

Causalidad y conciencia

Ramón Lapiedra

Arbor CLIX, 627 (Marzo 1998), 309-327 pp.

Se interpreta la Mecánica Cuántica y en particular el experimento mental del «gato de Schrödinger» adoptando un punto de vista «realista cuántico». Con ello la reducción del paquete de ondas viene asociada a la amplificación macroscópica de las transiciones cuánticas, y sólo subsidiariamente al proceso de medida en cuanto éste implica necesariamente una de tales amplificaciones. Dichas amplificaciones son relativamente incausadas y esta acausación relativa invade el acaecer universal y en particular la vida y la conciencia. La conciencia no puede ser simulada, pues, por un ordenador, el cual opera de acuerdo con las instrucciones de un programa definido previamente, con capacidad de aprendizaje o sin él. La conciencia, en cambio, crea continuamente nueva realidad, dentro de ciertos límites, y el propio mundo está creándose parcialmente a sí mismo en todo momento.

1. Introducción: conciencia, Mecánica Cuántica y ordenadores

La conciencia y el mundo cuántico

En un anterior artículo publicado en esta misma revista ¹, el autor sugiere que la conciencia surge al amparo de las singulares propiedades del mundo cuántico. Repetimos aquí, brevemente, el razonamiento que nos condujo a dicha sugerencia: imaginemos un ser humano como paradigma de un ser consciente, alguien de 70 kg de peso, pongamos

por caso, y al lado consideremos otros 70 kg de materia inanimada, en forma de una roca, por ejemplo. El sistema físico de los primeros 70 kg, esto es, el ser humano, tiene conciencia, pero el segundo sistema, la roca, no la tiene. A primera vista podría pensarse que en esta contraposición no hay nada de particularmente intrigante: ambos sistemas físicos se comportan de forma asaz diferente —el primero exhibe conciencia y el segundo no— porque sus respectivas estructuras internas son igualmente de una profunda disimilaridad. Mientras la roca puede ser, por ejemplo, una monótona red cristalina de carbonato cálcico, el ser humano en cuestión exhibe una complicada organización interior química, anatómica y fisiológica. Para empezar, en vez de una misma sustancia química —el carbonato cálcico— distribuida uniformemente, nuestro «homo sapiens sapiens» se nos presenta formado por una inmensa riqueza de variados compuestos químicos de todo tipo, proteínas, lípidos, hidratos de carbono, agua, sales minerales..., organizados a su vez en variados órganos anatómicos y fisiológicos cumpliendo unas funciones vitales de una complicación y sutileza extraordinarias. Sin embargo, cuando se analiza desde el punto de vista de la Física de partículas esta profunda diferencia estructural entre ambos sistemas, se alcanza un nivel de la realidad donde la presunta disparidad parece reducirse de manera harto significativa: después de todo, al nivel de las partículas fundamentales, ambos sistemas están formados igualmente de protones, electrones y neutrones, sometidos a las mismas interacciones básicas, sólo que ordenados espacialmente de manera diferente. La pregunta es, entonces, la siguiente: partamos de los 70 kg de protones, electrones y neutrones, que constituyen la roca, ¿cómo es que una mera reordenación espacial de los mismos elementos constituyentes —la que nos cambiaría 70 kg de carbonato cálcico por 70 kg de humanidad rebosante—, por más enmarañada que pueda ser dicha reorganización, es capaz de hacer surgir por sí sola una nueva propiedad de la materia, la conciencia, tan radicalmente ajena al sistema original de la roca?

Desde el punto de vista de la Mecánica Cuántica la perplejidad a que pueda dar lugar esta paradoja puede rebajarse así: las partículas fundamentales no son como las partículas de la Física clásica, sólo que billones de veces más pequeñas. Bien al contrario, su doble naturaleza de onda y corpúsculo, con la incertidumbre que de ello se deriva a la hora de intentar conocer simultáneamente su posición y su velocidad, esto es, su trayectoria, conducen a lo que la experiencia ha confirmado sin apelación posible: la indiscernibilidad de las partículas idénticas en Mecánica Cuántica. De estas sorprendentes propiedades

cuánticas, sorprendentes para la intuición ordinaria, deriva el punto de vista siguiente: un ser humano de 70 kg de peso no puede ser concebido como la pura reordenación espacial de los protones, electrones y neutrones contenidos en los 70 kg de la roca contricante, como si cada una de estas partículas fundamentales *pudiera mantener en todo momento su propia individualidad*. Sencillamente, la roca y el ser humano que nos conciernen son dos sistemas físicos diferentes: punto, y ni el segundo es la reordenación espacial de unas discernibles partículas constituyentes de la primera, ni recíprocamente. Así, concebir la conciencia como algo que surge al amparo de un particular agenciamiento de mínimos constituyentes materiales, regidos por la Física cuántica, tiene la pequeña ventaja de disipar la perplejidad antes enunciada, a saber, la sorpresa de que, partiendo de un sistema de materia inanimada, pudiéramos conseguir una novedad tan grande, como es la conciencia, con una simple reordenación espacial de los constituyentes íntimos de aquel.

Conciencia y ordenadores

Por otra parte, es bien sabido ² como diversos autores han sostenido de manera reiterada, que con los ordenadores del futuro estaremos en condiciones de producir seres —ordenadores— conscientes. En el artículo ¹ antes citado, la visión de la conciencia como algo que emerge al amparo de las singulares propiedades cuánticas de los constituyentes microscópicos de la materia, agenciados convenientemente, hace pensar que por más potentes que sean los ordenadores semejantes a los existentes que llegemos a construir en el futuro, nunca nos será posible producir de ese modo un solo atisbo de conciencia. Algún diseño de tipo especial, donde intervengan las propiedades cuánticas de diversos elementos microscópicos agenciados convenientemente, parece necesario para hacer surgir la conciencia: eso es lo que debe hacer la naturaleza cuando después de la fecundación, gestación, parto y posterior desarrollo humano aparece la conciencia en un determinado individuo.

