

Neurociencia y mecánica cuántica

Javier Sánchez Cañizares

Modo de citar:

Sánchez Cañizares, Javier. 2016. "Neurociencia y mecánica cuántica". En *Diccionario Interdisciplinar Austral*, editado por Claudia E. Vanney, Ignacio Silva y Juan F. Franck. URL=http://dia.austral.edu.ar/Neurociencia_y_mecánica_cuántica

En los últimos años, el progreso en el campo de la neurociencia ha estimulado el interés por comprender mejor las relaciones entre la mente y el cerebro. La Mecánica Cuántica (MC) ha estado presente en este ámbito prácticamente desde los inicios, a partir de su bien conocida "paradoja de la medida". La interpretación estándar de la MC asume la existencia en la naturaleza de dos procesos fundamentales e irreducibles: la evolución determinista de la función de onda según la ecuación de Schrödinger (una vez que se han establecido las condiciones iniciales y de contorno) y el colapso indeterminista de la función de onda después de realizar una medición. Así, la MC estaría señalando las limitaciones de una visión puramente determinista de la naturaleza y, en particular, de la actividad cerebral.

No obstante, la relevancia de la MC para la física del cerebro resulta muy controvertida. Los detractores de su influencia confían en el papel de los procesos de decoherencia para asegurar un comportamiento clásico y determinista del cerebro, sin prestar demasiada atención a los presupuestos filosóficos que conlleva el recurso a la decoherencia cuántica en el problema mente-cerebro (Sánchez-Cañizares 2014). En esta voz, después de introducir una visión general de las relaciones entre neurociencia y MC (sección 1) y de explicar por qué la segunda podría ser relevante para la primera (sección 2), revisaremos los modelos más importantes que involucran a la MC en el cerebro, haciendo explícita su posición respecto de las relaciones causales entre la actividad cerebral y la experiencia consciente (sección 3). Se expondrán las principales críticas a la relevancia de la MC para la neurociencia (sección 4) y se analizarán las implicaciones físicas y epistémicas del recurso a la decoherencia (sección 5) antes de presentar unas consideraciones filosóficas que ponen de manifiesto la necesidad de una aproximación interdisciplinaria al debate (sección 6). Dedicaremos la última sección a unas breves conclusiones. Así pues, nos centraremos aquí en la relación entre neurociencia y mecánica cuántica en el contexto del problema mente-cerebro y, en especial, de la conciencia.

1 Visión general de las relaciones entre neurociencia y mecánica cuántica [↑](#)

El campo de la neurociencia viene recibiendo una atención creciente debido al progreso teórico y empírico en la comprensión del cerebro. El sueño de alcanzar una visión científica definitiva de las relaciones entre la mente y el cerebro humanos parece estar cada vez más cercano, tras resultados experimentales como los presentados por Libet y otros colaboradores (Libet, Wright y Gleason 1982), que indicarían una prioridad temporal de los eventos fisiológicos sobre la conciencia a la hora de actuar. En estrecha relación con lo anterior, el problema del estatus ontológico de la libertad continúa generando discusiones relevantes entre los neurocientíficos y los filósofos (K. Smith 2011).

No obstante, la búsqueda por parte de la neurociencia de los correlatos neurales de la conciencia continúa sin resolverse. El supuesto habitual es que la conciencia es el resultado de un ingente número de neuronas trabajando al unísono (C. U. M. Smith 2009). El plan de investigación clásico de la neurociencia pretende encontrar circuitos de neuronas interconectadas cuya forma y frecuencia de disparo se correlacione de modo inequívoco con las experiencias conscientes por encima de un determinado umbral. Bajo tales presupuestos, los neurocientíficos cognitivos y los neurobiólogos consideran que la MC es irrelevante para sus problemas específicos (Koch y Hepp 2006); aun cuando la física del cerebro debe obedecer las leyes de la MC, no se aprovechan sus características más sobresalientes. La neurociencia se mueve habitualmente dentro del paradigma de la física clásica, que considera posible describir cualquier sistema —sin importar cuán complejo sea— mediante una computación clásica. Según esta extendida opinión, los sistemas vivos obedecen leyes físicas que estarían en contradicción con la posibilidad de realizar elecciones conscientes y libres. Estas últimas estarían simplemente reflejando la configuración química del

individuo en el momento de la (supuesta) decisión. Por tanto, la creencia en la libertad no sería más que un residuo de la fe en el vitalismo (Cashmore 2010).

Sin duda, la complejidad del cerebro hace bastante difícil establecer un modelo físico acerca de su modo de trabajar. Sin embargo, el fenómeno del caos determinista ha venido ofreciendo un aceptable contexto en el que estudiar la dinámica neural (Freeman 1979; Amit 1989). Su influencia ha sido creciente a lo largo de los últimos años y hoy se da un consenso generalizado sobre el papel esencial de los procesos caóticos para comprender la dinámica del cerebro en varios niveles. La ciencia cognitiva y la psicología han adoptado esta idea (Atmanspacher and Rotter 2008). Dentro de este paradigma, solo un pequeño número de neuronas acabaría siendo responsable de las experiencias conscientes. Los cambios infinitesimales en las condiciones iniciales de cualquier proceso llevarían a trayectorias divergentes en el espacio de fases, provocándose así la ilusión de la actuación libre. La mente emergería a partir del caos determinista en el cerebro y, por tanto, la conciencia no pasaría de ser una ilusión (Dennett 1991; 2003; Churchland y Sejnowski 1992; Crick 1994; Rees et al. 2002).

Según el físico Anton Zeilinger, el paradigma central de buena parte de los biólogos es que somos esencialmente máquinas clásicas (Abbott et al. 2008). El pensamiento sería material y el pensar no sería más que materia en movimiento coordinado. El pensamiento surgiría como un patrón coherente en un sistema multidimensional (el ser humano) acoplado al mundo, en el que la fluctuación más pequeña puede hacer emerger un pensamiento (Kelso 2008). De acuerdo con los principios de la física clásica, la conciencia no supondría diferencia alguna en el comportamiento: todo comportamiento está determinado por la causación microscópica sin necesidad de hacer referencia a la conciencia. De este modo, los filósofos que aceptan el marco de ideas de la física clásica han de concluir que las experiencias conscientes son idénticas con las actividades físicas del cerebro o, simplemente, propiedades emergentes (Stapp 2001). La teoría de la identidad entre la mente y el cerebro afirma que los estados mentales, los *qualia*, son idénticos a determinados estados neurales. Hoy por hoy, esta es la perspectiva filosófica sobre la mente dominante en la neurociencia, y la base de la mayor parte de la investigación neurobiológicas sobre la conciencia (Kauffman 2008).

Mas la cuestión no resulta tan sencilla desde el punto de vista metodológico. La neurociencia tiene dificultad en identificar la conexión crucial entre los estudios empíricos, descritos en términos psicológicos, y los datos que se obtienen, descritos en términos neurofisiológicos (Conte et al. 2009). En otras palabras, la correlación entre los estados físicos y mentales resulta poco clara. Para poder establecer dicha correlación, se necesita un relato objetivo o una hipótesis acerca del estado de la mente de otra persona. ¿Pero se puede lograr eso sin imprecisiones? ¿Es posible conocer el estado de conciencia de alguien sin que dicha persona lo revele? De hecho, contemplamos un continuo debate acerca de las cuestiones metodológicas relacionadas con los métodos introspectivos y los informes subjetivos involucrados en la investigación y medida de la conciencia (Irvine 2012).

Sin embargo, las críticas más profundas a la teoría de la identidad mente-cerebro provienen de lo que David Chalmers ha denominado como el “problema duro” (*hard problem*) de la neurociencia (Chalmers 1995): cómo es posible que la actividad física de las neuronas llegue a convertirse en la experiencia consciente fenoménica y en los sentimientos subjetivos que vivimos. El problema es que el proceso a través del cual el cerebro genera pensamientos y sentimientos permanece desconocido; los mecanismos físicos y la computación no pueden explicar por qué tenemos sentimientos, conciencia y “vida interior” (Pregolato 2010). Ninguna característica, configuración o actividad del mundo físico —tal como es concebido y descrito por la física clásica— puede dar lugar a la experiencia que caracteriza nuestros pensamientos conscientes, ideas y sentimientos (Stapp 2001; Pereira 2003; Kauffman 2008). La conciencia queda totalmente inexplicada mediante los medios clásicos y algo más allá del mundo físico concebido clásicamente parece necesitarse para avanzar en el problema (Stapp 2008; 2009; Abbott et al. 2008). El problema de las relaciones mente-cerebro resulta así estrechamente vinculado a nuestro avance en la comprensión de la naturaleza.

2 Por qué la mecánica cuántica podría ser relevante para la comprensión del

problema mente-cerebro [↑](#)

Dado que nuestro mundo clásico se fundamenta en último término en la MC, también debe ocurrir así en los cerebros y en los procesos que tienen lugar en ellos. Por ejemplo, la teoría cuántica es necesaria para explicar los estados de los iones en el filtro de selección y la función de los canales iónicos en las neuronas (Salari et al. 2011; Summhammer 2012). No hay duda de que los fenómenos cuánticos ocurren y son eficaces en el cerebro al igual que en el resto del mundo material. Pero resulta discutible que dichos procesos sean eficaces y relevantes para aquellos aspectos de la dinámica cerebral que se correlacionan con la actividad mental; los procesos cuánticos no tendrían por qué ser directamente responsables de la generación de percepciones conscientes (Thomsen 2008; Atmanspacher 2011). Teóricamente, la constante de Planck es un número extremadamente pequeño en la escala de los fenómenos humanos, de modo que podríamos juzgar buena una aproximación clásica en cualquier modelización del cerebro. Sin embargo, la MC comprende sutiles entrelazamientos no locales de magnitudes físicas que pueden llegar a tener manifestaciones macroscópicas —piénsese en fenómenos como la superconductividad, la superfluidez, la condensación de Bose-Einstein o los cambios en la susceptibilidad magnética (Ghosh et al. 2003). No poseemos un criterio universal que permita ignorar dichos efectos (en términos de la paradoja del gato de Schrödinger, no hay un umbral bien definido de “gateidad”), por lo que la MC no debería rechazarse tan fácilmente.

