

CAUSALITAT I CONSCIÈNCIA*

Ramon Lapiedra

S'interpreta la mecànica quàntica i, en particular, l'experiment mental del *gat de Schrödinger* adoptant un punt de vista «realista quàntic». Amb açò, la reducció del paquet d'ones s'associa a l'amplificació macroscòpica de les transicions quàntiques, i només subsidiàriament s'associa al procés de mesurament per tal com aquest implica necessàriament una de les tals amplificacions. Aquestes amplificacions són relativament incausades, i aquesta acausació relativa envaeix l'esdevenir universal i, particularment, la vida i la consciència. La consciència no pot ser simulada, doncs, per un ordinador, el qual opera d'acord amb les instruccions d'un programa definit prèviament, amb capacitat d'aprenentatge o sense. La consciència, en canvi, crea contínuament una nova realitat, dins d'uns certs límits, i el món es va creant parcialment a si mateix en tot moment.

1. INTRODUCCIÓ: CONSCIÈNCIA, MECÀNICA QUÀNTICA I ORDINADORS

La consciència i el món quàntic

En un article anterior, publicat en la revista *Arbor*,¹ l'autor suggereix que la consciència sorgeix a l'empareda de les singulars propietats del món quàntic. Repetim ací, breument, el raonament que ens condueix a aquest suggeriment: imaginem un ésser humà com a paradigma d'un ésser conscient, algú de 70 kg de pes, posem per cas, i al costat considerem uns altres 70 kg de matèria inanimada, en forma de roca, per exemple. El sistema físic dels primers 70 kg, és a dir, l'ésser humà, té consciència; però el segon sistema, la roca, no en té. A primera vista podríem pensar que en aquesta contraposició no hi ha res de particularment intrigant: els dos sistemes físics es comporten d'una manera prou diferent —el primer exhibeix consciència i el segon, no—, perquè les seues respectives estructures internes tenen igualment una profunda dissimilitud. Mentre que la roca pot ser, per exemple, una monòtona xarxa cristal·lina de carbonat càlcic, l'ésser humà en qüestió exhibeix una complicada organització interior química, anatòmica i fisiològica. Per començar, en lloc d'una mateixa substància química —el carbonat càlcic—, distribuïda uniformement, el nostre *Homo sapiens sapiens* se'ns presenta format per una immensa riquesa de diversos compostos químics de tota classe —proteïnes, lípids, hidrats de carboni, aigua, sals minerals...—, organitzats al seu torn en diversos òrgans anatòmics i fisiològics que compleixen unes funcions vitals d'una complicació i una subtileza extraordinàries. Tanmateix, quan s'analitza des del punt

* Article publicat en el vol. CLIX, núm. 627 (març 1998), p. 309-327, de la revista *Arbor*, amb el títol «Causalidad y conciencia», i traduït per Josep M. Mestres.

1. R. LAPIEDRA, «Conciencia y mecánica cuántica», *Arbor*, vol. CXLVII, núm. 577-578 (gener-febrer 1994), p. 135-155.

de vista de la física de partícules aquesta profunda diferència estructural entre tots dos sistemes, s'arriba a un nivell de la realitat on la presumpta disparitat pareix reduir-se d'una manera prou significativa: al cap i a la fi, al nivell de les partícules fonamentals, ambdós sistemes estan formats igualment per protons, electrons i neutrons, sotmesos a les mateixes interaccions bàsiques, per bé que ordenats espacialment d'una manera diferent. La pregunta és, llavors, la següent: partint dels 70 kg de protons, electrons i neutrons que constitueixen la roca, com pot ser que una mera reordenació espacial dels mateixos elements constituents —la que ens canviaria 70 kg de carbonat càlcic per 70 kg d'humanitat desbordant—, per més embullada que puga ser aquesta reorganització, és capaç de fer sorgir tota sola una nova propietat de la matèria, la consciència, tan radicalment aliena al sistema original de la roca?

Des del punt de vista de la mecànica quàntica, la perplexitat que pot provocar aquesta paradoxa es pot rebaixar així: les partícules fonamentals no són com les partícules de la física clàssica però bilions de vegades més menudes. Ben al contrari, la seua doble naturalesa d'ona i corpuscle, amb la incertesa que en deriva a l'hora d'intentar conèixer simultàniament la seua posició i la seua velocitat, és a dir, la seua trajectòria, condueixen al que l'experiència ha confirmat sense apel·lació possible: la indiscernibilitat de les partícules idèntiques en mecànica quàntica. D'aquestes sorprenents propietats quàntiques, sorprenents per a la intuïció ordinària, deriva el punt de vista següent: un ésser humà de 70 kg de pes no pot ser concebut com la pura reordenació espacial dels protons, electrons i neutrons continguts en els 70 kg de la roca contrincant, com si cada una d'aquestes partícules fonamentals *pogués mantenir en tot moment la seua pròpia individualitat*. Senzillament, la roca i l'ésser humà que ens concerneixen són dos sistemes físics diferents: punt, i ni el segon és la reordenació espacial d'unes discernibles partícules constituents de la primera, ni recíprocament. Així, concebre la consciència com una cosa que sorgeix a l'empara d'un particular agençament de mínims constituents materials regits per la física quàntica, té el petit avantatge de dissipar la perplexitat damunt enunciada, a saber, la sorpresa que, partint d'un sistema de matèria inanimada, poguéssim aconseguir una novetat tan gran, com és la consciència, amb una simple reordenació espacial dels constituents íntims d'aquell.

