heinz R. Pagels al final de la seva obra, que avui us proposem i que també trobareu en versió castellana a Ed. Pirmide, Madrid 1990.

**Francesc Gacia Escapa**

## CRÒNICA



### Trobades científiques de la Mediterrània

#### Ordre, caos i complexitat

El mes de setembre passat, a Maó (Menorca), es van celebrar les Trobades científiques de la Mediterrània, organitzades per la Societat Catalana de Física (Institut d'Estudis Catalans). Aquesta vegada les Trobades van adoptar la forma d'un curs d'estiu, amb el títol "Ordre, caos i complexitat", i s'hi van introduir els conceptes i les tècniques que permeten analitzar i estudiar els sistemes anomenats "complexos".

No intentaré definir què és un sistema complex i com es distingeix d'un que no ho és, em limitaré, però, a citar exemples de sistemes que les anomenades ciències de la complexitat pretenen estudiar: el trànsit en les autopistes, el cervell, un formiguer, els ecosistemes, l'evolució, el desenvolupament embrionari, reaccions químiques fora de l'equilibri i l'economia. Com és possible aquesta evident transgressió de les acadèmicament ben establertes fronteres entre disciplines científiques? Per què les ciències de la complexitat creuen que poden donar resposta a preguntes obertes en camps que porten força temps estudiant-les? La idea que existeixen principis comuns que expliquen el funcionament de tots els sistemes esmentats (i d'altres, que la llista no és exhaustiva) és la que va donar origen a les ciències de la complexitat, hereves directes de la cibernètica i la teoria de sistemes dels 50 i 60. D'altra banda, l'evident necessitat de marcs conceptuals diferents als propis ha dut científics de diversa procedència a buscar solucions allà on menys s'esperaven trobar-les, cosa que ha originat un acord implícit entre científics sobre la necessitat de la interdisciplinarietat i l'evidència de trets comuns en sistemes aparentment molt diversos: biòlegs estudiant informàtica teòrica, informàtics utilitzant mecànica estadística, físics resolent problemes de l'economia i economistes estudiant transaccions econòmiques com si fossin sistemes de presa-depredador. Si prenem com a data d'inici l'any 1984, any de la fundació de l'Institut de Santa Fe (Nou Mèxic, EUA), les ciències de la complexitat porten uns quinze anys entre nosaltres. I, creieu-me, han vingut per quedar-se.

Les Trobades de Menorca van proposar-se donar un panorama multidisciplinari de l'estat de l'art de les ciències de la complexitat. El Dr. Ricard V. Solé (Departament de Física i Enginyeria Nuclear, UPC) va obrir les xerrades amb el tema de les propietats emergents,



proprietats característiques dels sistemes complexos que consisteixen, molt breument, en l'aparició de fenòmens deguts a les interaccions entre els components d'un sistema, cosa que fa impossible un apropament reduccionista a l'estudi dels sistemes complexos. Exemples en serien les estructures espaciotemporals característiques d'algunes reaccions químiques fora de l'equilibri termodinàmic o els camins que estableixen les formigues entre el niu i una font d'aliment. Des del punt de vista de la física, el Dr. Fèlix Ritort (Departament de Física Fonamental, UB) va parlar de vidres de spin, sistemes caracteritzats per molts estats metaestables, conseqüència del que s'anomena *frustració*, o la impossibilitat d'un element del sistema d'assolir un estat en el qual ell i els seus veïns estiguin en un mínim d'"energia local". De fet, els vidres de spin van ser proposats pel premi Nobel Phil Anderson com el marc conceptual general on estudiar els sistemes complexos. Una altra proposta de principi unificador en l'estudi dels sistemes complexos ha estat la criticitat autoorganitzada (*Self-organized criticality* o SOC), ja que és un mecanisme capaç d'explicar el que s'anomena *flicker noise* o soroll  $\frac{1}{f}$ , fenomen ubicu en la natura (el darrer llibre de Per Bak —el físic que va introduir el concepte de SOC— porta el pretenciósiós títol *How Nature Works*). De la SOC en va parlar la Dra. Susanna C. Manrubia, i també de processos multiplicatius, una altra manera d'explicar el soroll  $\frac{1}{f}$ .

La influència d'idees de les ciències de la complexitat en biologia ha estat extraordinària. De fet, sovint s'identifica —equivocadament— complexitat i biologia teòrica. Per fer-nos una idea, el Dr. Jordi Bascompte (Universitat de Califòrnia a Irvine) va parlar-nos de restriccions en el desenvolupament embrionari, les implicacions de l'existència de les quals planteja importants crítiques al Darwinisme clàssic, i Bartolo Luque (Departament de Física i Enginyeria Nuclear, UPC) va explicar-nos el seu treball sobre transicions de fase en xarxes de Kauffman, models teòrics emprats en l'estudi

de la dinàmica d'activació-inhibició de gens.

Finalment, no són poques les relacions entre informàtica i complexitat, per exemple l'estudi dels anomenats *problemes NP*, on s'utilitza la teoria dels vidres de spin. El Dr. Ricard Gavaldà (Departament de Llenguatges i Sistemes Informàtics, UPC) va fer una breu introducció a les anomenades *classes de complexitat computacional*, on certs problemes són classificats en funció de la seva dificultat coneguda, i va explicar-nos com la capacitat de càlcul de les xarxes neuronals (models teòrics de certes propietats observades en el cervell humà, per exemple, la memòria) és modificada en funció de paràmetres característics de la xarxa, p. ex. els seus pesos (*weights*), i la situació dins les classes de complexitat de diferents tipus de xarxes neuronals. I Jordi Delgado (Departament de Llenguatges i Sistemes Informàtics, UPC) va fer-nos cinc cèntims de propostes per estudiar sistemes de la natura amb eines pròpies de la informàtica teòrica (llenguatges regulars i autòmats finits) i com ell ho aplica a sistemes col·lectius, que suggereixen explicacions per a fenòmens que s'observen en formiguers. Les xerrades van ser tancades amb una taula rodona on, a més dels conferenciant, va participar el Dr. Antoni Giró.

Les ciències de la complexitat són encara joves, sens dubte moltes de les propostes que ara es fan en nom seu quedaran en l'oblit, com a experiments teòrics o curiositats intel·lectuals. És també, però, indubtable que el que quedi canviarà (canvia) la manera de concebre què és fer ciència. I els resultats il·luminaran (il·luminen ja) regions senceres dins la física, la química, la informàtica, la biologia i l'economia. Esperem haver donat, en aquest curs d'estiu, una visió suggeridora, si més no, de la riquesa i del brillant esdevenidor que tenen les ciències de la complexitat.

**Jordi Delgado**

Departament de Llenguatges  
i Sistemes Informàtics, UPC