De modo particularmente interesante, Roger Penrose ha extendido los trabajos iniciales de Lucas (Lucas 1961) argumentando que ciertos aspectos de la conciencia humana, como la comprensión de la verdad de algunas proposiciones matemáticas, quedan más allá de las posibilidades de cualquier sistema computacional (Penrose 1989; 1994; 2004). La no computabilidad es un concepto matemático bien definido, pero no se había considerado con anterioridad como una posibilidad seria para determinados procesos físicos. El argumento de que el pensamiento consciente —con independencia de otros atributos que pueda tener— es no computable (como se sigue de ciertas deducciones de los teoremas de Gödel) implicaría que al menos algunos estados conscientes no pueden derivarse de estados previos mediante un proceso algorítmico (Hameroff y Penrose 1996; Penrose y Hameroff 2011). Entonces, las redes electroquímicas neurales resultarían radicalmente incapaces de generar dichas dimensiones del conocimiento, de modo que las bases para la investigación neurocientífica de la inteligencia resultarían socavadas (Reimers et al. 2009). Dentro de este rompecabezas científico, la MC podría ser importante porque contiene intrínsecamente elementos no algorítmicos y es la única fuente fundamental de aleatoriedad pura en nuestra comprensión actual de la naturaleza física (Eagle 2013). También se ha argumentado que si la conciencia es en parte cuántica, los problemas asociados con la clausura causal física del cerebro, la libertad, la causación mental y las experiencias mentales podrían encontrar una vía de solución (Kauffman 2008; 2009). La MC permitiría una “interacción” diferente entre la mente y el cerebro físico.

Por otra parte, la coherencia cuántica parece ser un mecanismo plausible para la eficacia y coordinación que exhiben muchos sistemas vivos, proporcionando un puente conceptual entre la organización físico-química de los vivientes y los estados fenoménicos de la vida y de la experiencia (Salari et al. 2011). Por ejemplo, la conciencia no parece estar localizada en ninguna parte del cerebro y, no obstante, la persona siente como una unidad coherente. La MC podría dar una explicación de dicho fenómeno holístico, que se resiste a un análisis puramente local, introduciendo grados de libertad esencialmente no locales. Ciertamente, se pueden encontrar grados de libertad no locales en niveles de complejidad más altos de ciertos sistemas clásicos, pero estos últimos no se consideran “fundamentales” en una ontología clásica, al estar ligados inevitablemente a los límites en la resolución de las observaciones (Hagan et al. 2002).

La esencial no computabilidad de la MC y el problema mente-cerebro de la neurociencia se hallan relacionados a través de la bien conocida “paradoja de la medida”. En la interpretación estándar de la MC, encontramos dos procesos bien distintos: (i) la evolución unitaria y determinista de la función de onda según la ecuación de Schrödinger, una vez que se han establecido las condiciones iniciales y de contorno; y (ii) el colapso no unitario y aleatorio de la función de onda, después de realizar una medida, en uno de los posibles resultados de dicha medida, con una probabilidad dada por el cuadrado del valor absoluto de la amplitud del posible resultado antes de la medida. ¿Cómo puede el colapso discontinuo y probabilista de la función de onda surgir a partir de la interacción (medida) entre dos partes de la misma realidad física? Este es el problema o paradoja de la medida en MC. El colapso de la función de onda es esencialmente impredecible y no computable. Recuerda en ello la naturaleza no computable de la conciencia (Penrose 1994). De ahí que, para Penrose, aquellos sistemas capaces de multiplicar el colapso resulten buenos candidatos para las bases

físicas de la conciencia.

Esta descripción implica aún algo de mayor alcance para la neurociencia de la voluntad consciente y libre. Las medidas concretas que se realizan en los experimentos no resultan determinadas por la propia MC y son tratadas en la práctica como variables libres, a determinar por el observador. Los números que aparecen en la física clásica representan las propiedades internas de un sistema físico, sin referencia a nada externo a él; mientras que la acción que reemplaza la función de tales números en MC representa una medida específica realizada sobre el sistema físico por un observador externo a este. Es decir, la generalización cuántica de las leyes de la mecánica clásica no puede generar por sí misma una teoría dinámica física completamente determinista. Hay un “gap” causal. Si bien la ecuación de Schrödinger encaja perfectamente en un relato clásico puramente objetivo, la ocurrencia de los eventos reales requiere un proceso no computable e indeterminista que es llevado a cabo por un aparato de medida: un observador. La interpretación estándar de la MC combina irremediablemente las dimensiones objetivas y subjetivas de la realidad.

A lo largo de la historia de la MC han llegado a aparecer perspectivas aún más radicales dentro de este marco interpretativo. London y Bauer (London y Bauer 1939) propusieron que la conciencia humana es en realidad la que determina cualquier medición, atribuyendo a la “acción creativa de la conciencia” el rol crucial en la comprensión de la MC. Wigner (Wigner 1967) continuó con dicha hipótesis. Pero, algunos años antes, von Neumann (Von Neumann 1955) logró mostrar que la frontera que separa el instrumento de medida y el sistema observado puede desplazarse arbitrariamente y, en última instancia, el observador se convierte en el “ego abstracto” (según la terminología de von Neumann) de la observación (Manousakis 2006; Atmanspacher 2011). Von Neumann deja claro que su propósito es unir los aspectos perceptuales subjetivos y los aspectos físicos objetivos de la naturaleza. De hecho, su teoría resulta esencialmente una teoría de la interacción de realidades subjetivas con un universo físico objetivo en evolución (Stapp 2001).

En resumen, se considera que el colapso de la función de onda es acompañado de la experiencia asociada con la medida elegida en el flujo de la conciencia del observador. De este modo, el agente adquiere conocimiento (Stapp 2005). La MC incluye la descripción de algunos efectos que no pueden adscribirse únicamente a un origen físico, sino que incluyen también nuestra actividad mental. Se establece en ella un profundo vínculo entre las entidades conceptuales y las entidades físicas (Bohm 1990), resultando a la vez una descripción de la realidad física y una teoría acerca del conocimiento humano, como ya subrayó Heisenberg (Stapp 2008). La interpretación ortodoxa de la MC es esencialmente subjetiva y epistémica, puesto que la realidad fundamental de la teoría es nuestro conocimiento (Stapp 2001). En esta situación, es necesario indagar si la MC en su forma actual presenta predicciones inequívocas sobre las manifestaciones de las realidades mentales en el cerebro, o bien es en sí misma una teoría aún incompleta acerca de la realidad física que podría explicar la conciencia cuando llegue a completarse. Llamaremos a esta última posibilidad “conciencia cuántica abajo-arriba” y a la primera “conciencia cuántica arriba-abajo”, a la hora de clasificar los modelos actuales que recurren a la MC para tratar el problema mente-cerebro en el marco de la neurociencia.

3 Teorías actuales que involucran a la mecánica cuántica en la comprensión de la mente [↑](#)

Existen en la literatura científica diversos estudios que resumen los modelos que aplican la MC al problema de la conciencia (Tuszynski 2006; Vannini 2008; C. U. M. Smith 2009; Atmanspacher 2011), pero no suelen considerar si implican una causalidad de “abajo-arriba” o de “arriba-abajo”. Aquí presentaremos los modelos más relevantes atendiendo a dicho criterio. No obstante, antes de presentar los principales candidatos, resulta obligado dedicar algún espacio a una corriente de investigación que emplea el formalismo matemático de la MC para describir fenómenos de la conciencia y del comportamiento humanos. Se trata de enfoques generales que abordan fenómenos puramente mentales usando características formales de la MC, como pueden ser operaciones no conmutativas o lógicas no booleanas, pero sin aplicar en su totalidad el marco de referencia cuántico: se declaran “agnósticos” respecto de la existencia en el cerebro de una actividad física cuántica relevante. Algunos de los grupos más importantes se enumeran en (Atmanspacher 2011); véanse, e.g., (Conte 2008; Conte et al. 2009; Pothos y Bussemeyer 2012).

Sin lugar a dudas, el formalismo de la MC tiene el potencial necesario para ajustar las desviaciones de las leyes de la

probabilidad clásica que aparecen en determinadas actividades mentales. Pero este modo de proceder ha sido criticado por resultar ambiguo. Es posible que modelos de probabilidad clásica, con hipótesis diferentes, lleguen a ajustar con similar precisión los resultados experimentales (Thomsen 2008). La aplicación directa del formalismo de la MC a los estados mentales permite un ajuste estadístico especialmente válido de muchos datos empíricos, pero no acaba de decirnos nada acerca de la realidad subyacente, responsable de dichos fenómenos mentales (Atmanspacher 2011). No obstante, tal formalismo podría ofrecer resultados inequívocos sobre la relevancia de la MC para el problema neurocientífico de las relaciones mente-cerebro, en la medida en que pueda mostrar la incapacidad de los modelos clásicos a la hora de explicar los resultados disponibles.

3.1 Teorías abajo-arriba de la conciencia cuántica [↑](#)

3.1.1 La reducción objetiva y orquestada de Hameroff y Penrose [↑](#)

Probablemente, la teoría abajo-arriba de la conciencia cuántica más conocida es la hipótesis de Penrose y Hameroff de que las tubulinas de los microtúbulos —polímeros de proteínas con forma de filamento presentes en el citoesqueleto de las neuronas— llevan a cabo computaciones cuánticas (Hameroff y Penrose 1996; 2014; Hameroff 2007; Penrose y Hameroff 2011). El motivo aducido por Penrose para recurrir a la MC no es que su intrínseca aleatoriedad dé espacio para que la causación mental sea eficaz. Su punto de partida conceptual es que la emergencia de un acto consciente es un proceso que no puede ser descrito de manera algorítmica. Hameroff, por su parte, comprendió que las ideas de Penrose sobre la no computabilidad de la conciencia podían complementar su propio trabajo acerca de los microtúbulos, en los que las tubulinas encarnarían neurofisiológicamente el marco conceptual de Penrose. Los estados de las tubulinas parecen depender de eventos cuánticos, de modo que la coherencia cuántica entre diferentes tubulinas es posible (Abbott et al. 2008; C. U. M. Smith 2009; Atmanspacher 2011).

Cada tubulina puede estar en dos configuraciones superpuestas, correspondiendo una geometría específica del espacio-tiempo a cada configuración. Cuando la separación entre las energías de estas dos configuraciones alcanza un umbral crítico, en el régimen de una gravedad cuántica, la reducción objetiva (OR) de la función de onda a una de los dos configuraciones debe ocurrir (Hameroff y Penrose 1996). La superposición coherente, anterior a la OR, de los estados de las tubulinas se considera un proceso pre-consciente, mientras que cada OR instantánea y no computable se considera un evento de proto-conciencia. La conciencia aumenta significativamente solo cuando las conformaciones alternativas son parte de una estructura altamente organizada, de modo que las manifestaciones de la OR ocurren de una manera “orquestada” (OOR). La teoría OOR propone que los estados cuánticos pueden extenderse mediante efecto túnel, llevando al entrelazamiento con las neuronas adyacentes mediante las “uniones gap” (*gap junctions*) y la participación de las proteínas asociadas a los microtúbulos (C. U. M. Smith 2009).