Recientemente, R. Penrose ha sostenido en dos libros harto conocidos ^{3,4} que no todas las funciones de la conciencia podrían ser simuladas con un ordenador, ya que aquella, a su parecer, es capaz de colegir verdades por procedimientos no computables, verdades cuya confirmación nunca sería alcanzada por ordenador alguno, puesto que un ordenador alcanza sus resultados mediante la iteración de una serie de operaciones que se suceden de acuerdo con las prescripciones de un

programa previo, con o sin capacidad de «aprendizaje»: esto es, procede de una manera computable. Con este tipo de razonamiento, Penrose concluye que un ordenador no será nunca capaz de generar ningún tipo de conciencia. El propósito mayor del presente artículo es exponer un nuevo razonamiento a favor de esta conclusión, distinto al de Penrose que acabo de describir y basado en la sugerencia anterior, según la cual la conciencia surge al amparo de las especiales propiedades del mundo cuántico. Más concretamente, el razonamiento está basado en la singular propiedad que tienen los sistemas cuánticos de no tener completamente determinado el resultado de las medidas que se realicen sobre los mismos, por más que los sistemas nos sean completamente conocidos en términos cuánticos, es decir la propiedad que podríamos denominar de ausencia de una causación estricta.

El cerebro y las fluctuaciones cuánticas

Para avanzar aquí sinópticamente los términos del razonamiento que desarrollaremos más tarde, digamos que la razón fundamental por la cual los ordenadores, como mínimo los semejantes a los actuales, por más potentes que lleguen a ser, no serán jamás seres conscientes, es porque un ser humano, como arquetipo de ser consciente, no es únicamente un programa (el «software», dicho en términos informáticos), cuyo soporte material (el «hardware») es irrelevante, como han sostenido tantos partidarios de la ecuación:

inteligencia artificial en grado superlativo = conciencia.

Al contrario, por las razones que expondremos más adelante, el «soporte informático» forma parte esencial de esa persona, la cual de ningún modo se reduce a un programa montado sobre una entidad material que, de manera equivocada, se supone irrelevante. Uno llega a esta conclusión del carácter no espúreo del «soporte», a la hora de conformar un ser consciente, a partir de lo siguiente: diversos autores (ver referencia (3), capítulo 9, «*¿Hay un papel para la Mecánica Cuántica en la actividad cerebral?*») han llamado la atención sobre las pequeñas cantidades de neurotransmisor que se liberan en la sinapsis neuronal y cómo esta pequeñez podría hacer que el funcionamiento normal del cerebro fuera sensible a las fluctuaciones cuánticas del propio sistema o del medio. En otro artículo⁵, el autor ha llamado la atención sobre la gran labilidad cerebral que se derivaría de la anterior sensibilidad del cerebro frente a las fluctuaciones cuánticas, o en no menor medida

frente a las fluctuaciones caóticas, de naturaleza estrictamente clásica (esto es, no cuántica). Ello comportaría habitualmente el rompimiento, dentro de ciertos límites, de la cadena causal de la vida anímica, que exhibiría así, al lado de un flujo anímico concatenado causalmente, acaeceres erráticos frecuentes. Obviamente, la vida mental de la gente no es un galimatías incomprensible, de manera que aquel rompimiento parcial de este flujo mental concatenado ha de tener sus límites. Es posible incluso que el cerebro se encuentre mínimamente blindado frente a las perturbaciones erráticas, sean de naturaleza cuántica o clásica, a fin de preservar un mínimo de causación en su acontecer habitual. Es decir, es posible que por debajo de un cierto umbral el cerebro no responda a los anteriores estímulos erráticos. Algo así parece sugerir el hecho (ver de nuevo la referencia (3), capítulo 9, «¿Hay un papel para la Mecánica Cuántica en la actividad cerebral?») que mientras la retina del ojo humano es sensible a la llegada de un solo fotón del espectro visible, se necesita la llegada simultánea de al menos 7 de estos fotones para que el cerebro humano acuse recibo del impacto. De todas maneras, 7 fotones corresponden aún a una acción del medio tan minúscula que este hecho nos confirma en la idea anterior según la cual el cerebro puede ser sensible a las fluctuaciones cuánticas de sí mismo y del medio, así como a las fluctuaciones clásicas de este último. Unas y otras fluctuaciones —las clásicas y las cuánticas— impredecibles, aunque por razones distintas en un caso y el otro. El resultado final de todas estas consideraciones, a propósito de la influencia de lo minúsculo y al mismo tiempo errático en el funcionamiento del cerebro, es que un ser humano puede ser visto como un sistema físico macroscópico, cuyos componentes microscópicos están agenciados de manera tal que el sistema es capaz de amplificar hasta ese nivel macroscópico muchas de las pequeñas fluctuaciones impredecibles a que está sujeto, sean estas fluctuaciones de origen cuántico o clásico, algo —sobre todo la impredeción esencial cuántica— que no estaría contenido en el «software» al que según algunos nos reducimos básicamente.

Pero antes de continuar para exponer con detalle el argumento que acabamos de avanzar de manera esquemática, a propósito de por qué nuestros ordenadores no serán nunca seres conscientes, necesitamos demorarnos en la consideración de la propiedad más revolucionaria de la Mecánica Cuántica de todas las que hacen de esta disciplina un desafío a nuestras intuiciones más primitivas, a saber, a juicio de quien esto escribe, la ausencia de una causalidad *exhaustiva* en el mundo cuántico. Es lo que vamos a considerar en el próximo párrafo.