Consciència i ordinadors

Per un altre costat, és ben sabut² que diversos autors han sostingut reiteradament que amb els ordinadors del futur estarem en condicions de produir éssers —ordinadors— conscients. En l'article abans esmentat,³ la visió de la consciència com una cosa que emergeix a l'empara de les singulars propietats quàntiques dels constituents microscòpics de la matèria, agençats convenientment, fa pensar que, per més potents que siguin els ordinadors pareguts als existents que arribem a construir en el futur, mai no serà possible produir d'aquesta manera ni un índex de consciència. Un disseny de tipus especial, on intervinguin les propietats quàntiques de diversos elements microscòpics agençats convenientment, pareix necessari per a fer sorgir la consciència: açò és el que deu fer la natura quan, després de la fecundació, la gestació, el part i el posterior desenvolupament humà, apareix la consciència en un individu determinat.

Recentment, R. Penrose ha sostingut en dos llibres molt coneguts⁴ que no totes les funcions de la consciència podrien ser simulades amb un ordinador, ja que aquella, segons el seu parer, és capaç d'interferir veritats per procediments no computables, veritats la confirmació de les quals mai no seria assoli-

2. J. SEARLE, *Mentes, cerebros y ciencia*, Madrid, Cátedra, 1985.

3. R. LAPIEDRA, «Conciencia y mecánica cuántica», *Arbor*, vol. CXLVII, núm. 577-578 (gener-febrer 1994), p. 135-155.

4. *La nueva mente del emperador*, Madrid, Mondadori, 1991, i *Las sombras de la mente*, Madrid, Mondadori, 1996.

da per cap ordinador, ja que un ordinador assoleix els seus resultats mitjançant la iteració d'una sèrie d'operacions que se succeeixen d'acord amb les prescripcions d'un programa previ, amb capacitat d'«aprenentatge» o sense: açò és, opera d'una manera computable. Amb aquest tipus de raonament, Penrose conclou que un ordinador no serà mai capaç de generar cap tipus de consciència. El propòsit major del present article és exposar un nou raonament a favor d'aquesta conclusió, diferent del de Penrose que acabo de descriure i basat en el suggeriment anterior, segons el qual la consciència sorgeix a l'empara de les especials propietats del món quàntic. Més concretament, el raonament està basat en la singular propietat que tenen els sistemes quàntics de no tenir completament determinat el resultat dels mesuraments que s'hi realitzen, per més que els sistemes ens siguin completament coneguts en termes quàntics, és a dir, la propietat que podríem anomenar «d'absència d'una causació estricta».

El cervell i les fluctuacions quàntiques

Per avançar ací sinòpticament els termes del raonament que desenvoluparem més endavant, hem de dir que la raó fonamental per la qual els ordinadors, com a mínim els pareguts als actuals, per molt potents que arriben a ser, no seran mai éssers conscients, és perquè un ésser humà, com a arquetip d'ésser conscient, no és únicament un programa (el «programari», dit en termes informàtics), el suport material del qual (el «maquinari») és irrellevant, com han sostingut tants partidaris de l'equació:

intelligència artificial en grau superlatiu = consciència.

Al contrari, per les raons que exposarem més endavant, el «suport informàtic» forma part essencial d'aqueixa persona, la qual de cap manera no es redueix a un programa muntat sobre una entitat material que, d'una manera equivocada, se suposa irrellevant. Un hom arriba a aquesta conclusió del caràcter no espuri del «suport», a l'hora de conformar un ésser conscient, a partir del següent: diversos autors⁵ han cridat l'atenció sobre les reduïdes quantitats de neurotransmissor que s'alliberen en la sinapsi neuronal i com aquesta poquesa podria fer que el funcionament normal del cervell fos sensible a les fluctuacions quàntiques del mateix sistema o del medi. En un altre article,⁶ l'autor ha cridat l'atenció sobre la gran labilitat cerebral que derivaria de l'anterior sensibilitat del cervell davant les fluctuacions quàntiques, o en no menys mesura davant les fluctuacions clàssiques, de naturalesa estrictament clàssica (és a dir, no quàntica). Açò comportaria habitualment el trencament, dins d'uns certs límits, de la cadena causal de la vida anímica, que exhibiria així, al costat d'un flux anímic concatenat causalment, esdeveniments erràtics freqüents. Òbviament, la vida mental de la gent no és un galimaties incompreensible, de manera que aquell trencament parcial d'aquest flux mental concatenat ha de tenir els seus límits. És possible fins i tot que el cervell es trobi mínimament blindat davant les pertorbacions erràtiques, siguin de naturalesa quàntica o clàssica, a fi de preservar un mínim de causació en el seu esdevenir habitual. És a dir, és possible que, per sota d'un cert llindar, el cervell no respongui als anteriors estímuls erràtics. Una cosa així pareix suggerir el fet⁷ que, mentre que la retina de l'ull humà és sensible a l'arribada d'un únic fotó de l'espectre visible, necessita l'arribada d'almenys set d'aquests fotons per-

5. Vegeu, per exemple, el capítol 9, «¿Hay un papel para la mecánica cuántica en la actividad cerebral?», del llibre de R. PENROSE, *La nueva mente del emperador*, Madrid, Mondadori, 1991.

6. R. LAPIEDRA, «Psicoanálisis y ciencia: tres cuestiones epistemológicas», *Arbor*, vol. CLIII, núm. 603 (març 1996), p. 133-143.

7. Vegeu novament el capítol 9, «¿Hay un papel para la mecánica cuántica en la actividad cerebral?», de R. PENROSE, *La nueva mente del emperador*, Madrid, Mondadori, 1991.

què el cervell humà acusi recepció de l'impacte. De tota manera, set fotons corresponen encara a una acció del medi tan minúscula que aquest fet ens confirma en la idea anterior, segons la qual el cervell pot ser sensible a les fluctuacions quàntiques d'ell mateix i del medi, així com a les fluctuacions clàssiques d'aquest últim. Unes i altres fluctuacions —les clàssiques i les quàntiques—, impredecibles, encara que per raons diferents en un cas i en l'altre. El resultat final de totes aquestes consideracions, a propòsit de la influència del que és minúscul i alhora erràtic en el funcionament del cervell, és que un ésser humà pot ser vist com un sistema físic macroscòpic, els components microscòpics del qual estan agençats de tal manera que el sistema és capaç d'amplificar fins aquest nivell macroscòpic moltes de les petites fluctuacions impredecibles a què està subjecte, siguen aquestes fluctuacions d'origen quàntic o clàssic, quelcom —sobretot la imprecció essencial quàntica— que no estaria contingut en el «programari» al qual, segons alguns autors, ens reduïm bàsicament.