Hay que decir que la teoría OOR ha recibido bastantes críticas, véanse, e.g., (Koch y Hepp, 2006; C. U. M. Smith 2009). Podemos añadir aquí además que resulta poco claro en qué sentido la OOR no es efectivamente aleatoria y cómo y por qué la reducción objetiva de la función de onda resulta orquestada. Obviamente, se requeriría una teoría de la gravedad cuántica totalmente desarrollada para entender en último término la medición en MC. Hameroff y Penrose han intentado responder detalladamente a las críticas (Penrose y Hameroff 2011). Sin embargo, merece la pena notar aquí una cuestión presentada por Smith: ¿Por qué la OOR habría de asociarse con un momento de conciencia? No parece haber ninguna respuesta obvia. Smith considera que Hameroff y Penrose corren el riesgo de caer en la vieja falacia *post hoc ergo propter hoc* (C. U. M. Smith 2009). No obstante, tal falacia no parece amenazar una situación en la que nos hallamos frente a solo dos posibilidades fundamentales para la naturaleza: o bien clásica y determinista o bien cuántica e indeterminista. La correlación entre conciencia, no computabilidad y MC da una pista a Penrose y Hameroff sobre dónde buscar para encontrar una solución.

La conexión propuesta entre conciencia y reducción de la función de onda en la teoría OOR es prácticamente opuesta a la idea inicial desarrollada en los primeros momentos de la MC: que una medición es algo que ocurre únicamente como resultado de la intervención consciente de un observador (Penrose y Hameroff 2011). Ahora, por el contrario, la auto-organización de la información en MC sería capaz de generar autoconciencia. Por ello, según la teoría OOR, la autoconciencia no sería un fenómeno exclusivamente humano, sino que se daría en cada partícula del universo

(Pregolato 2010). De este modo, Hameroff y Penrose llevan hasta el límite la correlación entre la conciencia y la reducción de la función de onda, dando la vuelta a la estipulación de von Neumann. En este sentido, Hameroff y Penrose simplemente *asumen* que la conciencia emerge a través de la OOR en la transición de una función de onda coherente a una reducida. Describen un posible nuevo proceso físico implicado en la emergencia de la conciencia —quizás como sustrato de ella— sin explicar su especificidad (Searle 1997). Su perspectiva es “abajo-arriba” porque la conciencia emergería en la naturaleza de un modo aún no comprendido.

3.1.2 El cerebro cíclicamente coherente de Kauffman [↑](#)

En sus últimos años de investigación, el biólogo teórico Stuart Kauffman ha abrazado la hipótesis de la mente cuántica de un modo ligeramente distinto al de Hameroff y Penrose, a quienes reconoce el mérito de dar legitimidad al problema físico de la conciencia en la discusión científica de más alto nivel. Según Kauffman, la aparición de la conciencia en un cerebro computacional clásico no es posible. La mente tendría que ver más bien con un sistema cerebral cíclicamente coherente, que recupera la coherencia después de haberla perdido. La esencia de la hipótesis de Kauffman es la reversibilidad cuántica de algunos procesos cerebrales. El cerebro estaría llevando a cabo dichas transformaciones todo el tiempo (Kauffman 2009). Al ser sistemas termodinámicos abiertos en los que tanto la energía como la información pueden fluir, las células podrían haber evolucionado hasta tener la capacidad de mantener un comportamiento casi totalmente coherente. Kauffman imagina la formación y reformación de redes de transporte electrónico coherente, totalmente percoladas, dentro de la célula, gracias a los cambios de las moléculas de agua ordenadas que conectan las proteínas. Tales redes percoladas podrían en última instancia alcanzar la escala temporal de los milisegundos, típica de los eventos de conciencia (Kauffman 2008).

Kauffman considera su modelo como una variante de la teoría de la identidad mente-cerebro, debido a lo que denomina “influencia mental acausal”. Según esta interpretación, la mente tendría manifestaciones en la naturaleza sin tener que actuar mediante una causa eficiente física en el cerebro. Una teoría de la conciencia parcialmente cuántica, unida a la tesis de la identidad mente-cerebro, permitiría que las experiencias mentales tuvieran consecuencias en los acontecimientos reales del mundo físico sin tener que recurrir a causas mentales de los eventos. La mente actuaría *acausalmente* en el mundo material a través de la decoherencia cuántica, y sobre ella misma mediante el comportamiento dinámico de recoherencia del sistema único mente-cerebro (Kauffman 2008; 2009). Por otra parte, Kauffman admite que, incluso si su hipótesis fuera correcta, el problema del código neural y el de la unificación de la experiencia sensorial (*binding problem*) persistirían. Pero, aún más significativamente, reconoce que su modelo no ofrece ningún progreso en absoluto sobre la cuestión fundamental de los *qualia*, pues no sabemos qué significa entender la conciencia (desde el punto de vista de la teoría de la identidad mente-cerebro). Su teoría tampoco daría respuesta al *hard problem* (Kauffman 2008).

3.1.3 El cerebro cuántico disipativo de Vitiello [↑](#)

Una aproximación diferente al cerebro cuántico dio comienzo en los años sesenta del siglo XX, gracias a Umezawa y sus colaboradores, dentro del marco de la teoría cuántica de campos (TCC). En estos modelos, el cerebro se considera como un sistema de muchas partículas continuamente sometido a transiciones de fase que solo la TCC puede explicar. En los años noventa, Vitiello y sus colaboradores desarrollaron una formulación disipativa de TCC de la dinámica cerebral (Vitiello 1995; 2004; 2009; Globus 2009; Pregolato 2010). Los estados de memoria se conciben como estados de vacío de campos cuánticos (Atmanspacher 2011), identificados como los modos vibracionales del dipolo eléctrico de las moléculas de agua. Dichos campos afectan al sistema neuronal desarrollando correlaciones y un tipo de orden que puede extenderse a niveles macroscópicos (Vannini 2008). En este sentido, estaríamos enfrentándonos a procesos cuánticos macroscópicos caracterizados por una dinámica coherente (W. J. Freeman et al. 2012), aunque las neuronas y el glía pueden considerarse objetos clásicos.

Habría lugar entonces para transiciones de fase entre estados de vacío no equivalentes —sin posibilidad de una transformación unitaria entre ellos— gracias a la interacción con el entorno. Así, dos modos duales de grados de

libertad resultan implicados, los del cerebro y los del entorno. Cuando están ajustados, las dos dualidades que representan se convierten en una unidad real. La unidad de la conciencia fenoménica sería “entre-dos”. Vitiello localiza la conciencia en el estado de vacío porque la conciencia se daría entre el sistema y su entorno; es su “pertenecerse juntos”. Literalmente, la conciencia sería una “creación de los entre-dos” (Vitiello 2004; Globus 2009). Desde la perspectiva fisiológica, la activación de un conjunto neuronal —iniciado por estímulos externos— es necesaria para hacer continuamente accesible el contenido codificado de la memoria (Atmanspacher 2011). De esta manera, el proceso de recordar implica la excitación de cuantos de onda dipolares de naturaleza similar a los que producen el grabado de la memoria. Cuando estos resultan excitados, el cerebro sentiría “conscientemente” el patrón ordenado del estado fundamental (Vitiello 1995). La dinámica de poblaciones en cada córtex sensorial organiza los fragmentos microscópicos para que puedan dar lugar a conocimiento con sentido —experimentado subjetivamente como pensamientos y percepciones—, creando campos vectoriales macroscópicos de actividad que organizan cientos de millones de neuronas y billones de sinapsis (W. J. Freeman et al. 2012).

Desde un punto de vista filosófico, según Vitiello, no habría conflicto entre la subjetividad de la experiencia consciente de primera persona y la objetividad del mundo externo. La segunda es la condición necesaria para ese proceso disipativo de apertura a partir del que tanto la conciencia como el flujo unidireccional del tiempo llegan a existir. Por tanto, no tendría sentido referirse al “sujeto” como algo preexistente a la relación con el entorno. El sujeto sería la acción, el juego evolutivo, que nunca se repite *entre-deux*. Este sería el significado del entrelazamiento cuántico entre el cerebro y el entorno (Vitiello 2004). Vitiello concluye que la conciencia deriva de la constante interacción del cerebro con su doble, que es el entorno (Vannini 2008). De ahí que la propiedad que distinguiría más claramente la inteligencia biológica de la inteligencia artificial contemporánea sea la rica contextualización de la información que realizan los cerebros al construir el conocimiento y el significado (Vitiello 2009; W. J. Freeman et al. 2012).

En el cerebro cuántico disipativo de Vitiello, la MC puede ayudarnos a entender la integración funcional de largo alcance que tiene lugar en el cerebro. Las características cuánticas macroscópicas surgen, en el límite clásico, del tratamiento de TCC del cerebro. Más aún, Vitiello tiene en cuenta las profundas consecuencias de su modelo, entrando en la discusión filosófica. En particular, un tema especialmente sugerente es su visión acerca del rol jugado por la objetividad del entorno para la aparición de la conciencia, que no debería considerarse nunca de modo aislado. No obstante, la conciencia *emerge* como una manifestación de la dinámica cuántica disipativa del cerebro (Vitiello 1995). Esta es la razón por la que la conciencia no es primaria, sino derivada de las interacciones físicas. También resulta controvertida una distinción no consistente entre estados metales y materiales, que implica la reducción de la actividad mental a la cerebral como una hipótesis subyacente (Atmanspacher 2011). Para Vitiello, la continua reorganización y restructuración de los espacios de atractores —debido a la introducción de nuevos estados de vacío mediante estímulos sucesivos— constituye el proceso de contextualización a través del que, por diferenciación con otras estructuras preexistentes de atractores, un “significado” es atribuido a un estímulo específico (Vitiello 2009).

3.2 Teorías arriba-abajo de la conciencia cuántica [↑](#)

3.2.1 El disparo cuántico de Beck y Eccles en las uniones sinápticas [↑](#)

Como decíamos anteriormente, los modelos arriba-abajo de la conciencia cuántica consideran que la mente es una realidad primaria, con manifestaciones en el mundo físico descritas por la MC. La hipótesis probablemente más específica sobre cómo la MC juega un papel relevante en los procesos cerebrales relacionados con la conciencia la debemos a Beck y Eccles (Beck y Eccles 1992). Esta teoría hace referencia a mecanismos particulares de transferencia de información en las uniones sinápticas, donde algunos procesos cuánticos podrían ser determinantes para la exocitosis y los estados de conciencia. Las sinapsis tienen poco que ver con los sencillos interruptores on/off de los dispositivos computacionales y, con independencia de cuáles sean los correlatos neurales de la conciencia, la neurociencia asegura que los lugares más fácilmente afectados por ella son las uniones sinápticas entre neuronas (C. U. M. Smith 2009; Atmanspacher 2011). La propuesta de Beck y Eccles ha sido también enriquecida con nuevas hipótesis sobre los mecanismos cuánticos que disparan la exocitosis (Vannini 2008).

De acuerdo con la teoría de Beck y Eccles, la preparación para la exocitosis conlleva colocar la red vesicular

presináptica en un estado metaestable a partir del que la primera pueda tener lugar. El mecanismo de disparo se modela entonces mediante el efecto túnel cuántico de una cuasipartícula con un grado de libertad, que debe superar la barrera de activación. Así, el modelo introduce en la actividad del neocórtex una selección indeterminista de eventos controlada por la amplitud de probabilidad cuántica. Las intenciones mentales y voliciones resultarían neuralmente efectivas al aumentarse momentáneamente la probabilidad de emisión vesicular en los miles de sinapsis de cada célula piramidal. Después, el acoplo coherente de un gran número de amplitudes individuales de miles de botones dendríticos conduciría a la enorme variedad de modos y posibilidades de la actividad cerebral (Beck y Eccles 1992).