2. La Mecánica Cuántica y el gato de Schrödinger

La función de onda y el problema de la medida

En Mecánica Cuántica todo lo que podemos llegar a saber de un sistema físico, que se encuentra en un determinado estado, está necesariamente contenido en lo que se llama su función de onda, Ψ , relativa a ese estado. Supongamos entonces una cierta propiedad del sistema susceptible de medida, esto es una magnitud, M , del sistema, como por ejemplo su energía. Dado Ψ , esto es, dado el sistema en un cierto estado, la medida de la magnitud, M , es susceptible de dar diversos valores posibles. En general, la Mecánica Cuántica no nos permite predecir con seguridad cuál de estos valores se obtendrá en una medida concreta de la magnitud: lo único que la teoría nos permite decir es qué valores son posibles para la medida de la magnitud en cuestión y la probabilidad de que se obtenga uno cualquiera de entre ellos, aunque en casos especiales es posible predecir con exactitud el resultado de una determinada medida. La teoría no permite decir nada más sobre el particular, a pesar de que estamos suponiendo que conocemos completamente el estado del sistema, Ψ , con lo que ni siquiera todo lo dicho podría afirmarse si, como es corriente, la situación fuera que nuestro conocimiento de Ψ es sólo incompleto. Vale la pena aclarar, al llegar aquí, que en el marco de la Mecánica Cuántica la imposibilidad de predecir con certeza cual de los posibles valores de la medida tendrá lugar, cuando ésta se efectúe, no proviene de alguna ignorancia sobre la naturaleza del sistema y su estado, ignorancia subsanable en principio. Al contrario, como hemos dicho hace un momento, todo lo que podemos saber de un sistema está contenido en su función de onda, de manera que si el conocimiento completo de Ψ , esto es, el conocimiento completo del sistema en un estado determinado, no permite prever con exactitud cuando se obtendrá un cierto resultado posible de medida, entonces es que esa indefinición relativa es constitutiva de la realidad y no la insuficiencia remediable de un conocimiento provisionalmente incompleto. Ahora bien, de acuerdo con la teoría, uno conoce ψ en un tiempo t cualquiera, esto es $\Psi(t)$, si conoce $\Psi(o)$, es decir, si conoce Ψ en un instante original: un operador matemático, propio del sistema físico de que se trate, llamado operador de evolución, que se designa por U , permite construir $\psi(t)$ a partir de $\Psi(o)$, mediante una evolución continua. Esta evolución continua y predecible de la función de onda, desde el instante original $t=0$ hasta el instante t , se quiebra no obstante si entre ambos

instantes se efectúa algún tipo de medida en el sistema. Imaginemos que se trata de la medida de una cierta magnitud, M , y que el resultado de la medida es m_1 , uno de los posibles resultados de la medida de dicha magnitud, de acuerdo con lo dicho antes con carácter general. Pues bien, como resultado de dicha medida, el sistema deja de evolucionar de acuerdo con U , que prescribe un tipo de evolución continua y previsible, y salta instantáneamente a un nuevo estado Ψ_1 , que tiene la siguiente propiedad: si inmediatamente volvemos a medir la anterior magnitud, M , el resultado de la medida será con toda seguridad el anterior valor m_1 . Ya no queda ni rastro, en esta última operación de medida, de la relativa indeterminación cuántica del resultado. Lejos de la situación general en que no es posible hacer más que predicciones estadísticas, ahora, el resultado de nuestra medida particular en un estado del sistema particular está perfectamente definido: m_1 . Este salto instantáneo del sistema desde el estado ψ hasta el estado ψ_1 , se conoce como la «reducción del paquete de ondas», indicada a veces con la letra mayúscula R , que se contrapone así a la U con la que hemos designado antes la evolución continua y predecible del sistema entre dos medidas cualesquiera. ¿Cuándo se produce concretamente dicha «reducción»? Lo razonable es pensar que la reducción, R , tiene lugar objetivamente con ocasión de la amplificación macroscópica que un proceso de medida siempre supone, donde «objetivamente» significa aquí independiente de quien lo observa, subjetivamente hablando, y de cuándo observa ese quien lo registrado por el aparato de medida. Sin embargo, a pesar de lo razonable de esta posición, numerosos autores han pretendido ligar la reducción del paquete de ondas a la constatación subjetiva del resultado de la medida, por parte del observador, abriendo así el camino a lo que se llama la paradoja del «gato de Schrödinger» (ver referencia (3), por ejemplo), que resumimos a continuación muy brevemente.

El gato de Schrödinger

Supongamos que dentro de una cabina aislada del exterior se encuentran un gato y un observador. En un momento prefijado un cierto dispositivo, situado en el interior de la cabina, emite un fotón que incide sobre una superficie semi-reflectora, de manera que o el fotón incidente atraviesa la superficie sin modificación alguna o bien es sencillamente reflejado, una cosa o la otra con la misma probabilidad de ocurrencia, esto es, $1/2$. Si el fotón atraviesa la superficie, es absorbido por las paredes de la cabina y nada de particular ocurre, pero si es