Però abans de continuar a fi d'exposar amb detall l'argument que acabem d'avançar d'una manera esquemàtica a propòsit de per què els nostres ordinadors no seran mai éssers conscients, necessitem entretenir-nos en la consideració de la propietat més revolucionària de la mecànica quàntica de totes les que fan d'aquesta disciplina un desafiament a les nostres intuïcions més primitives, a saber, segons el judici de qui escriu açò, l'absència d'una causalitat *exhaustiva* en el món quàntic. És el que considerarem en el paràgraf següent.

2. LA MECÀNICA QUÀNTICA I EL GAT DE SCHRÖDINGER

La funció d'ona i el problema del mesurament

En mecànica quàntica, tot el que podem arribar a saber d'un sistema físic, que es troba en un estat determinat, està necessàriament contingut en el que s'anomena «la seua funció d'ona», Ψ , relativa a aquest estat. Suposem llavors una certa propietat del sistema susceptible de mesurament, és a dir, una magnitud M del sistema, com per exemple la seua energia. Donat Ψ , açò és, donat el sistema en un cert estat, el mesurament de la magnitud M és susceptible de donar diversos valors possibles. En general, la mecànica quàntica no ens permet predir amb seguretat quin d'aquests valors s'obindrà en un mesurament concret de la magnitud: l'únic que la teoria ens permet dir és quins valors són possibles per al mesurament de la magnitud en qüestió i la probabilitat d'obtenir un valor qualsevol, encara que en casos especials és possible predir amb exactitud el resultat d'un mesurament determinat. La teoria no permet dir res més sobre aquest particular, a pesar que estem suposant que coneixem completament l'estat del sistema Ψ , amb la qual cosa ni tan sols podríem afirmar tot el que hem dit si, com és corrent, la situació fos que el nostre coneixement de Ψ és només incomplet. Val la pena aclarir, en haver arribat ací, que en el marc de la mecànica quàntica la impossibilitat de predir amb certesa quin dels possibles valors del mesurament s'esdevindrà, quan aquest s'efectue, no prové de cap ignorància sobre la naturalesa del sistema i el seu estat, ignorància esmenable en principi. Al contrari, com hem dit fa un moment, tot el que podem saber d'un sistema és contingut en la seua funció d'ona, de manera que si el coneixement complet de Ψ , açò és, el coneixement complet del sistema en un estat determinat, no permet preveure amb exactitud quan s'obindrà un cert resultat possible de mesurament, llavors és que aquesta indefinició relativa és constitutiva de la realitat i no la insuficiència remeiable d'un coneixement provisionalment incomplet. Ara bé, d'acord amb la teoria, una persona coneix Ψ en un temps t qualsevol —és a dir, $\Psi(t)$ — si coneix $\Psi(o)$, és a dir, si coneix Ψ en un instant original: un operador matemàtic, propi del sistema físic de què es tracte, anomenat *operador d'evolució*, que es designa per U , permet construir $\Psi(t)$ a partir de $\Psi(o)$,

mitjançant una evolució contínua. Aquesta evolució contínua i previsible de la funció d'ona, des de l'instant original $t = 0$ fins a l'instant t , s'interromp, açò no obstant, si entre els dos instants s'efectua algun tipus de mesurament en el sistema. Imaginem que es tracta del mesurament d'una certa magnitud M , i que el resultat del mesurament és m_1 , un dels possibles resultats del mesurament de l'esmentada magnitud, d'acord amb el que hem dit abans amb caràcter general. Doncs bé, com a resultat d'aquest mesurament, el sistema deixa d'evolucionar d'acord amb U —que prescriu un tipus d'evolució contínua i previsible— i salta instantàniament a un nou estat Ψ_1 , que té la propietat següent: si immediatament tornem a mesurar la magnitud M anterior, el resultat del mesurament serà, amb tota seguretat, l'anterior valor m_1 . Ja no queda ni rastre, en aquesta última operació de mesurament, de la relativa indeterminació quàntica del resultat. Lluny de la situació general en què no és possible fer més que prediccions estadístiques, ara el resultat del nostre mesurament particular en un estat del sistema particular està perfectament definit: m_1 . Aquest salt instantani del sistema des de l'estat Ψ fins a l'estat Ψ_1 es coneix com la *reducció del paquet d'ones*, indicada a vegades amb la lletra majúscula R , que es contraposa a la U amb la qual hem designat abans l'evolució contínua i previsible del sistema entre dos mesuraments qualssevol. Quan es produeix concretament aquesta «reducció»? El més raonable és pensar que la reducció R s'esdevé objectivament en ocasió de l'amplificació macroscòpica que un procés de mesurament sempre suposa, on «objectivament» significa ací 'independent de qui l'observa', subjectivament parlant, i de quan observa aqueix *qui* açò que ha registrat l'aparell de mesurament. Tanmateix, a pesar de com és de raonable aquesta posició, nombrosos autors han pretès lligar la reducció del paquet d'ones a la constatació subjectiva del resultat del mesurament, per part de l'observador, i han obert així el camí al que s'anomena *paradoxa del gat de Schrödinger*,⁸ que resumim a continuació molt breument.