Para Beck y Eccles, los “psicones” serían unidades de conciencia que se conectan entre sí para producir una experiencia unitaria, siendo la mente un campo cuántico inmaterial de probabilidad (Hiley y Ylkkänen 2005; Conte 2008; Vannini 2008; Conte et al. 2009). Sin embargo, aunque los efectos cuánticos del tipo sugerido por la teoría podrían estar aquí presentes, parece improbable para la mayoría de los neurocientíficos que pudieran influenciar decisivamente la apertura de los poros de fusión y la secreción consiguiente de neurotransmisores por los terminales sinápticos. Además, queda pendiente el problema de cómo procesos en sinapsis individuales podrían llegar a correlacionarse con actividades mentales que, por lo que sabemos, tienen como sustrato grandes conjuntos de neuronas. Todo esto ha llevado a criticar la teoría de Beck y Eccles como si fuera una versión actualizada de la neuropsicología pineal cartesiana (C. U. M. Smith 2001).

3.2.2 El efecto Zenón cuántico de Stapp [↑](#)

Mientras que la mayoría de los expertos afirma que no tenemos actualmente ninguna teoría científica adecuada para explicar el origen de la conciencia, Stapp afirma justamente lo contrario (Stapp 1996; 2001; 2005; 2007; 2008; 2009; Schwartz et al. 2005). No sugiere modificación alguna a la MC, sino que añade importantes extensiones interpretativas respecto del marco ontológico (Atmanspacher 2011). Para Stapp, todo son ventajas al aceptar el marco cuántico. La psicología y la psiquiatría ganan la posibilidad de reconciliarse con la neurociencia en lo que se refiere a la capacidad mental de guiar las acciones; la psico-física adquiere un modelo dinámico para la interacción de la mente y el cerebro; y la filosofía de la mente queda liberada del dilema de tener que elegir entre una teoría de la identidad y la emergencia de una mente sin potencia causal (Stapp 2001).

Dentro del marco conceptual de von Neumann, la intervención del observador en la dinámica del cerebro y su acuerdo con la intención consciente de la persona podrían explicarse mediante el efecto Zenón cuántico (EZC): cuando una secuencia de acciones de medida muy similares (las elecciones de medida conscientes del agente) se da con una sucesión suficientemente rápida, el estado físico correspondiente habrá de coincidir forzosamente con la secuencia de estados especificados por los resultados de las mediciones (Stapp 2007; 2008; 2009). El EZC simplemente mantiene el estado cerebral en el subespacio de posibilidades en que se concentra la atención al llevar a cabo el plan de acción especificado por las preguntas y medidas elegidas (Stapp 2001). Gracias al EZC, emerge una “plantilla para la acción” como un patrón de actividad física cerebral que, al mantenerse constante durante un tiempo suficientemente largo, provocará que la acción especificada se ejecute.

Al considerar seriamente la MC desde el punto de vista de la interpretación estándar, el modelo de Stapp subraya la necesidad de invocar el relato de primera persona siempre que se lleva a cabo una medición. La aleatoriedad de la MC se elude en el cerebro y en las acciones humanas gracias a un proceso de aprendizaje basado en el EZC. Desde una perspectiva física, sin embargo, es muy controvertida la hipótesis de la sincronización de nuestros esfuerzos de atención consciente con los pequeños tiempos de decoherencia que se esperarían para el cerebro (véase la discusión de la sección 4). Por otra parte, la cuestión del aprendizaje debería abordarse con modelos más realistas. En particular, permanecen por resolver los criterios acerca de qué respuestas deberían considerarse inicialmente como esperadas y de qué manera y por qué el agente habría de cambiar las preguntas y medidas libremente elegidas.

3.2.3 El carácter primario de la conciencia según Manousakis [↑](#)

En acuerdo inicial con la perspectiva de Stapp, el trabajo de Manousakis sobre el problema mente-cerebro conlleva una reinterpretación aún más profunda de la teoría cuántica de la medida de von Neumann, enraizada en ideas filosóficas más generales (Manousakis 2006; 2009). Según la ontología que postula, la conciencia no es solo un ingrediente esencial para la MC, sino que la misma MC está fundamentada dentro un marco ontológico que otorga carácter primario a la conciencia. Las actividades de nuestro cerebro y nuestro cuerpo serían consecuencias emergentes de eventos conscientes. La conciencia sería la instancia última que simplemente elige las preguntas relevantes que hay que hacer. Mediante dichas elecciones, el universo evoluciona en la dirección preparada por la secuencia de eventos conscientes; un proceso que requiere la división del universo en una parte observada y en una parte o instrumento “observante” (Manousakis 2006).

El carácter ontológico primario de la conciencia que propugna Manousakis es una aproximación radical. Si bien podría inicialmente resolver cuestiones como el *binding problem* (Manousakis 2006), otorga gran protagonismo a la experiencia consciente, adhiriéndose a la MC como la teoría natural para describir lo observable en la conciencia. En cierto sentido —similar al caso de Stapp— el modelo de Manousakis resulta el paralelo cuántico del modelo de cerebro bayesiano que defiende la neurociencia cognitiva. Este último aboga por una cascada de procesos arriba-abajo, que dan lugar a estados de un nivel inferior a partir de causas superiores y la gran variedad de ideas innatas o aprendidas (*hyperpriors*) que se refieren a la naturaleza general del mundo (Clark 2013). Pero tratar la realidad no consciente como una mera potencialidad de la conciencia puede significar pagar un alto precio respecto de la ontología de la función de onda y el estado cuántico del sistema, pues estados distintos deben corresponder con distintos estados físicos de la realidad (Pusey et al. 2012). De hecho, como muestra la neurociencia, hay determinados eventos físicos que se imponen a la conciencia.

4 Principales críticas a la relevancia de la mecánica cuántica para la neurociencia [↑](#)

Las críticas principales sobre la importancia de la MC para la neurociencia, en general, y una ciencia de la conciencia, en particular, provienen del campo experimental. La afirmación básica es que ningún experimento ha demostrado hasta ahora signos inequívocos de manifestaciones cuánticas en el cerebro. El argumento clásico de los defensores de la MC es que los modelos cuánticos ajustan mejor los resultados experimentales que los modelos clásicos *ad hoc*. Por ejemplo, parece hacer pruebas de la necesidad de tener en cuenta efectos cuánticos en la descripción de la permeabilidad de los iones entre las membranas. Los efectos de entrelazamiento en un único canal iónico podrían llevar a diferentes índices de transferencia iónica a través del canal y a desviaciones respecto de las predicciones clásicas. Si bien la decoherencia actúa, el promedio termodinámico sobre todas las posibilidades cuánticas no converge necesariamente al promedio clásico, de modo que el entrelazamiento cuántico podría ser responsable de efectos observables en la forma de los potenciales de acción neuronales (Naundorf et al. 2006). No obstante, el modelo propuesto en este caso emplea muy pocos grados de libertad, resultando demasiado sencillo por el momento.

Hay algunos resultados prometedores, aún no bien establecidos, relativos a efectos cuánticos en los microtúbulos (como sugieren Hameroff y Penrose). Por una parte, la base bioquímica de la depresión podría estar correlacionada con un nanocableado cuántico del citoesqueleto (Pregnotato 2010); por otra, la conductividad eléctrica en los microtúbulos formados a partir de tubulinas de cerebro porcino parece mostrar comportamientos balísticos a lo largo de diferentes itinerarios helicoidales discretos (Sahu et al. 2013). En el caso de confirmarse, tales hallazgos señalarían la realizabilidad biológica de la OOR (Penrose y Hameroff 2011). Igualmente, las largas distancias a través de las que se observan oscilaciones coherentes de las magnitudes físicas implicadas en el cerebro resultarían explicadas por el largo alcance de la correlación, que se extendería a todo el volumen del sistema como consecuencia de la ruptura espontánea de la simetría en el cerebro cuántico disipativo de Vitiello (W. J. Freeman et al. 2011).

Uno de los campos más activos en la investigación experimental de efectos cuánticos es el de la rivalidad binocular. Este bien conocido fenómeno de la percepción visual resulta ser una poderosa herramienta para estudiar los correlatos neurales de la experiencia visual consciente, ya que las señales de entrada permanecen constantes

mientras que el “percepto” va oscilando entre representaciones alternativas (Conte 2008; Conte et al. 2009; Clark 2013). Conte afirma que los resultados obtenidos tras una larga experimentación confirman que los estados mentales siguen un patrón cuántico durante la percepción y cognición de figuras ambiguas y también en situaciones de conflicto semántico. Se dan en estos experimentos, que no tratan directamente con los procesos físicos, violaciones de la fórmula clásica de Bayes para la probabilidad total, la aparición de la falacia de la combinación y, por consiguiente, la necesidad de tener en cuenta interferencias cuánticas. Según el grupo de Conte, en vez de operar con probabilidades para distintas alternativas, el cerebro trabajaría directamente con funciones de onda mentales. Aunque la MC no es la única teoría para explicar la complejidad cerebral, cualquier enfoque reduccionista que la ignore quedaría excluido por estos resultados (Conte 2008; Conte et al. 2009).

El marco de referencia de Manousakis para integrar la experiencia subjetiva y los resultados objetivos puede emplearse también a la hora de describir la distribución de probabilidad del período de duración de un percepto a partir del testimonio de sujetos sometidos al fenómeno de la rivalidad binocular. Mediante el formalismo de un sistema simple de dos estados, dicho modelo explica la observación de un marcado aumento en la duración de un percepto en el régimen de interrupciones periódicas del estímulo, ofreciendo predicciones acerca de la distribución de la alteración perceptual a lo largo del tiempo. Todo ello deriva de que el modelo de Manousakis coloca la atención consciente en un lugar más alto —en la jerarquía de la conciencia— que los dos correlatos neurales estimulados en el cerebro. De manera similar, instruir al observador para que preste atención a un estado perceptual concreto influencia y modula la frecuencia de las mediciones; así, cuando el estímulo en un ojo se refuerza, la duración media del percepto en el otro ojo disminuye. El modelo presenta algunas diferencias respecto de un trabajo similar de Atmanspacher, con más éxito en la reproducción de algunos aspectos experimentales (Manousakis 2009; Pothos y Busemeyer 2012).