reflejado incide sobre un dispositivo que, así activado, libera una sustancia venenosa que da muerte al gato. Por su parte el observador (¡debidamente protegido del veneno!) observa el gato y deduce de su aspecto —gato vivo, gato muerto— si el fotón ha atravesado incólume la superficie semi-reflectante —gato vivo— o si por el contrario ha sido reflejado —gato muerto—. La descripción que da la Mecánica Cuántica de lo esencial de todo esto es la siguiente: una vez emitido el fotón y antes de incidir sobre la superficie semi-reflectante los dos resultados de medida —fotón transmitido, fotón reflejado— son posibles y en consecuencia el estado, ψ , del fotón se corresponde con esta doble posibilidad. Pasado el correspondiente tiempo de vuelo del fotón desde su lugar de emisión hasta el dispositivo con el veneno, una de las dos siguientes cosas ha ocurrido necesariamente: o bien el dispositivo ha sido activado o no lo ha sido. En cualquiera de los dos casos la correspondiente reducción del paquete de ondas ha tenido lugar. ¿En qué momento ha tenido lugar? Desde el razonable punto de vista adoptado aquí, cuando el dispositivo conteniendo el veneno ha sido activado, en el caso de una de la dos reducciones posibles del paquete de ondas o, alternativamente, cuando no ha sido activado en el instante previsto por nuestro cálculo del tiempo de vuelo del fotón emitido hasta el dispositivo en cuestión. Pero, como ya hemos dicho antes, numerosos autores pretenden contrariamente que la reducción acontece cuando el observador ha tomado nota del resultado final de la medida, es decir cuando ha constatado que el gato ha muerto o, alternativamente, sigue vivo. Esta posición conduce trivialmente a la siguiente dificultad: consideremos un segundo observador situado fuera de la cabina aislada, quien abre la puerta de la cabina algún tiempo después que el fotón haya consumado su tiempo de vuelo hasta el dispositivo del veneno. Al inspeccionar el interior de la cabina observará el gato vivo o muerto y será en este momento, según nuestros autores contestados, cuando la correspondiente reducción del paquete de ondas habrá tenido lugar para nuestro observador, sin contradicción con lo observado y colegido por el observador del interior de la cabina. ¿Qué ocurre, sin embargo, en el intervalo de tiempo entre justo después del instante final de vuelo del fotón hasta el dispositivo y un instante posterior en que suponemos que nuestro observador exterior abre la puerta de la cabina e inspecciona su interior? Según nuestros autores, la reducción del paquete de ondas, R , en uno u otro sentido, se habrá consumado para el observador del interior de la cabina, mientras que para el observador exterior no ha habido aun ninguna reducción. Para él, puesto que ya ha transcurrido el tiempo de vuelo del fotón hasta el dispositivo o alternativamente las

paredes de la cabina, el sistema físico formado por el fotón emitido, la superficie reflectora, el dispositivo del veneno, el gato y las paredes de la cabina ha entrado en algún tipo de interacción mutua. A este sistema en interacción le corresponde una función de onda, ψ , que contiene los dos resultados de medida aún posibles para el observador exterior, a saber, gato vivo, gato muerto. Una función de onda que es una especie de mezcla (técnicamente, una combinación lineal) de dos funciones de onda correspondientes, respectivamente, a los dos estados finales posibles del gato. Ahora bien, el sentido común nos dice que en esos instantes de tiempo, posteriores a la eventual activación del dispositivo fatal, el gato está o bien vivo o irremediablemente muerto, sin que quepa ninguna situación intermedia: parece pues que, según aquellos autores, la realidad es bien distinta —demasiado— según la considere uno u otro observador.

Como hemos sugerido hace un momento, podemos desembarazarnos sin ninguna dificultad de la anterior paradoja sin más que reconocer que la reducción del paquete de ondas tiene sólo una relación subsidiaria con la observación subjetiva del observador, ya que de hecho dicha reducción tiene lugar en la amplificación macroscópica hasta el aparato de medida, que precede siempre cualquier tipo de observación subjetiva de un sistema microscópico. Pero, si esto es así ¿de dónde viene la dificultad para no admitirlo, arrojando con ello el desconcierto de la paradoja del gato de Schrodinger?

El descrédito de la realidad cuántica

Creo que la causa de la anterior dificultad hay que buscarla en un cierto «descrédito de la realidad cuántica» propiciado inadvertidamente por el carácter poco intuitivo de algunas observaciones cuánticas fundamentales. Pensemos por ejemplo en el experimento de la doble rendija: como es bien conocido, en esta experiencia, la luz proveniente de un foco luminoso, en su camino hacia una pantalla, encuentra el obstáculo de una pared opaca, donde no obstante se han practicado dos estrechas aberturas cercanas y paralelas. Si la anchura de las dos rendijas, su separación, la distancia de la pared a la pantalla y la longitud de onda de la luz utilizada son las adecuadas, lo que se observa en la pantalla no son dos franjas luminosas paralelas sobre un fondo oscuro, sino una sucesión, de intensidad decreciente, de franjas paralelas sucesivamente claras y oscuras: las llamadas franjas de interferencia. Desde comienzos del siglo XIX sabemos explicar este re-