El gat de Schrödinger

Suposem que dins d'una cabina aïllada de l'exterior hi ha un gat i un observador. En un moment prefixat, un cert dispositiu situat a l'interior de la cabina emet un fotó que incideix sobre una superfície semireflectora, de manera que, o el fotó incident travessa la superfície sense cap modificació, o bé és simplement reflectit, una cosa o l'altra amb la mateixa probabilitat d'ocurrència, és a dir, $1/2$. Si el fotó travessa la superfície, és absorbit per les parets de la cabina i no ocorre res de particular; però si és reflectit, incideix damunt un dispositiu que, activat d'aquesta manera, allibera una substància verinosa que mata el gat. Per la seua part, l'observador (degudament protegit del verí!) observa el gat i dedueix del seu aspecte —gat viu, gat mort— si el fotó ha travessat incòlume la superfície semireflectora —gat viu— o si, ben al contrari, ha estat reflectit —gat mort. La descripció que dóna la mecànica quàntica del que és essencial de tot açò és la següent: una vegada emès el fotó, i abans d'incidir sobre la superfície semireflectora, els dos resultats del mesurament —fotó transmès, fotó reflectit— són possibles i, en conseqüència, l'estat Ψ del fotó es correspon amb aquesta doble possibilitat. Passat el temps corresponent de vol del fotó des del seu lloc d'emissió fins al dispositiu amb el verí, una de les dues coses següents ha ocorregut necessàriament: o bé el dispositiu amb el verí ha estat activat o no ho ha estat. En qualsevol dels dos casos, la reducció corresponent del paquet d'ones ha tingut lloc. En quin moment s'ha esdevingut? Des del raonable punt de vista adoptat ací, quan el dispositiu que conté el verí ha estat activat, en el cas d'una de les dues reduccions possibles del paquet d'ones o, alternativament, quan no ha estat activat en l'instant previst pel nostre càlcul del temps de vol del fotó emès fins al dispositiu en qüestió. Però, com

8. Vegeu, per exemple, R. PENROSE, *La nueva mente del emperador*, Madrid, Mondadori, 1991.

ja hem dit abans, nombrosos autors pretenen, contràriament, que la reducció s'esdevé quan l'observador ha pres nota del resultat final del mesurament, és a dir, quan ha constatat que el gat ha mort o, alternativament, continua viu. Aquesta posició condueix trivialment a la dificultat següent: considerem un segon observador situat fora de la cabina aïllada, el qual obre la porta de la cabina al cap d'un temps després que el fotó haja consumit el seu temps de vol fins al dispositiu del verí. En inspeccionar l'interior de la cabina, observarà el gat viu o mort, i serà en aquest moment, segons els nostres autors contestats, que la reducció corresponent del paquet d'ones haurà tingut lloc per al nostre observador, sense contradicció amb el que ha observat i inferit l'observador de l'interior de la cabina. Què ocorre, tanmateix, en l'interval de temps entre just després de l'instant final de vol del fotó fins al dispositiu i un instant posterior en el qual suposem que el nostre observador exterior obre la porta de la cabina i n'inspecciona l'interior? Segons els nostres autors, la reducció del paquet d'ones R , en un sentit o en un altre, s'haurà consumat per a l'observador de l'interior de la cabina, mentre que per a l'observador exterior no hi haurà hagut encara cap reducció. Per a aquesta persona, atès que ja ha transcorregut el temps de vol del fotó fins al dispositiu o, alternativament, fins a les parets de la cabina, el sistema físic format pel fotó emès, la superfície semireflectora, el dispositiu del verí, el gat i les parets de la cabina ha entrat en algun tipus d'interacció mútua. A aquest sistema en interacció li correspon una funció d'ona Ψ , que conté els dos resultats de mesurament encara possibles per a l'observador exterior, a saber: gat viu, gat mort. Una funció d'ona que és una espècie de mescla (tècnicament, una combinació lineal) de dues funcions d'ona corresponents, respectivament, als dos estats finals possibles del gat. Ara bé, el sentit comú ens diu que en aquests instants de temps, posteriors a l'eventual activació del dispositiu fatal, el gat és o ben viu o irremeiablement mort, sense que sigui possible cap situació intermèdia: pareix, doncs, que, segons aquells autors, la realitat és ben diferent —massa— segons que la considere un observador o l'altre.

Com hem suggerit fa un moment, podem desembarassar-nos sense cap dificultat de la paradoxa anterior reconeixent simplement que la reducció del paquet d'ones té només una relació subsidiària amb l'observació subjectiva de l'observador, ja que de fet l'esmentada reducció s'esdevé en l'amplificació macroscòpica en l'aparell de mesurament, que precedeix sempre qualsevol tipus d'observació subjectiva d'un sistema microscòpic. Però, si açò és així, d'on prové la dificultat per a no admetre-ho, escometent, amb açò, el desconcert de la paradoxa de Schrödinger?

El descrèdit de la realitat quàntica

Crec que la causa de la dificultat anterior s'ha de buscar en un cert «descrèdit de la realitat quàntica» propiciat inadvertidament pel caràcter poc intuïtiu d'algunes observacions quàntiques fonamentals. Pensem, per exemple, en l'experiment de la doble esclatxa: com és ben conegut, en aquest experiment la llum prové d'un focus lluminós; en el seu camí cap a una pantalla, troba l'obstacle d'una paret opaca, en la qual tanmateix s'han fet dues estretes obertures properes i paral·leles. Si l'amplada de les dues esclatxes, la seua separació, la distància de la paret a la pantalla i la longitud d'ona de la llum emprada són les adequades, el que s'observa en la pantalla no són dues franges lluminoses paral·leles sobre un fons obscur, sinó una successió, d'intensitat decreixent, de franges paral·leles successivament clares i fosques: les anomenades *franges d'interferència*. Des del començament del segle XIX sabem explicar aquest resultat experimental suposant que la llum és una pertorbació ondulatoria que es propaga en l'espai. El problema és que aquest mateix experiment realitzat d'una altra manera, a saber, fent que la llum incident siga d'una baixíssima intensitat, canviant la pantalla per una placa fotogràfica i esperant un temps d'exposició suficientment llarg, evidencia que la llum arriba a la placa fotogràfica no distribuïda en tot un front —el