A pesar de todo, incluso Manousakis admite que los modelos cuánticos para la rivalidad binocular son como mucho complementarios a los modelos neurocientíficos clásicos (Manousakis 2009). Por el momento, ningún experimento es capaz de validar una predicción específica de la MC para el cerebro, pues el acuerdo entre la evolución temporal de los estados conscientes durante la rivalidad binocular y las predicciones del formalismo cuántico no requiere necesariamente la presencia inmediata de efectos cuánticos. Los análisis recursivos en el modelo de Ouroboros pueden dar lugar a los mismos resultados, a partir de características macroscópicas clásicas de las neuronas y sus conexiones. Los sistemas macroscópicos clásicos pueden encarnar algoritmos que imitan algunos efectos cuánticos y, por tanto, pueden describirse hasta cierto punto mediante dichos algoritmos (Thomsen 2008). En general, la comprensión científica actual de los diversos aspectos de la percepción y la acción funciona en términos de procesamiento neuronal convencional, porque los procesos de disparo y los procesos sinápticos deberían destruir la coherencia cuántica (Koch y Hepp 2006).

A comienzos del siglo XXI, Max Tegmark llevó a cabo estimaciones teóricas de los tiempos de decoherencia en el cerebro que se situaban entre 10^{-20} y 10^{-13} s. Concluyó que, incluso si existiera un proceso físico desconocido en un subsistema del cerebro con un tiempo de decoherencia mucho mayor, tan pronto como dicho subsistema cuántico interaccionara con las neuronas para dar lugar a una experiencia consciente perdería la coherencia. Por tanto, la conciencia no podría en sí misma ser de naturaleza cuántica (Tegmark 2000). Las estimaciones de Tegmark han sido criticadas a lo largo de la última década por varias razones: no incluyen una dependencia correcta de los tiempos de decoherencia con la temperatura (Hagan et al. 2002; Salari et al. 2011); emplean una distancia de separación errónea para los posibles estados de las tubulinas, subestimando los tiempos de decoherencia en siete órdenes de magnitud (Hagan et al. 2002; Penrose and Hameroff 2011); no tienen en cuenta posibles mecanismos de recoherencia (Hartmann et al. 2006; Li and Paraoanu 2009) y efectos topológicos cuánticos (Penrose y Hameroff 2011); desprecian la permitividad dieléctrica, las capas de Debye y la ordenación del agua en torno a haces de microtúbulos gracias a la gelificación de la actina, que puede incrementar los tiempos de decoherencia hasta 10^{-2} o 10^{-1} s. (Hagan et al. 2002; Abbott et al. 2008). Algunos autores han señalado también que, de acuerdo con las estimaciones de Tegmark para los tiempos de decoherencia, no sería posible la formación de ciertos cristales, lo que contradice la experiencia común. Todas estas inconsistencias podrían estar indicando no la transición al régimen clásico, sino a un régimen de TCC (Alfinito et al. 2001) y al modelo del cerebro cuántico disipativo de Vitiello, a causa del límite de aplicabilidad de la MC en favor de la TCC.

Críticas más específicas acerca de la realizabilidad de la OOR de Hameroff y Penrose en el cerebro provienen del grupo de Reimers y McKemmish: ninguna fuente mecánica de energía bastaría para la producción de un condensado

fuertemente coherente de Fröhlich —como requeriría la OOR— en un medio biológico (Reimers et al. 2009; McKemmish et al. 2009). Pero esta cuestión resulta discutida (Salari et al. 2011). Las fuerzas de London entre los estados dipolares de las nubes electrónicas en las tubulinas podrían resultar suficientes para la superposición cuántica, sin necesidad de recurrir a la hidrólisis del GTP o a cambios conformacionales significativos (Penrose and Hameroff 2011). Penrose y Hameroff también han respondido a críticas concretas de Grush y Churchland (Grush and Churchland 1995), del grupo de Tuszyński (Tuszyński et al. 1998) y de Koch y Hepp (Koch y Hepp 2006), cuya crítica de la interpretación cuántica de la percepción biestable se aplicaría en sentido estricto solo a los seguidores de la interpretación estándar de la MC, mas no al modelo OOR (Penrose y Hameroff 2011).

Las hipótesis que involucran la MC en el cerebro son igualmente criticadas a causa de la falta de correlación con la diversa arquitectura regional y funcional de este. Los mecanismos mediante los que los fenómenos cuánticos interactúan con regiones cerebrales específicas para dar lugar al conocimiento, la libertad y la conciencia no habrían sido definidos de modo preciso y, por consiguiente, serían difíciles de comprobar experimentalmente (Kuljiš 2010). La cuestión apremiante es de qué manera las propiedades inicialmente cuánticas se extienden al dominio funcional de los sistemas clásicos emergentes (Salari et al. 2011). Por este motivo, la perspectiva de los opositores a la MC en el cerebro puede resumirse en que la MC no proporcionaría novedad alguna en los mecanismos que estudia la física biológica, ni tampoco para la resolución del *hard problem*. Los resultados inicialmente prometedores que citan los defensores de la MC en el cerebro podrían entenderse perfectamente desde el punto de vista de la física clásica estándar (Abbott et al. 2008).

Ahora bien, hay que decir también que algunas observaciones empíricas recientes han comenzado a dar mayor apoyo a la relevancia de la MC en los sistemas biológicos. Las dificultades iniciales a la hora de considerar la MC en el cerebro —la presencia de una temperatura demasiado elevada, el tamaño de las biomoléculas y un entorno con mucho ruido— parecen eclipsarse frente a efectos cuánticos que ocurren a temperatura ambiente —e incluso a temperaturas más altas en materiales inertes (Ghosh et al. 2003)— y ante la observación de efectos cuánticos macroscópicos (Kuljiš 2010; Salari et al. 2011). Los investigadores están empezando a entender qué tan general y robusto es el fenómeno del entrelazamiento cuántico: puede encontrarse en sistemas macroscópicos, persistir en el límite termodinámico para temperaturas arbitrariamente altas y resultar crucial para explicar el comportamiento de grandes sistemas (Vedral 2008). Bajo determinadas circunstancias, puede mantenerse para escalas de tiempo muy largas (Li and Paraoanu 2009). Las críticas acerca de la relevancia de la MC en biología parecen ser menos convincentes ante la evidencia de efectos cuánticos no triviales en sistemas biológicos (Panitchayangkoon et al. 2010; Salari et al. 2011; Lambert et al. 2012); por ejemplo, la existencia de estados cuánticos coherentes de larga duración en la fotosíntesis (Kauffman 2008), que permiten una transferencia cuántica de energía para la recolección eficaz de luz en las algas marinas criptofitas (Collini et al. 2010).

No tenemos aún una respuesta definitiva a la cuestión de la relevancia empírica de la MC en el cerebro. Incluso sus defensores resumen la situación diciendo que las pruebas científicas para la mente cuántica son, por el momento, muy débiles: resultan una hipótesis científica improbable, pero no pueden ser definitivamente excluidas (Kauffman 2009). Hay una ausencia de pruebas experimentales y ninguna de las teorías cuánticas que se han presentado para el cerebro parece gozar de plausibilidad neurológica. Pero, al mismo tiempo, la ciencia anterior a la MC no es adecuada para afrontar el problema mente-cerebro (C. U. M. Smith 2009). Todas estas consideraciones conducen naturalmente a llevar a cabo una profundización epistémica en el fenómeno de la decoherencia, el proceso físico que, al parecer, permite la transición del régimen cuántico al régimen clásico.

5 El problema de la decoherencia [↑](#)

La decoherencia cuántica es actualmente el modelo favorito para explicar la transición del mundo de posibilidades cuánticas al mundo clásico de acontecimientos actualizados (Zurek 2002). La teoría de la decoherencia afirma que cuando un sistema cuántico interactúa con un entorno suficientemente grande —que puede modelarse mediante un conjunto enorme de osciladores cuánticos (Caldeira y Leggett 1983a; 1983b)— la información sobre las fases relativas de los componentes del sistema queda mezclada debido al entrelazamiento con el entorno. La coherencia cuántica no puede entonces tener lugar en el sistema a causa de esta pérdida de información, y el régimen clásico —un evento

físico determinado— emerge de la nube de posibilidades. La interacción del sistema cuántico con su entorno actúa de alguna manera como un dispositivo clásico de medida según la interpretación estándar de la MC. El sistema resulta “parcialmente medido” por su entorno, de ahí el gradual encendido de la decoherencia que conduce al sistema a un estado clásico, mezcla de probabilidades en lugar de amplitudes cuánticas superpuestas. La existencia de la decoherencia está bien establecida experimentalmente y, de hecho, resulta la dificultad mayor que es necesario superar para la construcción de ordenadores cuánticos. Más aún, sería el factor principalmente responsable de la falta de relevancia de la MC en la física del cerebro, que actuaría siempre como un entorno de decoherencia para los subsistemas involucrados en el fenómeno de la conciencia.

No obstante, el modo en que la decoherencia ocurre realmente en los diferentes sistemas físicos y biológicos se comprende solo hasta cierto punto. Se trata de una cuestión fronteriza de nuestro conocimiento actual (Kauffman 2008). Por una parte, como ya se ha dicho, la decoherencia no señala necesariamente la aparición del régimen clásico; puede apuntar también la aparición del régimen de TCC. Se ha de considerar con detenimiento la física del sistema en cuestión para poder deducir correctamente qué implica la decoherencia en cada caso particular (Alfinito et al. 2001). Por otra parte, como apunta Zeilinger, la decoherencia consigue deshacerse de los términos de interferencia cuántica, pero no explica cómo llega a producirse un evento concreto (Abbott et al. 2008). En otras palabras, lo que percibimos es diferente dependiendo de la presencia o no de decoherencia, pero esta solo destruye el entrelazamiento cuántico, no el carácter estadístico de la teoría; la interpretación en términos de probabilidades permanece (al menos en el nivel fundamental de descripción). Por esta razón, algunos expertos argumentan que las indeterminaciones cuánticas no pueden ser completamente eliminadas en todos los casos. Algunas de ellas pueden amplificarse ocasionalmente hasta el nivel macroscópico (Stapp 2008; Sols 2013).

Roger Penrose, entre otros, ha llevado a cabo una profunda discusión de los problemas que presenta la comprensión de la decoherencia como una explicación completa de la transición de la MC a la física clásica (Penrose 2004). Con independencia de su propia posición respecto al papel de la MC en el problema mente-cerebro, Penrose muestra que la decoherencia no proporciona una ontología consistente para la realidad del mundo, resultando únicamente un procedimiento útil para cualquier propósito práctico. La decoherencia depende de la representación que se elija para el sistema, de modo que la matriz densidad reducida es finalmente diagonal en una base determinada pero, a menos que resulte ser la unidad (lo que significaría que no sabemos nada), será no diagonal en otra base. Más aún, no aborda el problema de cómo se produciría el colapso de la función de onda en sistemas aislados, ni la naturaleza del aislamiento para que el entorno pueda ignorarse. Tampoco nos dice qué parte del sistema debe considerarse como entorno, ni proporciona un límite para el tamaño del sistema que puede permanecer sujeto a la coherencia cuántica (Penrose and Hameroff 2011). La teoría de la decoherencia no resuelve ninguno de estos problemas, permaneciendo la siguiente cuestión: ¿qué significado tiene el término “clásico” en el caso de un sistema grande y complejo como el cerebro, que se convierte en una entidad clásica mientras que sus componentes (átomos y moléculas) responden todavía a la MC? (Salari et al. 2011).