sultado experimental suponiendo que la luz es una perturbación ondulatoria que se propaga en el espacio. El problema es que esta misma experiencia realizada de otra manera, a saber, haciendo que la luz incidente sea de una bajísima intensidad, cambiando la pantalla por una placa fotográfica y esperando un tiempo de exposición suficientemente largo, evidencia que la luz llega a la placa fotográfica no distribuida en todo un frente, el frente de la onda luminosa, sino, sucesivamente, aquí y allá, de manera dispersa y puntual, como corpúsculos de luz, los cuantos de luz de la teoría cuántica, aunque al cabo de un tiempo de exposición suficiente la distribución de los sucesivos impactos puntuales acaba recomponiendo el negativo de la imagen original con sus franjas de interferencia. Y todo ello es así aun en el caso de que la intensidad luminosa incidente fuera tan baja que, prácticamente, los fotones fueran incidiendo en la placa uno a uno. Por otra parte, si realizamos el experimento obturando una de las dos rendijas, el fenómeno desaparece, en el sentido que las franjas de interferencia desaparecen y en su lugar queda la imagen única de la única rendija expedita, *una franja brillante que puede llegar a cubrir parte de las zonas que en las franjas de interferencia aparecían oscuras*. Pero si se examina bien esto último, la cosa parece especialmente absurda: ¿cómo demonios es posible que con dos rendijas abiertas puedan no llegar fotones a zonas donde acceden sin problema con una sola rendija abierta? Ciertamente no por una hipotética interacción anulatoria entre los diversos fotones que acceden a la pantalla, puesto que, como acabamos de indicar, las franjas de interferencia del fenómeno acaban visualizándose aunque los fotones atraviesen las rendijas uno a uno, y, por tanto, sin posibilidad de interacción entre sí. Por supuesto, la explicación de esto se encuentra en la naturaleza ondulatoria de la luz, pero si nos atenemos exclusivamente a esta visión no sabremos dar cuenta de los aspectos corpusculares del impacto de la luz en la pantalla. Decididamente, la luz se propaga como si fuera una onda, distribuida en el espacio, pero se absorbe como si se tratara de un corpúsculo, localizadamente, y así lo asume la Mecánica Cuántica. La única manera de no caer en una contradicción con estos resultados experimentales es reconocer que el tipo de dispositivo experimental con el que queremos acceder a la medida de una propiedad física de un sistema es parcialmente constitutiva de esa misma realidad que queremos medir, y así la luz se nos presenta como onda o como corpúsculo según el aparato concreto con el que interacciona de acuerdo con la medida de que se trate. De hecho, en Mecánica Cuántica es bien conocido que la perturbación que la propia operación de medida introduce en el sistema objeto de observación es parcialmente incon-

trolable, y ello no por una torpeza o dificultad técnica corregible sino como algo constitutivo de la propia realidad. De aquí a extraviarse con la tentación de reducir la existencia del mundo físico a su medida fehaciente por un observador subjetivamente advertido, no hay más que un paso que algunos no han dudado en dar, aunque con ello hayan de arrostrar la incomodidad de un gato de Schrödinger que no está ni vivo ni muerto para un cierto observador; y aunque es cierto que no podemos esperar encontrar ningún tipo de inconsistencia lógica en una postura epistemológica de este tipo —la postura de reducir el mundo a su observación— no es menos cierto que no tenemos más razones para adoptar este reduccionismo que las que pudieron asistir a Berkeley o a Stirer en sus conocidas tesis idealistas y solipsistas. El que ahora —en Mecánica Cuántica— el aparato de medida perturbe de manera parcialmente incontrolable el sistema observado no significa necesariamente, ni mucho menos, que el solo acto de medida llegue a crear cada vez la realidad cuántica desde la nada y que esta realidad se agote en la percepción del resultado de las medidas.

Supuestos contrafácticos y ontología cuántica

Pero volvamos a la experiencia imaginaria del gato de Schrödinger y supongamos que llegado el momento decisivo (el momento en que finaliza el tiempo de vuelo virtual del fotón hasta el dispositivo fatal) el observador interior constata que el gato permanece vivo. De acuerdo con la teoría, nuestro observador puede inferir que la correspondiente reducción del paquete de ondas ha tenido lugar, la reducción que se corresponde con la alternativa en que el fotón atraviesa sin perturbación alguna la superficie semi-reflectora. De aquí se ha querido inferir otra supuesta anomalía «ontológica» de la Mecánica Cuántica, a saber, la virtualidad operativa de los llamados supuestos contrafácticos: en el caso que se acaba de invocar, que una determinada reducción del paquete de ondas sea la consecuencia no ya de algo que ha ocurrido sino, justamente, de algo que ha dejado de ocurrir (la no activación del dispositivo del veneno, en nuestro caso). Pero, de nuevo nos juega una mala pasada la pertinaz apuesta por la reducción del mundo físico a su mera observación. En efecto, supongamos que aparte el dispositivo letal que nos mide la presencia del fotón reflejado disponemos un nuevo detector que, situado en el sitio de la pared de la cabina donde incidirá el fotón si es transmitido, nos dé cuenta eventualmente de ello. En presencia de este nuevo dispositivo de medida, la reducción del paquete

de ondas asociado al *estado fotón transmitido* es la consecuencia de un hecho, la medida correspondiente, con su inevitable amplificación hasta el nivel de lo macroscópico, y no una consecuencia contrafáctica. Precisemos algo más e imaginemos que el tiempo de vuelo del fotón emitido hasta el detector en la pared es sensiblemente más largo que el tiempo de vuelo hasta el dispositivo letal para el gato. En este caso, como en el caso original de un solo detector, si el gato continúa vivo pasado el instante crucial del final del tiempo de vuelo hasta el dispositivo, sabemos que ha tenido lugar la reducción alternativa del paquete de ondas, aunque el segundo detector aun no haya acusado la presencia del fotón transmitido. Es más, podemos hacer la segura predicción que este segundo detector acusará dicha presencia llegado el momento justo al final del correspondiente tiempo de vuelo. Lo que quiero resaltar ahora, por lo que se refiere a la comprensión del fenómeno, es que podemos dar esta última versión habitual de lo que acontece y no la extraña versión contrafáctica porque no renunciamos a seguir contando con la realidad incluso en los momentos en que nadie está midiendo nada de nada. Pero sí en toda esta historia del gato de Schrödinger quisiéramos llevar adelante este punto de vista «realista cuántico»⁶ hasta sus últimas consecuencias, y creo que vale la pena hacerlo si queremos pensar e imaginar la realidad de la manera más habitual y menos paradójica posible, deberíamos afirmar que, aun en el supuesto que no dispongamos del segundo detector de la pared de la cabina, si se produce la reducción del paquete de ondas correspondiente al *estado fotón transmitido* (es decir, si el gato no muere), esta reducción continuará siendo no un producto contrafáctico, sino el resultado de la transición cuántica que el fotón transmitido habrá inducido en la pared al ser absorbido. Todo ello a pesar de no mediar medida alguna y a pesar de la ausencia de cualquier amplificación macroscópica de la anterior transición microscópica. Si alguien desde una comprensible actitud positivista preguntara qué puede significar que acontezca algo que nadie mide ni observa, entiendo que la dificultad (o la facilidad) que pueda haber para darle una respuesta sería la misma que encontraríamos para contestar a alguien que preguntara por el significado de todo aquello que en la vida ordinaria y no tan ordinaria se da por existente sin que nadie tenga noticia de ello.