front de l'ona lluminosa—, sinó, successivament, ací i allà, d'una manera dispersa i puntual, com corpuscles de llum, els *quanta* de llum de la teoria quàntica, encara que al cap d'un temps d'exposició suficient la distribució dels impactes puntuals successius acaba recomponent el negatiu de la imatge original amb les seues franges d'interferència. I tot açò és així fins i tot en el cas que la intensitat lluminosa incident siga tan baixa que, pràcticament, els fotons vagen incidint en la placa d'un en un. D'altra banda, si fem l'experiment obturant una de les dues esclatxes, el fenomen desapareix, en el sentit que les franges d'interferència desapareixen i en el seu lloc resta la imatge única de l'única esclatxa expedita, *una franja brillant que pot arribar a cobrir part de les zones que en les franges d'interferència apareixien fosques*. Però si examinem bé açò últim, la cosa pareix especialment absurda: com diables és possible que amb dues esclatxes obertes puguin no arribar fotons a zones on accedeixen sense problema amb una sola esclatxa oberta? Certament, no per una hipotètica interacció anul·ladora entre els diversos fotons que accedeixen a la pantalla, ja que, com acabem d'indicar, les franges d'interferència del fenomen acaben visualitzant-se encara que els fotons travessin les esclatxes d'un en un, i per tant sense possibilitat d'interacció entre si. Per descomptat, l'explicació d'aquest fet es troba en la naturalesa ondulatoria de la llum, però si ens atenem exclusivament a aquesta visió, no sabrem adonar-nos dels aspectes corpusculars de l'impacte de la llum en la pantalla. Decididament, la llum es propaga com si fos una ona, distribuïda en l'espai, però s'absorbeix com si es tractés d'un corpuscle, localitzadament, i així ho assumeix la mecànica quàntica. L'única manera de no caure en una contradicció amb aquests resultats experimentals és reconèixer que el tipus de dispositiu experimental amb el qual volem accedir al mesurament d'una propietat física d'un sistema és parcialment constituït d'aqueixa mateixa realitat que volem mesurar, i així la llum se'ns presenta com a ona o com a corpuscle segons l'aparell concret amb el qual interacciona, d'acord amb el mesurament de què es tracti. De fet, en mecànica quàntica és ben conegut que la pertorbació que la mateixa operació de mesurament introdueix en el sistema objecte d'observació és parcialment incontrolable, i açò no per una malaptesa o dificultat tècnica corregible sinó com una cosa constitutiva de la mateixa realitat. D'ací a extraviar-se amb la temptació de reduir l'existència del món físic al seu mesurament fent per un observador subjectivament advertit, no hi ha més d'un pas que alguns no han dubtat a fer, encara que amb açò hagin d'escometre la incomoditat d'un gat de Schrödinger que no és viu ni és mort per a un cert observador, i encara que és cert que no podem esperar trobar cap classe d'inconsistència lògica en una posició epistemològica d'aquest tipus —la posició de reduir el món a la seua observació—, no és menys cert que no tenim més raons per a adoptar aquest reduccionisme que les que pogueren tenir Berkeley o Stirner en les seues conegudes tesis idealistes i solipsistes. El fet que ara —en mecànica quàntica— l'aparell de mesurament pertorbi d'una manera parcialment controlable el sistema observat no significa necessàriament, ni de bon tros, que el sol acte de mesurament arribi a crear cada vegada la realitat quàntica des del no-res i que aqueixa realitat s'esgoti en la percepció del resultat dels mesuraments.

Supòsits contrafàctics i ontologia quàntica

Però tornem a l'experiment imaginari del gat de Schrödinger i suposem que, arribat el moment decisiu (el moment en què finalitza el temps de vol virtual del fotó fins al dispositiu fatal) l'observador interior constata que el gat encara és viu. D'acord amb la teoria, el nostre observador pot inferir que la reducció corresponent del paquet d'ones s'ha esdevingut, la reducció que es correspon amb l'alternativa en què el fotó travessa sense cap pertorbació la superfície semireflectora. D'ací s'ha volgut inferir una altra suposada anomalia «ontològica» de la mecànica quàntica, a saber, la virtualitat operativa dels anomenats *supòsits contrafàctics*: en el cas que acabem d'invocar, que una determinada reducció del paquet

d'ones siga la conseqüència no ja d'alguna cosa que ha ocorregut, sinó, justament, d'alguna cosa que ha deixar d'ocórrer (la no-activació del dispositiu del verí, en el nostre cas). Però, de bell nou ens juga una mala passada l'obstinada aposta per la reducció del món físic a la seua mera observació. En efecte, suposem que, a part del dispositiu letal que ens mesura la presència del fotó reflectit, disposem d'un nou detector que, situat en el lloc de la paret de la cabina on incidirà el fotó si és transmès, ens en doni compte eventualment. En presència d'aquest nou dispositiu de mesurament, la reducció del paquet d'ones associat a l'estat *fotó transmès* és la conseqüència d'un fet, el mesurament corresponent, amb la seua inevitable amplificació fins al nivell macroscòpic, i no una conseqüència contrafàctica. Precisem un poc més i imaginem que el temps de vol del fotó emès fins al detector de la paret és sensiblement més llarg que el temps de vol fins al dispositiu letal per al gat. En aquest cas, com en el cas original d'un sol detector, si el gat continua viu passat l'instant crucial del final del temps de vol fins al dispositiu, sabem que ha ocorregut la reducció alternativa del paquet d'ones, tot i que el segon detector encara no haja acusat la presència del fotó transmès. És més, podem fer la segura predicció que aquest segon detector acusarà l'esmentada presència arribat el moment, just al final del corresponent temps de vol. El que ara vull fer ressaltar, pel que fa a la comprensió del fenomen, és que podem donar aquesta última versió habitual del que passa i no l'estranya versió contrafàctica, perquè no renunciem a continuar comptant amb la realitat fins i tot en els moments en què ningú no mesura res de res. Però si en tota aquesta història del gat de Schrödinger volguéssim tirar endavant aquest punt de vista «realista quàntic»⁹ fins a les últimes conseqüències, i crec que val la pena de fer-ho si volem pensar i imaginar la realitat de la manera més habitual i menys paradoxal possible, hauríem d'afirmar que, fins i tot en el supòsit que no disposem del segon detector de la paret de la cabina, si es produeix la reducció del paquet d'ones corresponent a l'estat *fotó transmès* (és a dir, si el gat *no mor*), aquesta reducció continuarà sent no un producte contrafàctic, sinó el resultat de la transició quàntica que el fotó transmès haurà induït en la paret en ser absorbit. I tot açò a pesar que no hi hagi cap mesurament i a pesar de l'absència de qualsevol amplificació macroscòpica de l'anterior transició microscòpica. Si algú, des d'una comprensible actitud positivista, preguntés què pot significar que s'esdevingui una cosa que ningú no mesura ni observa, entenc que la dificultat (o la facilitat) que hi pot haver per a donar-li una resposta seria la mateixa que trobaríem per a contestar a algú que preguntés pel significat de tot allò que en la vida ordinària i no tan ordinària es dona per existent sense que ningú no en tinga notícia.