Si bien los científicos no tienen por qué avanzar más en esta dirección, pudiendo limitarse a las pruebas empíricas disponibles, los filósofos de la ciencia y de la naturaleza podrían atisbar algunas conclusiones relevantes. Incluso si es cierto que, hoy por hoy, no poseemos evidencias concluyentes sobre la relevancia de la MC en el cerebro, la simple referencia a la complejidad clásica como explicación futura de la conciencia conduce a un callejón sin salida. Ya que la MC es la teoría física básica a partir de la que el comportamiento clásico se recupera gracias a la decoherencia, la decoherencia misma habría de entenderse en términos puramente cuánticos. Sin embargo, para que el conjunto funcione adecuadamente, es necesario recurrir a un tratamiento a priori diferente de las partes del sistema. Este último ha de dividirse en un subsistema y en un baño térmico (una idealización matemática del entorno) cuyos grados de libertad resultan promediados. Es necesario recurrir a un tratamiento diferente, *ad hoc*, de una parte del sistema físico. En este sentido, la decoherencia como explicación de la emergencia del régimen clásico en el cerebro —y de una conciencia causada finalmente por la complejidad— sería una teoría incompleta y dualista.

Según afirma Paul Davis, nos enfrentamos con la realidad de que la MC es incompleta en la medida en que ofrece una descripción probabilista del mundo y el resultado concreto de cualquier observación depende claramente del observador (Abbott et al. 2008), ya sea a través de él mismo o mediante un dispositivo de medida creado por él. Obviamente, todo ello no significa que la realidad es una pura creación de la conciencia, pero sí que la conciencia es necesaria para la percepción del más pequeño elemento de realidad objetiva. Así las cosas, las posibilidades que

restan para la investigación en el problema mente-cerebro son: (1) o bien la conciencia misma activa algún tipo de decoherencia, siendo una realidad no derivada de la física, acorde con las teorías arriba-abajo de la conciencia cuántica (subsección 3.2); (2) o bien la conciencia es el resultado de procesos físicos más sutiles, aún no bien entendidos, en línea con los modelos abajo-arriba de la conciencia cuántica (subsección 3.1). El progreso en la neurociencia debería discriminar entre estas dos posibilidades, pero podemos afirmar que la teoría física estándar excluye cualquier tipo de identidad entre la mente y el cerebro funcionando en un régimen clásico.

6 Consideraciones filosóficas [↑](#)

Puede darse una perspectiva equivocada cuando las relaciones entre la neurociencia y la MC se examinan solamente desde el punto de vista empírico. Mientras que tal actitud es legítima desde una posición estrictamente científica —véase, e.g., (Koch y Hepp 2006; Thomsen 2008)—, resulta temerario considerar los modelos basados en la interpretación estándar de la MC cargados de misticismo o pampsiquismo (Vannini 2008). Por el contrario, las perspectivas meramente instrumentales evitan cuidadosamente la discusión de cómo la naturaleza fundamentalmente cuántica de la realidad llega a hacerse clásica en las escalas físicas del cerebro supuestamente relevantes para la conciencia. La cuestión es insoslayable si todos los organismos biológicos deben obedecer las leyes de la física (Koch y Hepp 2006). Por ello, las reflexiones interdisciplinarias en el campo de la filosofía de la ciencia y de la naturaleza pueden ayudar a entender mejor los límites de las teorías científicas y a localizar aquellos enigmas a los que merece la pena dirigir las energías.

Algunos intentos de separar el problema de la conciencia de la MC se basan en el bien conocido hecho de la existencia de patrones de interferencia en los grados de libertad relevantes del sistema dependiendo de si la información sobre las trayectorias seguidas está disponible o no, con independencia de su registro en la conciencia de un observador humano. Por este motivo, la conciencia no jugaría un papel esencial en el proceso de medida y la MC no asignaría al observador humano un rol más especial que el que le asigna la teoría clásica. Yu y Nikolić afirman que “tener separados estos dos profundos misterios [la conciencia y la MC] podría resultar un importante paso adelante en la comprensión de cada uno de ellos” (Yu y Nikolić 2011). No obstante, mientras que su interpretación parece excluir la conexión entre el colapso de la función de onda y la conciencia actual, el vínculo sutil entre la decoherencia y la conciencia no tiene por qué eliminarse de esta manera. Podría haber correlaciones anteriores entre la conciencia y el dispositivo experimental para el experimento en cuestión, produciendo decoherencia la mera posibilidad de conocer los resultados. Como subraya Manousakis, construimos instrumentos para medir magnitudes basadas en nuestros conceptos; no tenemos la capacidad de medir magnitudes desconocidas. Un lugar de observación particular de la conciencia se origina al dividir la realidad en un instrumento de observación y un sistema observado. Una medición concreta consiste en una cuestión que la mente humana ha decidido preguntar a través de ese dispositivo (Manousakis 2006).

Evidentemente, la conexión entre MC y conciencia queda lejos de estar resuelta. En cualquier caso, la actual física fundamental apunta a que la clausura causal en los sistemas físicos, particularmente en el cerebro, es insostenible. El hecho de que, en la MC, las elecciones realizadas por observadores humanos no resulten determinadas por el estado físico del universo significa la quiebra de una de las propiedades básicas de las teorías científicas clásicas y la insuficiencia del estado neurológico del cerebro para determinar el comportamiento futuro (Stapp 2008). Esto suscita la cuestión de la existencia de una auténtica causalidad arriba-abajo en la naturaleza. Como señala Kauffman, resulta crucial que nos encontremos ante un proceso no describable mediante leyes y que, al mismo tiempo, no es aleatorio. No nos hallamos atrapados por el dilema de tener leyes deterministas para la causalidad eficiente —incluido el caos determinista— o descripciones aleatorias probabilistas de la mente y el cerebro. Parece existir una vía media entre el puro determinismo y la pura aleatoriedad. Incluso si se recurre a la decoherencia, no hay a priori ninguna ley determinista para ella. Hasta ahora, la incertidumbre cuántica y la decoherencia apuntan a un límite intrínseco del conocimiento científico bajo la forma de leyes, lo que podría indicar que el problema de la medida en MC no tiene solución dentro del actual paradigma científico. Es también notable que —más allá del régimen aparente de la MC— parecen darse efectos de una causalidad arriba-abajo en el campo del reconocimiento consciente, lo que hace dudar de la existencia de correlatos neurales de la conciencia independientes del contexto (Clark 2013).

La noción de causalidad arriba-abajo se emplea para subrayar la idea de que propiedades de niveles más altos de la realidad tienen influencia en niveles más bajos. Esto introduce la cuestión de la existencia y descripción de los diversos niveles en el cerebro. Atmanspacher y Rotter han esquematizado diferentes tipos de dinámica neuronal, cubriendo un espectro que va desde descripciones puramente estocásticas a puramente deterministas. Si nos movemos desde niveles microscópicos (subcelulares, moléculas ligadas a membranas) hasta niveles mesoscópicos (asambleas de neuronas) y niveles macroscópicos (grandes redes de poblaciones neuronales), son muy diferentes los modelos estocásticos y deterministas que resultan relevantes para la descripción. Más aún, no existe un umbral claro a partir del cual la dinámica neuronal es determinista o estocástica, ni reglas universales para determinar cómo es el paso de una dinámica a otra según se va cambiando de nivel. Incluso es posible hallar transformaciones matemáticas para cambiar de un tipo de descripción a otra. En resumen, las delicadas relaciones entre aleatoriedad y determinación hacen dudar de las posibilidades de inferir afirmaciones ontológicamente válidas a este respecto a partir de las descripciones neurodinámicas. Además, una reducción estricta de los niveles de descripción superiores a los inferiores fracasa en este contexto. La descripción del nivel inferior proporciona condiciones necesarias pero no suficientes para la descripción del nivel superior. Las características del nivel superior no resultan una consecuencia lógica necesaria a partir de las descripciones de los niveles inferiores ni pueden ser derivadas rigurosamente solo de estas últimas. Sin embargo, condiciones suficientes para la derivación de características de los niveles superiores pueden implementarse al identificar contextos que reflejan el tipo particular de contingencia que se da en tal situación (Atmanspacher and Rotter 2008). Este procedimiento no puede originarse a partir de los niveles inferiores, permaneciendo irreducible.

Hay por tanto una irreductibilidad de los contextos de niveles superiores, que juegan el papel de constricciones actuando “hacia abajo”. Ninguna de las versiones abajo-arriba o arriba-abajo de la causalidad resultan suficientes para describir la causalidad en el problema mente-cerebro. La existencia de correlaciones entre el cerebro y la mente es pacíficamente admitida, pero afirmar cuál es causa y cuál es efecto resulta absolutamente hipotético en la medida en que el modelo de causalidad queda sin especificar y no hay disponible un trasfondo teórico para la correspondiente interpretación. En particular, la afirmación de un determinismo óptico en la dinámica neuronal no puede defenderse con base en el conocimiento actualmente establecido; cualquier implicación que se quiera sacar a partir ahí corre el riesgo de ser fundamentalmente defectuosa. Así, el reduccionismo es no solo simplista sino, por lo general, falso. Esto resulta aún más manifiesto cuando se transita desde los diferentes niveles de descripción cerebral a los de la mente y el comportamiento (Atmanspacher y Rotter 2008). Kuljiš también ha señalado el desafío que implica —en términos de una integración interdisciplinar en busca de una comprensión coherente del problema— la riqueza de información presente en la multitud de escalas físicas y dominios conceptualmente desacoplados en la neurociencia contemporánea. Esta tarea por resolver incluye la hipótesis de la MC en el cerebro, pues representa el nivel mínimo que ha de ser considerado en una comprensión integral y unitaria del funcionamiento cerebral (Kuljiš 2010).

Estas reflexiones muestran la necesidad implícita de recurrir a un nivel superior antropológico al tratar de entender la realidad física y, en particular, la relación mente-cerebro. El problema de la conciencia es una manifestación de un problema gnoseológico más fundamental en la MC, que debería abordarse prestando atención a las implicaciones filosóficas subyacentes. Las leyes físicas son leyes cuánticas que, en algún límite no bien definido, se hacen clásicas. Por tanto, la pregunta inevitable es cómo sucede esto también en el cerebro. El puro recurso a la decoherencia es irrelevante en este punto de la discusión, ya que la definición del sistema y el entorno ha de hacerse a priori, sin poder derivarse estrictamente de la teoría. En otras palabras, para acceder cognitivamente a la realidad física, y en particular a la realidad física del cerebro, se requiere la actuación de un nivel superior antropológico. Dicho nivel no es derivable a partir de ninguna ley científica, sino una condición de posibilidad de la misma ciencia. Se promedian los grados de libertad del baño térmico porque conocemos a priori el tipo de información que estamos buscando en el sistema. El nivel antropológico, análogamente a cualquier otro nivel irreducible, introduce novedad en el mundo al hacer ciencia e interpretar sus resultados como conocimiento realmente informativo. Por lo que sabemos, el observador consciente proporciona el nivel más alto de procesamiento de información que se da en el universo. Introduce restricciones específicas que permiten una transición inequívoca de los niveles inferiores a los superiores.