Otra paradoja sobre el gato de Schrödinger

Pero aún podemos añadir algo más a propósito de las supuestas bondades de nuestro «realismo» a la hora de pensar la realidad cuántica.

En efecto, consideremos la siguiente nueva paradoja relativa a la experiencia imaginaria del gato de Schrödinger. En la descripción que hemos hecho de esta experiencia hasta ahora, el sistema objeto de medida estaba formado, hablando esquemáticamente, por el fotón emitido, la superficie semi-reflectora, el dispositivo con el veneno y la pared de la cabina. En el comienzo el fotón aún no ha interactuado ni con el dispositivo, ni con la pared, pero acabará interactuando con uno o la otra y dando lugar al correspondiente resultado de medida a través del aparato de medida gato + observador, con la consiguiente reducción, R , del estado del sistema observado. Ahora bien, nada impide que consideremos el sistema total formado por el sistema anterior observado —fotón, superficie, dispositivo y pared— y el aparato de medida gato + observador y nada debería impedir que le aplicáramos ahora la Mecánica Cuántica a ese sistema total. Según los partidarios del proceso de medida como generador en exclusiva de la reducción, R , puesto que sobre el sistema total nadie realiza ninguna medida, la evolución del sistema debería venir regida por el operador continuo U , sin rastro de discontinuidad ni de indeterminación, lo que se contradice con la reducción, R , que ha experimentado la parte del sistema total que inicialmente habíamos considerado por sí sola como sistema a observar. Como siempre, la dificultad apuntada desaparece sin más que considerar que la reducción experimentada por el sistema original tenía su origen en la interacción «real» fotón-dispositivo del veneno o alternativamente fotón-pared, y ello observara alguien o no observara nadie las consecuencias de dicha interacción, puesto que aquella interacción es completamente independiente de si consideramos como un nuevo sistema el formado por el original más el aparato de medida.

Conclusión

En conclusión, podemos pensar el mundo cuántico admitiendo que en él se suceden de continuo transiciones cuánticas con sus correspondientes reducciones, R , del paquete de ondas que cabe dar por existentes aunque nadie mida tales transiciones, y aunque no medie amplificación macroscópica alguna de la mismas. Con esta visión, ni entramos en contradicción con la experiencia, ni caemos en ninguna inconsistencia. Pero, al lado de dicha reducción y mientras el sistema no experimente ninguna de dichas transiciones, la evolución de su estado, ψ , transcurrirá de acuerdo con el operador continuo U y por

tanto de manera perfectamente predecible, en principio. Utilizaremos estas conclusiones en lo que sigue.

3. Causalidad y ordenadores

Acausación y Mecánica Cuántica

Si ψ se reduce bruscamente, de acuerdo con R, por transiciones cuánticas, independientemente de si con ello se ha realizado o no una medida, entonces, en Mecánica Cuántica, se da una *acausación*, una falta de causación, relativa: relativa en el sentido que a partir del estado, ψ , son posibles ciertas cosas previamente determinadas, y no otras, aunque, en general, ninguna de las posibles tiene de entrada asegurada su materialización, por razones de principio. Una acausación constitutiva de la propia realidad cuántica, que se convierte en algo pensable al margen del proceso de medida y no sólo con ocasión del mismo. Esta acausación relativa es a mi entender el contenido epistemológico más revolucionario de la Mecánica Cuántica.

Podríamos decir, de acuerdo con esta acausación relativa, que el relato del Génesis se queda corto: el mundo no se creó en el pasado, de una vez por todas. Cada día se sigue creando a través de la acausación relativa del mundo cuántico. El futuro no está pues definido, como pretendía Laplace y como aún permite, en principio, la teoría del caos: el futuro está en parte indefinido y pendiente de su regular dosis de creación diaria. Más concretamente: en muchos sistemas macroscópicos, las fluctuaciones cuánticas relativamente impredecibles de sus componentes microscópicos serán fatalmente erosionadas por los promedios sobre grandes números que regulan la evolución de esos macrosistemas, de manera que a la postre puede no quedar ni rastro macroscópico de la indeterminación cuántica básica. Si no fuera así no podría existir una física clásica determinista con tantos éxitos en su haber a la hora de describir la realidad. Pero es obvio que no todos los sistemas macroscópicos se comportarán de esa guisa, como laminadores de las fluctuaciones cuánticas subyacentes, pues en ese caso la función de la medida en Mecánica Cuántica sería imposible: en efecto, medir una propiedad cuántica es justamente amplificar una transición cuántica hasta el nivel macroscópico, hasta dejar modificado el estado del aparato de medida que es en última instancia un sistema macroscópico. Hay pues sistemas macroscópicos que traducen en su evolución la relativa y básica indeterminación cuántica, y los animales, en particular, podrían

ser ejemplos cotidianos de tales sistemas traductores, lo que se correspondería muy bien con la dificultad especial que tenemos para predecir su comportamiento con algún detalle, sobre todo en el caso de los animales superiores.