Una altra paradoxa sobre el gat de Schrödinger

Però encara podem afegir alguna cosa més a propòsit de les suposades bondats del nostre «realisme» a l'hora de pensar la realitat quàntica. En efecte, considerem la següent nova paradoxa relativa a l'experiència imaginària del gat de Schrödinger. En la descripció que hem fet d'aquesta experiència fins ara, el sistema objecte de mesurament estava format, parlant esquemàticament, pel fotó emès, la superfície semireflectora, el dispositiu amb el verí i la paret de la cabina. Al començament, el fotó encara no ha interaccionat amb el dispositiu ni amb la paret, però acabarà interaccionant amb l'un o amb l'altra i donarà lloc al corresponent resultat de mesurament a través de l'aparell de mesurament *gat + observador*, amb la consegüent reducció *R* de l'estat del sistema observat. Ara bé, res no impedeix que considerem el sistema total format pel sistema anterior observat —fotó, superfície, dispositiu i paret— i l'aparell de

9. F. ROHRlich, «La interacción ciencia-sociedad a la luz de la mecánica cuántica y de su interpretación», a L. NAVARRO VEGUILLAS (ed.), *El siglo de la física*, Barcelona, Tusquets, 1992.

mesurament *gat + observador*, i res no hauria d'impedir que apliquéssim ara la mecànica quàntica a aquest sistema total. Segons els partidaris del procés de mesurament com a generador en exclusiva de la reducció R , ja que sobre el sistema total ningú no fa cap mesurament, l'evolució del sistema hauria de ser regida per l'operador continu U , sense cap rastre de discontinuïtat ni d'indeterminació, la qual cosa es contradia amb la reducció R que ha experimentat la part del sistema total que inicialment havíem considerat per si sola com a sistema a observar. Com sempre, la dificultat apuntada simplement desapareix en considerar que la reducció experimentada pel sistema original tenia l'origen en la interacció «real» fotó-dispositiu del verí o, alternativament, fotó-paret; i açò tant si algú observés les conseqüències de la dita interacció o com si no ho fes ningú, ja que aquella interacció és completament independent de si considerem com un nou sistema el format per l'original més l'aparell de mesurament.

Conclusió

En conclusió, podem pensar el món quàntic admetent que s'hi esdevenen contínuament transicions quàntiques amb les seues corresponents reduccions R del paquet d'ones que hem d'admetre com a existents encara que ningú no mesuri tals transicions i encara que no se'n faça cap amplificació macroscòpica. Amb aquesta visió, ni entrem en contradicció amb l'experiència, ni caiem en cap inconsistència. Però, al costat de l'esmentada reducció i mentre el sistema no experimente cap de les esmentades transicions, l'evolució del seu estat Ψ transcorrerà d'acord amb l'operador continu U i, per tant, d'una manera totalment previsible, en principi. Utilitzarem aqueixes conclusions a continuació.

3. CAUSALITAT I ORDINADORS

Acausació i mecànica quàntica

Si Ψ es redueix bruscament —d'acord amb R — per transicions quàntiques, independentment de si amb açò s'ha realitzat o no un mesurament, llavors, en mecànica quàntica es produeix una *acausació*, una falta de causació, relativa: relativa en el sentit que, a partir de l'estat Ψ , són possibles certes coses prèviament determinades, i no unes altres, encara que, en general, cap de les possibles té, d'entrada, assegurada la materialització, per raons de principi. Una acausació constitutiva de la pròpia realitat quàntica, que es converteix en quelcom pensable al marge del procés de mesurament i no solament en ocasió d'aquest. Aquesta acausació relativa és, al meu entendre, el contingut epistemològic més revolucionari de la mecànica quàntica.

Podríem dir, d'acord amb aquesta acausació relativa, que el relat del Gènesi es queda curt: el món no es creà en el passat, una vegada per totes. Cada dia es continua creant per mitjà de la acausació relativa del món quàntic. El futur no està, doncs, definit, com pretenia Laplace i com encara permet, en principi, la teoria del caos: el futur està en part indefinit i pendent de la seua dosi regular de creació, diària. Més concretament: en molts sistemes macroscòpics, les fluctuacions quàntiques relativament impredecibles dels seus components microscòpics seran fatalment erosionades per les mitjanes sobre grans nombres que regulen l'evolució d'aquests macrosistemes, de manera que a la fi pot no quedar ni rastre macroscòpic de la indeterminació quàntica bàsica. Si no fos així, no podria existir una física clàssica determinista amb tants èxits en el seu haver a l'hora de descriure la realitat. Però és obvi que no tots els sistemes macroscòpics es comportaran d'aquesta manera, com a laminadors de les fluctuacions quàntiques subjacents, ja que en aquest cas la funció del mesurament en mecànica quàntica seria impossible: en efecte, mesurar una propietat quàntica és justament amplificar una transició quàntica fins

al nivell macroscòpic, fins a deixar modificat l'estat de l'aparell de mesurament, que és, en última instància, un sistema macroscòpic. Hi ha, doncs, sistemes macroscòpics que tradueixen en la seua evolució la relativa i bàsica indeterminació quàntica, i els animals, en particular, podrien ser exemples quotidians de tals sistemes traductors, la qual cosa es correspondria molt bé amb la dificultat especial que tenim per a predir-ne el comportament amb un poc de detall, sobretot en el cas dels animals superiors.