La conciencia introduce en el mundo información humana que puede ser almacenada en los estados cuánticos objetivos del universo, según las leyes de la MC. La conciencia no crea la realidad, pero la determina hasta cierto punto. Permite un conocimiento más profundo de una naturaleza formada por diferentes niveles entrelazados, con diferentes propiedades epistémicas, que solo puede ser conocida por un ser con un poder cognitivo similar al del nivel

superior. Algunos científicos aseguran que la complejidad clásica podría llegar a explicar la emergencia de fenómenos como los pensamientos y la libertad (Tegmark 2000), pero el lenguaje de la complejidad en sí mismo no es diferente del lenguaje de la física estadística. Sin embargo, su interpretación —mediada por el nivel antropológico— puede llegar a añadir algo más. Dicha interpretación es estrictamente no materialista, pues no hay interpretación en la naturaleza puramente material (Searle 1997). En este sentido, la conciencia humana y la ciencia están totalmente relacionadas, constituyendo la segunda una exploración de la realidad diferente de la que pueden realizar los animales no humanos o los seres inertes. Como Hagan comenta acertadamente, al tratar el fenómeno de la conciencia o al sujeto como meramente otro objeto de estudio, no se da ninguna explicación de por qué sus grados de libertad deberían tener una connotación subjetiva o de cómo llegan a asociarse entre sí de un modo que no dependa de la asignación arbitraria de un observador. Mientras que el “objeto” es simplemente el nombre asignado a un subsistema del todo, el “sujeto” no es un producto arbitrario de la forma en que alguien elige analizar un sistema. La existencia de un objeto de estudio es un hecho relativo, dependiente del análisis, pero la existencia del sujeto es absoluta y su determinación es un hecho que necesita en sí mismo una explicación (Hagan et al. 2002). Parece, por tanto, que el marco filosófico de la MC es relevante en neurociencia para el problema mente-cerebro no tanto porque proporciona una aleatoriedad fundamental frente al determinismo, sino porque postula una influencia irreducible del acceso consciente del sujeto en la descripción de la realidad.

7 Conclusiones [↑](#)

La MC manifiesta nuestra incapacidad para entender la conciencia humana desde una aproximación puramente objetiva. Además de otros problemas bien conocidos, las teorías convencionales de la identidad mente-cerebro dependen crucialmente de los procesos de decoherencia para explicar la transición del mundo cuántico al clásico. Sin embargo, su implementación teórica requiere una elección subjetiva del sistema y del entorno cuyos grados de libertad han de ser suprimidos. Como consecuencia, las teorías identitarias de la mente y el cerebro, que confían implícita o explícitamente en la decoherencia, resultan insuficientes, al ocultar en sus cimientos lo que intentan explicar.

Los modelos que intentan introducir la MC como marco relevante para la neurociencia son diversos: algunos aplican simplemente el formalismo cuántico sin entrar en la discusión de los procesos físicos subyacentes; otros —las teorías abajo-arriba de la conciencia cuántica— consideran a la conciencia como una propiedad emergente de naturaleza cuántica, aún por determinar; finalmente, las teorías arriba-abajo de la conciencia cuántica tienden a ser dualistas, preconizando un rol primario de la conciencia en la naturaleza sin determinar el modo de interacción con el resto de la realidad. Hasta ahora, las pruebas experimentales han sido inexistentes o, como mucho, inconcluyentes, siendo la rivalidad binocular uno de los campos más prometedores desde el punto de vista empírico.

A pesar de hallarnos en una situación de *impasse*, lo que los modelos estudiados tienen en común es la comprensión de que el problema de la medida de la MC está íntimamente ligado al problema duro de la conciencia. Es muy improbable que avancemos en la resolución de uno de los problemas sin progresar en la del otro. Existe una literatura que considera este vínculo como un ejemplo de la falacia: “no entiendo A, no entiendo B, luego A y B deben estar relacionados”; sin embargo existen una serie de argumentos que muestran porqué dicha falacia no tendría lugar aquí. Puesto que la decoherencia es un procedimiento con limitaciones y prescripciones epistémicas, no podemos esperar entender la emergencia ontológica de la conciencia sin entender la paradoja de la medida en MC. Esta última debe jugar un papel relevante en todo el problema y es probable que no tenga la última palabra, pues también existen poderosas razones filosóficas que defienden una comprensión de la conciencia humana más allá de la ciencia natural (Arana 2015).

8 Bibliografía [↑](#)

Abbott, Derek, Julio Gea-Banacloche, Paul C. W. Davies, Stuart R. Hameroff, Anton Zeilinger, Jens Eisert, Howard Wiseman, Sergey M. Bezrukov y Hans Frauenfelder. 2008. “Plenary Debate: Quantum Effects in Biology: Trivial or

Not?" *Fluctuation and Noise Letters* 08 (01): C5-26. doi:10.1142/S0219477508004301.

Alfinito, Eleonora, Rosario G. Viglione y Giuseppe Vitiello. 2001. "The Decoherence Criterion." *Quantum Physics; Statistical Mechanics; Physics Education. Modern Physics Letters B* 15 (04n05): 127-35. doi:10.1142/S0217984901001410.

Amit, D.J. 1989. *Modeling Brain Function: The World of Attractor Neural Networks*. Cambridge: Cambridge University Press.

Arana, Juan. 2015. *La Conciencia Inexplicada. Ensayo Sobre Los Límites de La Comprensión Naturalista de La Mente*. Madrid: Biblioteca Nueva.

Atmanspacher, Harald. 2011. "Quantum Approaches to Consciousness." En *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, editado por Edward N. Zalta. <http://plato.stanford.edu/archives/sum2011/entries/qt-consciousness/>.

Atmanspacher, Harald, y Stefan Rotter. 2008. "Interpreting Neurodynamics: Concepts and Facts." *Cognitive Neurodynamics* 2 (4): 297-318. doi:10.1007/s11571-008-9067-8.

Beck, F, y J C Eccles. 1992. "Quantum Aspects of Brain Activity and the Role of Consciousness." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 89 (23): 11357-61. <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=50549&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>.

Bohm, David. 1990. "A New Theory of the Relationship of Mind and Matter." *Philosophical Psychology* 3 (2-3): 271-86. doi:10.1080/09515089008573004.

Caldeira, A.O., y A.J. Leggett. 1983a. "Quantum Tunnelling in a Dissipative System." *Annals of Physics* 149 (2): 374-456. doi:10.1016/0003-4916(83)90202-6.

Caldeira, A.O., y A.J. Leggett. 1983b. "Path Integral Approach to Quantum Brownian Motion." *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications* 121 (3): 587-616. doi:10.1016/0378-4371(83)90013-4.

Cashmore, Anthony R. 2010. "The Lucretian Swerve: The Biological Basis of Human Behavior and the Criminal Justice System." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107 (10): 4499-4504. doi:10.1073/pnas.0915161107.

Chalmers, David J. 1995. "Facing up to the Problem of Consciousness." *Journal of Consciousness Studies* 2 (3): 200-219. <http://www.ingentaconnect.com/content/imp/jcs/1995/00000002/00000003/653>.

Churchland, Patricia S.; y T.J. Sejnowski. 1992. *The Computational Brain*. Cambridge, Mass.: The MIT Press.

Clark, Andy. 2013. "Whatever next? Predictive Brains, Situated Agents, and the Future of Cognitive Science." *Behavioral and Brain Sciences* 36 (3): 1-73. doi:10.1017/S0140525X12000477.

Collini, Elisabetta, Cathy Y Wong, Krystyna E Wilk, Paul M G Curmi, Paul Brumer y Gregory D Scholes. 2010. "Coherently Wired Light-Harvesting in Photosynthetic Marine Algae at Ambient Temperature." *Nature* 463 (7281). Nature Publishing Group: 644-47. doi:10.1038/nature08811.

Conte, Elio. 2008. "Testing Quantum Consciousness." *NeuroQuantology* 6 (2): 126-39. <http://neuroquantology.com/index.php/journal/article/viewArticle/167>.

Conte, Elio, Andrei Yuri Khrennikov, Orlando Todarello, Antonio Federici, Leonardo Mendolicchio y Joseph P. Zbilut. 2009. "Mental States Follow Quantum Mechanics during Perception and Cognition of Ambiguous Figures." *Open Systems & Information Dynamics* 16 (1): 1-21. <http://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S1230161209000074>.

Crick, Francis. 1994. *The Astonishing Hypothesis: The Scientific Search for the Soul*. New York: Charles Scribner's and Sons.

- Dennett, Daniel. 1991. *Consciousness Explained*. Boston: Little, Brown and Company.
- Dennett, Daniel. 2003. *Freedom Evolves*. New York: Viking.
- Eagle, Antony. 2013. "Chance versus Randomness." En *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, editado por Edward N. Zalta. <http://plato.stanford.edu/archives/spr2013/entries/chance-randomness/>.
- Freeman, Walter J. 1979. "Nonlinear Dynamics of Paleocortex Manifested in the Olfactory EEG." *Biological Cybernetics* 35: 21–37. <http://www.springerlink.com/index/X11522V00452T3T8.pdf>.
- Freeman, Walter J., Roberto Livi, Masashi Obinata y Giuseppe Vitiello. 2012. "Cortical Phase Transitions, Non-Equilibrium Thermodynamics and the Time-Dependent Ginzburg-Landau Equation." *Biological Physics; Neurons and Cognition; Quantum Physics. International Journal of Modern Physics B* 26 (06): 1250035. doi:10.1142/S021797921250035X.
- Ghosh, S, T F Rosenbaum, G Aeppli y S N Coppersmith. 2003. "Entangled Quantum State of Magnetic Dipoles." *Nature* 425 (6953): 48–51. doi:10.1038/nature01888.
- Globus, Gordon. 2009. "Toward a Quantum Psychiatry: Hallucination, Thought Insertion and DSM." *NeuroQuantology* 8 (1): 1–12. <http://neuroquantology.com/index.php/journal/article/viewArticle/262>.
- Grush, Rick y Patricia S. Churchland. 1995. "Gaps in Penrose's Toilings." *Journal of Consciousness Studies* 2 (1): 10–29.
- Hagan, S, Stuart R. Hameroff y J.A. Tuszyński. 2002. "Quantum Computation in Brain Microtubules: Decoherence and Biological Feasibility." *Quantum Physics. Physical Review E* 65 (6): 061901. <http://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevE.65.061901>.
- Hameroff, Stuart R. 2007. "Orchestrated Reduction of Quantum Coherence in Brain Microtubules: A Model for Consciousness." *NeuroQuantology* 5 (1): 1–8.
- Hameroff, Stuart R. y Roger Penrose. 1996. "Conscious Events as Orchestrated Space-Time Selections." *Journal of Consciousness Studies* 3 (1): 36–53. <http://www.ingentaconnect.com/content/imp/jcs/1996/00000003/00000001/679>.
- Hameroff, Stuart R. y Roger Penrose. 2014. "Consciousness in the Universe." *Physics of Life Reviews* 11 (1). Elsevier B.V.: 39–78. doi:10.1016/j.plrev.2013.08.002.
- Hartmann, L, W. Dür y H.-J. Briegel. 2006. "Steady-State Entanglement in Open and Noisy Quantum Systems." *Quantum Physics. Physical Review A* 74 (5): 052304. doi:10.1103/PhysRevA.74.052304.
- Hiley, Basil J. y Paavo Pykkänen. 2005. "Can Mind Affect Matter via Active Information?" *Mind and Matter* 3 (2): 7–27.
- Irvine, E. 2012. "Old Problems with New Measures in the Science of Consciousness." *The British Journal for the Philosophy of Science* 63 (3): 627–48. doi:10.1093/bjps/axs019.
- Kauffman, Stuart A. 2008. *Reinventing the Sacred: A New View of Science, Reason, and Religion*. New York: Basic Books.
- Kauffman, Stuart A. 2009. "Physics and Five Problems in the Philosophy of Mind." *History of Physics. Edge*. July 15. <http://edge.org/conversation/five-problems-in-the-philosophy-of-mind>.
- Koch, Christof y Klaus Hepp. 2006. "Quantum Mechanics in the Brain." *Nature* 440 (7084): 611–12. doi:10.1038/440611a.
- Kuljiš, Rodrigo O. 2010. "Integrative Understanding of Emergent Brain Properties, Quantum Brain Hypotheses, and Connectome Alterations in Dementia Are Key Challenges to Conquer Alzheimer's Disease." *Frontiers in Neurology* 1 (August): 15. doi:10.3389/fneur.2010.00015.