Algo más que un programa informático

Armados con este punto de vista de un mundo parcialmente acausado, vengamos ahora a la consideración de un ser consciente: podemos concebirlo como un ensamblaje macroscópico de constituyentes microscópicos, cuyo ensamblaje tiene la especificidad de traducir regularmente hasta niveles macroscópicos las transiciones cuánticas relativamente incausadas del propio cerebro o inducidos en él por las fluctuaciones mínimas del medio exterior que lo envuelve. Entonces, como quería Penrose^{3, 4}, pero por otras razones, se deduce sin más dificultad de lo supuesto que el total de las acciones conscientes no podrá nunca ser simulado completamente por el programa de un ordenador: puede haber en nosotros un programa y podemos admitir que de hecho lo hay, pero engarzado en un *hardware* específico que, magnificando regularmente hasta el nivel macroscópico ciertas transiciones cuánticas, parcialmente incausadas, impide, sin perjuicio de otras dificultades añadidas, que podamos prever con certeza nuestro comportamiento futuro, previsión que sí podríamos hacer en principio si únicamente tuviéramos en cuenta el programa que parcialmente, pero sólo parcialmente, nos constituye: podemos así pensar que la conciencia es el programa (el *software*), más la relativa y continua indeterminación de un *hardware* cuántico inevitable, donde se asentaría la libertad interior, cuyo sentimiento resultaría ser así una realidad y no pura ilusión.

Por otra parte, se ha especulado de vez en cuando sobre la posibilidad de poder viajar a la velocidad de la luz por el siguiente procedimiento: se trataría de enviar a nuestro punto de destino (pongamos un remoto planeta de alguna estrella a años luz de distancia), por medio de las oportunas ondas electromagnéticas, la información codificada del programa que supuestamente nos constituye. Recogida esta información por algún ser suficientemente experto, residente en ese planeta, podría reconstruir el programa y hacerlo operativo montándolo sobre un soporte conveniente (que a la postre resultaría indiferente, con tal que fuera eficaz como tal soporte), con lo cual henos aquí activos y llenos de vida en el lejano planeta de nuestro destino. Por el mismo procedimiento

de montar, ahora aquí mismo, en el planeta Tierra, nuestro programa sobre un soporte eficaz, el que sea, podríamos clonarnos indefinidamente bajo las apariencias materiales más diversas pero irrelevantes. Obviamente no parece que, aun en el supuesto de que fuéramos esencialmente un programa, un proyecto así fuera técnicamente viable, a causa de la enorme información y complicación que ello implicaría, pero, en cualquier caso, me interesa subrayar que de acuerdo con el punto de vista aquí adoptado todo ello es imposible por razones de principio. En efecto, el sujeto consciente no es meramente un programa, es un sistema cuántico. Como tal sistema cuántico, lo más que podemos llegar a conocer de él es su estado, su función de onda, ψ , y por tanto lo más que podemos duplicar o transmitir es ψ . Pero ψ no siempre evoluciona de manera determinista, es decir, según U , a veces se *reduce* de acuerdo con R , esto es, de manera discontinua y parcialmente imprevisible. Así pues, una misma ψ inicial aquí y allá acabará evolucionando diferentemente por mor de R . En particular no es posible construir una copia de una persona. Aunque en un instante dado llegáramos a construir un doble de su ψ , que ya es suponer, ambas ψ , la original y su réplica exacta, la persona original y su doble exacto, tan exacto como permite la Mecánica Cuántica, acabarían discurriendo por caminos diferentes, en uno u otro grado, justo como sugeriría el tomarnos en serio nuestra sensación de libertad interior.

Podría objetarse a todo esto, desde el mismo punto de vista de la Mecánica Cuántica, que no todo estado cuántico está destinado a sufrir la reducción de R , que hay estados cuánticos cuya evolución se conforma al futuro totalmente previsible que le dicta su operador de evolución U . Así es en efecto, pero entre tales sistemas de evolución cuántica previsible no están en general los sistemas no aislados, los sistemas que interaccionan con el medio (entre los cuales están por ejemplo los seres vivos). La razón de ello es que una interacción cuántica es siempre el intercambio de uno o diversos *cuantos* de energía entre los sistemas físicos en interacción, lo cual para un sistema microscópico se traduce en una transición cuántica relativamente impredecible de manera general. Por otra parte podemos ver un sistema no aislado que experimenta la reducción R y la parte del medio con la que interacciona como un nuevo sistema global, el cual experimentará ahora esa reducción R centrada en una de sus partes. Pero el sistema global sí que está aislado, por hipótesis: hemos de concluir, pues, que en todo caso los sistemas cuánticos que experimentan la acción de R no son solamente los sistemas que interaccionan con el exterior.

Una posible objeción

Para finalizar este párrafo, parece oportuno consignar aquí que la mayor parte de los argumentos que he venido desarrollando hasta ahora, en apoyo de mis afirmaciones, no tendrían ningún sentido desde el punto de vista más ortodoxo de la interpretación de la Mecánica Cuántica, puesto que en esta interpretación el aparato de medida no es ningún sistema cuántico que por su gran magnitud se comportaría en el límite como un sistema propio de la Física clásica, sino un dato constituido clásicamente a partir del cual hacemos predicciones y observaciones cuánticas y al que no tendría sentido pretender aplicar la Mecánica Cuántica. En esta interpretación toda la *realidad* del mundo cuántico se reduce a las lecturas (¡lecturas que a veces se pretenden reducir a las subjetivamente constatadas por el observador!) sobre la escala del aparato de medida en ocasión de las diferentes observaciones. Pero ya me he referido extensamente a una visión semejante en todo el párrafo anterior y en particular a su dificultad con un gato de Schrödinger que no está ni vivo ni muerto para un cierto observador.