Alguna cosa més que un programa informàtic

Armats amb aquest punt de vista d'un món parcialment acausat, considerem ara un ésser conscient: podem concebre'l com un acoblament macroscòpic de constituents microscòpics; aquest acoblament té l'especificitat de traduir regularment fins a nivells macroscòpics les transicions quàntiques relativament incausades pel mateix cervell o induïdes en ell per les fluctuacions mínimes del medi exterior que l'envolta. Llavors, com volia R. Penrose,¹⁰ però per unes altres raons, es dedueix sense dificultat del que hem suposat que el total de les accions conscients no podrà ser mai simulat completament pel programa d'un ordinador: hi pot haver en nosaltres un programa i podem admetre que de fet hi és, però encastat en un «maquinari» específic que, magnificant regularment fins al nivell macroscòpic certes transicions quàntiques, parcialment incausades, impedeix, sens perjudici d'altres dificultats afegides, que puguem preveure amb certesa el nostre comportament futur, previsió que sí que podríem fer en principi si únicament tinguéssim en compte el programa que parcialment, però només parcialment, ens constitueix: podem, així, pensar que la consciència és el programa (el «programari»), més la relativa i contínua indeterminació d'un «maquinari» quàntic inevitable, en què s'assentaria la llibertat interior, el sentiment de la qual resultaria ser així una realitat, i no pura il·lusió.

Per una part, s'ha especulat de tant en tant sobre la possibilitat de poder viatjar a la velocitat de la llum pel procediment següent: es tractaria d'enviar al nostre punt de destinació (posem un planeta remot d'alguna estrella a anys llum de distància), per mitjà de les oportunes ones electromagnètiques, la informació codificada del programa que suposadament ens constitueix. Recollida aquesta informació per algun ésser suficientment expert, resident en aquell planeta, podria reconstruir el programa i fer-lo operatiu muntant-lo sobre un suport convenient (que al final resultaria indiferent, mentre fos eficaç com a tal suport), amb la qual cosa heu-nos ací actius i plens de vida en el llunyà planeta de la nostra destinació. Pel mateix procediment de muntar, ara ací mateix, al planeta Terra, el nostre programa sobre un suport eficaç, el que siga, podríem clonar-nos indefinidament sota les aparences materials més diverses però irrellevants. Òbviament, no pareix que, fins en el supòsit que fóssim essencialment un programa, un projecte així seria tècnicament viable, a causa de l'enorme informació i complicació que implicaria; però, en qualsevol cas, m'interessa subratllar que, d'acord amb el punt de vista ací adoptat, tot açò és impossible per raons de principi. En efecte, el subjecte conscient no és merament un programa; és un sistema quàntic. Com a tal sistema quàntic, el màxim que en podem arribar a conèixer és el seu estat, la seua funció d'ona, Ψ , i per tant el màxim que podem duplicar o transmetre és Ψ . Però Ψ no sempre evoluciona d'una manera determinista, és a dir, segons U ; a vegades es *redueix* d'acord amb R , açò és, d'una manera discontinua i parcialment imprevisible. Així, doncs, una mateixa Ψ inicial ací i allà acabarà evolucionant diferentment a causa de R . En particular, no és possible construir una còpia d'una persona. Encara que en un instant donat arribéssim a construir un doble del seu Ψ , que ja és suposar, totes dues Ψ , l'original i la seua rèplica exacta, la persona original i el seu doble exacte, tan exac-

10. *La nueva mente del emperador*, Madrid, Mondadori, 1991, i *Las sombras de la mente*, Madrid, Mondadori, 1996.

te com ho permet la mecànica quàntica, acabarien discorrent per camins diferents, en un grau o en un altre, just com suggeriria el fet de prendre'ns seriosament la nostra sensació de llibertat interior.

S'hi podria objectar, des del mateix punt de vista de la mecànica quàntica, que no tot estat quàntic està destinat a experimentar la reducció de R ; que hi ha estats quàntics l'evolució dels quals es conforma al futur totalment previsible que li dicta el seu operador d'evolució U . Així és, en efecte; però entre tals sistemes d'evolució quàntica previsible no hi ha, en general, els sistemes no aïllats, els sistemes que interaccionen amb el medi (entre els quals hi ha, per exemple, els éssers vius). La raó d'aquest fet és que una interacció quàntica és sempre l'intercanvi d'un o de diversos *quanta* d'energia entre els sistemes físics en interacció; la qual cosa, per a un sistema microscòpic, es tradueix en una transició quàntica relativament impredecible d'una manera general. D'altra banda, podem veure un sistema no aïllat que experimenta la reducció R i la part del medi amb què interacciona com un nou sistema global, el qual experimentarà ara aquesta reducció R centrada en una de les seues parts. Però el sistema global sí que està aïllat, per hipòtesi: hem de concloure, doncs, que en tot cas els sistemes quàntics que experimenten l'acció de R no són solament els sistemes que interaccionen amb l'exterior.

Una possible objecció

Per acabar aquest paràgraf, pareix oportú consignar ací que la major part dels arguments que he anat desenvolupant fins ara, en suport de les meves afirmacions, no tindrien cap sentit des del punt de vista més ortodox de la interpretació de la mecànica quàntica, ja que en aquesta interpretació l'aparell de mesurament no és cap sistema quàntic que, per la seua gran magnitud, es comportaria en el límit com un sistema propi de la física clàssica, sinó una dada constituïda clàssicament a partir de la qual fem prediccions i observacions quàntiques i a la qual no tindria sentit pretendre aplicar la mecànica quàntica. En aquesta interpretació, tota la *realitat* del món quàntic es redueix a les lectures (lectures que a vegades es pretenen reduir a les subjectivament constatades per l'observador!) sobre l'escala de l'aparell de mesurament en ocasió de les diferents observacions. Però ja m'he referit extensament a una visió pareguda en tot el paràgraf anterior i, en particular, a la seua dificultat amb un gat de Schrödinger que no és ni viu ni mort per a un cert observador.

4. CONSIDERACIONS FINALS

Variables ocultes

En les pàgines anteriors he desenvolupat la pretensió segons la qual la causalitat no regeix d'una manera estricta en el decurs de la realitat *més ordinària*, açò és, hi ha fets en l'*esdevenir diari* que, a causa de la mecànica quàntica, no se segueixen necessàriament de cap antecedent o conjunt d'antecedents. Aquesta afirmació pareix, a primera vista, suficientment exòtica, per no dir una altra cosa, com perquè més d'un lector lamenta haver-me seguit fins ací, al llarg d'un tema àrid o com a mínim difícil, per a veure rubricat al final, sense cap pudor, un poc trellat com aquest. Fins i tot es podria argumentar que, des d'un punt de vista merament heurístic, l'anterior pretensió ha de ser desautoritzada i prou, ja que assumir-la significa renunciar d'entrada a buscar, i potser a trobar un dia, les causes recòndites d'un fenomen, el que siga, fins aquell moment ocultes a la reflexió i a l'observació més sagaces. De fet, la història de la mecànica quàntica és plena d'intents de substitució de la teoria, considerada així una teoria provisional, per teories alternatives en què la relativa imprecció del resultat del mesurament perdria tota entitat *ontològica* per a reduir-se a la conseqüència banal, conceptualment parlant, del desconeixement

provisional de part de les variables que defineixen els fenòmens quàntics: són justament les teories que es coneixen amb el nom genèric de *teories de variables ocultes*. Fou el gran mèrit de J. S. Bell, en 1964, haver posat de manifest que la mecànica quàntica, d'una part, i determinades famílies de teories de variables ocultes, de l'altra, predeien resultats diferents per al resultat observable d'un cert tipus d'experiments, amb la qual cosa es feia possible la discriminació experimental entre aquesta teoria i les altres. Les esmentades experiències foren efectivament realitzades posteriorment per diversos autors. Els resultats més concloents han estat els obtinguts per A. Aspect en 1986, i el resultat final, una confirmació del que havia previst la mecànica quàntica, en contra del que havien previst una àmplia família de teories de variables ocultes, que així han quedat descartades d'una manera experimental.¹¹ És cert, d'altra banda, que altres teories de variables ocultes, diferents de les descartades d'aquesta manera, són capaces de reproduir, com fa la mecànica quàntica, els resultats d'aquestes experiències, però totes aquestes teories afronten la formidable dificultat de suposar accions físiques que es propaguen en l'espai a velocitats superiors a la de la llum, cosa que no ha estat mai posada de manifest fins ara en l'experiència i cosa que, si fos acceptada, comportaria en la física problemes teòrics de singular volada.

Creació i llibertat interior

En definitiva, la indeterminació quàntica és, en aquest moment, molt més que una especulació agosarada: és una peça perfectament encaixada d'una teoria física, la mecànica quàntica, que té en el seu haver un impressionant conjunt d'acords amb l'experiència, sense parangó possible amb cap altra teoria del món natural i sense cap fracàs fins a la data. Però una peça ajustada al seu torn amb èxit, d'una manera específica, dins de la teoria, com acabem d'explicar. A partir d'aquesta, en les pàgines anteriors he intentat fer plausible una visió de l'esdevenir universal on el món es crea contínuament a si mateix, i on, en particular, la nostra *llibertat* interior i l'acció que en deriva, com tal vegada la vida animal o fins i tot la vida *tout court*, podrien contribuir d'una manera quotidiana a aqueixa creació. Un esdevenir universal, doncs, no certament arbitrari, però tampoc completament determinat en el seu futur. Més enllà del caos i les seues dificultats purament pràctiques de predicció exhaustiva, no tot està escrit, encara que el que resta per escriure no admeti el format d'un llibre qualsevol. Que lluny que som, així, d'una visió tan estranya i increïble, i tan freqüentment no tinguda per tal, com la que històricament ha pretès que tot, en els seus més mínims detalls, està des de sempre escrit en el suposat llibre de la Història!

Agraïments

Agraeixo als professors Eliseu Borràs i Josep Ros, de la Universitat de València, la lectura crítica del text, les seues encertades observacions i les plaents discussions sobre aquest tema, però la responsabilitat d'eventuals errors seria només el fruit del meu personal entossudiment.

També vull agrair al professor Miguel Ángel Quintanilla, del Departament de Lògica i Filosofia de la Ciència de la Universitat de Salamanca, la invitació de què em féu objecte fa un cert temps, amb el professor Chus Martín, per a assistir a un seminari informal juntament amb altres professors del Departament, sobre els temes de què s'ocupa el present article. Algunes de les idees ací desenvolupades i la determinació d'exposar-les raonadament algun dia han estat la meua reacció als estímuls d'aquella motivadora sessió.

11. El lector pot trobar més detalls sobre aquesta qüestió en l'obra de R. PENROSE, *La nueva mente del emperador*, Madrid, Mondadori, 1991, reiteradament esmentada en aquest article.