4. Consideraciones finales

Variables ocultas

En las páginas anteriores he desarrollado la pretensión según la cual la causalidad no rige de manera estricta en el decurso de la realidad *más ordinaria*, esto es, hay hechos en el *acaecer diario*, que por mor de la Mecánica Cuántica, no se siguen necesariamente de ningún antecedente o conjunto de antecedentes. Esta afirmación parece a primera vista suficientemente exótica, por no decir otra cosa, como para que más de un lector lamente haberme seguido hasta aquí, a lo largo de un tema árido o como mínimo difícil, para ver rubricada al final, sin asomo de pudor alguno, semejante sandez. Incluso se podría argumentar que, desde un punto de vista meramente heurístico, la anterior pretensión debe ser desautorizada sin más, puesto que asumirla significa renunciar de entrada a buscar, y tal vez a encontrar un día, las causas recónditas de un fenómeno, el que sea, hasta ese momento ocultas a la reflexión y observación más sagaces. De hecho la historia de la Mecánica Cuántica está jalonada de intentos de sustitución de la teoría, considerada así una teoría provisional, por teorías alternativas donde la relativa impredeción del resultado de medida

perdería toda entidad *ontológica* para reducirse a la consecuencia banal, conceptualmente hablando, del desconocimiento provisional de parte de las variables que definen los fenómenos cuánticos: son justamente las teorías que se conocen con el nombre genérico de teorías de variables ocultas. Fue el gran mérito de J. S. Bell en 1964 el haber puesto de manifiesto que la Mecánica Cuántica, por un lado, y determinadas familias de teorías de variables ocultas, por otro, predecían resultados diferentes para el resultado observable de un cierto tipo de experimentos, haciendo así posible la discriminación experimental entre una u otras teorías. Dichas experiencias fueron efectivamente realizadas con posterioridad por diversos autores. Los resultados más concluyentes han sido los obtenidos por A. Aspect en 1986, y el resultado final una confirmación de lo previsto por la Mecánica Cuántica, en contra de lo previsto por una amplia familia de teorías de variables ocultas, que han quedado así descartadas de manera experimental. (El lector puede encontrar más detalles sobre la cuestión en el texto ³, reiteradamente citado en este artículo). Es cierto, por otra parte, que otras teorías de variables ocultas, distintas a las así descartadas, son capaces de reproducir, como hace la Mecánica Cuántica, los resultados de estas experiencias, pero todas esas teorías afrontan la formidable dificultad de suponer acciones físicas propagándose en el espacio a velocidades superiores a las de la luz, algo nunca puesto de manifiesto hasta ahora en la experiencia y algo que de ser aceptado comportaría en la Física problemas teóricos de singular calado.

Creación y libertad interior

En definitiva, la indeterminación cuántica es en este momento mucho más que una especulación osada: es una pieza perfectamente encajada de una teoría física, la Mecánica Cuántica, que tiene en su haber un impresionante conjunto de acuerdos con la experiencia, sin parangón posible con ninguna otra teoría del mundo natural y sin fracaso alguno hasta la fecha. Pero una pieza testada a su vez con éxito, de manera específica, dentro de la teoría, como se acaba de explicar. A partir de ella, en las páginas anteriores he intentado hacer plausible una visión del acontecer universal donde el mundo se crea continuamente a sí mismo, y donde, en particular, nuestra *libertad interior* y la acción que de ella deriva, como tal vez la vida animal o incluso la vida *tout court*, podrían contribuir de manera cotidiana a esa creación. Un acontecer universal, pues, no ciertamente arbitrario, pero tampoco com-

pletamente determinado en su futuro. Más allá del caos y sus dificultades puramente prácticas de predicción exhaustiva, no todo está escrito, aunque lo que queda por escribir no admita el formato de un libro cualquiera ¡Qué lejos estamos así de una visión tan extraña e increíble, y tan frecuentemente no tenida por tal, como la que históricamente ha pretendido que todo, en sus más mínimos detalles, está desde siempre escrito en el supuesto libro de la Historia!

Agradecimientos

Agradezco a los profesores Eliseu Borras y Josep Ros, de la Universidad de Valencia, la lectura crítica del texto, sus atinadas observaciones y las placenteras discusiones sobre el tema, pero la responsabilidad de eventuales errores sería sólo el fruto de mi personal empecinamiento.

También quiero agradecer al profesor Miguel Angel Quintanilla, del Departamento de Lógica y Filosofía de la Ciencia de la Universidad de Salamanca, la invitación de que fui objeto hace algún tiempo, con el profesor Chus Martín, para asistir a un seminario informal junto a otros profesores del Departamento, sobre los temas de que se ocupa el presente artículo. Algunas de las ideas aquí desarrolladas y la determinación de exponerlas razonadamente algún día han sido mi reacción a los estímulos de aquella motivadora sesión. A todos los asistentes al seminario, gracias.

Notas

¹ LAPIEDRA, R.: «Conciencia y Mecánica Cuántica». *Arbor CXLVII*, 557-578 (enero-febrero, 1994) 135-155 pp.

² SEARLE, J.: «Mentes, Cerebros y Ciencia». Cátedra, 1985.

³ PENROSE, R.: «La nueva mente del emperador». Mondadori, Madrid, 1991.

⁴ PENROSE, R.: «Las sombras de la mente». Mondadori, Barcelona, 1996.

⁵ LAPIEDRA, R.: «Psicoanálisis y ciencia: tres cuestiones epistemológicas», *CLIII*, 603 (marzo 1996), 133-143 pp.

⁶ ROHRLICH, F.: «La interacción ciencia-sociedad a la luz de la Mecánica Cuántica y de su interpretación», en «El siglo de la Física», Navarro Veguillas, L., ed., Tusquets, Barcelona, 1992.