- Lambert, Neill, Yueh-Nan Chen, Yuan-Chung Cheng, Che-Ming Li, Guang-Yin Chen y Franco Nori. 2013. "Quantum Biology." *Nature Physics* 9 (December). Nature Publishing Group: 10-18. doi:10.1038/nphys2474.
- Li, Jian y G S Paraoanu. 2009. "Generation and Propagation of Entanglement in Driven Coupled-Qubit Systems." *Quantum Physics; Mesoscale and Nanoscale Physics. New Journal of Physics* 11 (Noviembre): 113020. doi:10.1088/1367-2630/11/11/113020.
- Libet, B, E.W Wright y C.A Gleason. 1982. "Readiness-Potentials Preceding Unrestricted 'spontaneous' vs. Pre-Planned Voluntary Acts." *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 54 (3): 322-35. doi:10.1016/0013-4694(82)90181-X.
- London, Fritz y E. Bauer. 1939. *La Théorie de L'observation En Mécanique Quantique*. Paris: Hermann et Cie.
- Lucas, John R. 1961. "Minds, Machines and Gödel." *Philosophy* 36: 112-27.
- Manousakis, Efstratios. 2006. "Founding Quantum Theory on the Basis of Consciousness." *Foundations of Physics* 36 (6): 795-838. doi:10.1007/s10701-006-9049-9.
- Manousakis, Efstratios. 2009. "Quantum Formalism to Describe Binocular Rivalry." *Neurons and Cognition. Bio Systems* 98 (2): 57-66. doi:10.1016/j.biosystems.2009.05.012.
- McKemmish, Laura, Jeffrey Reimers, Ross McKenzie, Alan Mark y Noel Hush. 2009. "Penrose-Hameroff Orchestrated Objective-Reduction Proposal for Human Consciousness Is Not Biologically Feasible." *Physical Review E* 80 (2): 021912. doi:10.1103/PhysRevE.80.021912.
- Naundorf, Björn, Fred Wolf y Maxim Volgushev. 2006. "Unique Features of Action Potential Initiation in Cortical Neurons." *Nature* 440 (7087): 1060-63. doi:10.1038/nature04610.
- Panitchayangkoon, Gitt, Dugan Hayes, Kelly A Fransted, Justin R Caram, Elad Harel, Jianzhong Wen, Robert E Blankenship y Gregory S Engel. 2010. "Long-Lived Quantum Coherence in Photosynthetic Complexes at Physiological Temperature." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107 (29): 12766-70.
- Penrose, Roger. 1989. *The Emperor's New Mind. Concerning Computers, Minds, and The Laws of Physics*. Oxford: Oxford University Press.
- Penrose, Roger. 1994. *Shadows of the Mind*. Oxford: Oxford University Press.
- Penrose, Roger. 2004. *The Road to Reality*. London: Jonathan Cape.
- Penrose, Roger y Stuart R. Hameroff. 2011. "Consciousness in the Universe: Neuroscience, Quantum Space-Time Geometry and Orch OR Theory." *Journal of Cosmology*. <http://www.quantumconsciousness.org/Cosmology160.html>.
- Pereira, Alfredo. 2003. "The Quantum Mind / Classical Brain." *NeuroQuantology* 1: 94-118.
- Pothos, Emmanuel M. y Jerome R. Busemeyer. 2013. "Can Quantum Probability Provide a New Direction for Cognitive Modeling?" *Behavioral and Brain Sciences* 36 (03): 255-74. doi:10.1017/S0140525X12001525.
- Pregolato, Massimo. 2010. "Time for Quantum Consciousness." *Journal of Consciousness Exploration & Research* 1 (8): 898-906. <http://jcer.com/index.php/jcj/article/view/105>.
- Pusey, Matthew F., Jonathan Barrett y Terry Rudolph. 2012. "On the Reality of the Quantum State." *Quantum Physics. Nature Physics* 8 (6): 476-79. doi:10.1038/nphys2309.
- Rees, Geraint, Gabriel Kreiman y Christof Koch. 2002. "Neural Correlates of Consciousness in Humans." *Nature Reviews. Neuroscience* 3 (4): 261-70. doi:10.1038/nrn783.
- Reimers, Jeffrey R, Laura K McKemmish, Ross H McKenzie, Alan E Mark y Noel S Hush. 2009. "Weak, Strong, and

- Coherent Regimes of Fröhlich Condensation and Their Applications to Terahertz Medicine and Quantum Consciousness." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106 (11): 4219–24. doi:10.1073/pnas.0806273106.
- Sahu, Satyajit, Subrata Ghosh, Kazuto Hirata, Daisuke Fujita y Anirban Bandyopadhyay. 2013. "Multi-Level Memory-Switching Properties of a Single Brain Microtubule." *Applied Physics Letters* 102 (12): 123701. doi:10.1063/1.4793995.
- Salari, V, J.A. Tuszyński, M Rahnama y Gustav Bernroider. 2011. "Plausibility of Quantum Coherent States in Biological Systems." *Journal of Physics: Conference Series* 306 (July): 012075. doi:10.1088/1742-6596/306/1/012075.
- Sánchez-Cañizares, Javier. 2014. "The Mind-Brain Problem and the Measurement Paradox of Quantum Mechanics: Should We Disentangle Them?" *NeuroQuantology* 12 (1): 76–95. doi:10.14704/nq.2014.12.1.696.
- Schwartz, Jeffrey M, Henry P. Stapp y Mario Beauregard. 2005. "Quantum Physics in Neuroscience and Psychology: A Neurophysical Model of Mind-Brain Interaction." *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 360 (1458): 1309–27. doi:10.1098/rstb.2004.1598.
- Scott Kelso, J.A. 2008. "An Essay on Understanding the Mind." *Ecological Psychology: A Publication of the International Society for Ecological Psychology* 20 (2): 180–208. doi:10.1080/10407410801949297.
- Searle, John R. 1997. *The Mystery of Consciousness*. New York: New York Review of Books.
- Smith, C U M. 2001. "Renatus Renatus: The Cartesian Tradition in British Neuroscience and the Neurophilosophy of John Carew Eccles." *Brain and Cognition* 46 (3): 364–72. doi:10.1006/brcg.2001.1294.
- Smith, C U M. 2009. "The 'Hard Problem' and the Quantum Physicists. Part 2: Modern Times." *Brain and Cognition* 71 (2). Elsevier Inc.: 54–63. doi:10.1016/j.bandc.2007.09.004.
- Smith, Kerri. 2011. "Taking Aim at Free Will." *Nature* 477: 23–25.
- Sols, Fernando. 2013. "Uncertainty, Incompleteness, Chance, and Design." Editado por M.M. Carreira y Julio Gonzalo. *arXiv Preprint arXiv:1301.7036*. Singapore: World Scientific. <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1301/1301.7036.pdf>.
- Stapp, Henry P. 1996. "The Hard Problem: A Quantum Approach." *Quantum Physics. Journal of Consciousness Studies* 3 (3): 194–210. <http://www.ingentaconnect.com/content/imp/jcs/1996/00000003/00000003/707>.
- Stapp, Henry P. 2001. "Quantum Theory and the Role of Mind in Nature." *Foundations of Physics* 31 (10): 1465–1599. <http://www.springerlink.com/index/W6V3330730041224.pdf>.
- Stapp, Henry P. 2005. "Quantum Interactive Dualism: An Alternative to Materialism." *Journal of Consciousness Studies* 12 (11): 43–58. <http://www.ingentaconnect.com/content/imp/jcs/2005/00000012/00000011/art00003>.
- Stapp, Henry P. 2007. "The Quantum-Classical and Mind-Brain Linkages: The Quantum Zeno Effect in Binocular Rivalry." *General Physics. arXiv Preprint arXiv:0710.5569*, October, 12. <http://arxiv.org/abs/0710.5569>.
- Stapp, Henry P. 2008. *Philosophy of Mind and the Problem of Free Will in the Light of Quantum Mechanics*. General Physics. *arXiv Preprint arXiv:0805.0116*. <http://arxiv.org/abs/0805.0116>.
- Stapp, Henry P. 2009. "A Model of the Quantum-Classical and Mind-Brain Connections, and the Role of the Quantum Zeno Effect in the Physical Implementation of Conscious Intent." En *Mind, Matter and Quantum Mechanics*, editado por Henry P. Stapp, 261–73. Berlin-Heidelberg: Springer. doi:10.1007/978-3-540-89654-8_14.
- Summhammer, Johann y Gustav Bernroider. 2007. *Quantum Entanglement in the Voltage Dependent Sodium Channel Can Reproduce the Salient Features of Neuronal Action Potential Initiation*. Biological Physics. *arXiv Preprint arXiv:0712.1474*. <http://arxiv.org/abs/0712.1474>.

Summhammer, Johann, Vahid Salari y Gustav Bernroider. 2012. "A Quantum-Mechanical Description of Ion Motion within the Confining Potentials of Voltage-Gated Ion Channels." *Neurons and Cognition; Biological Physics. Journal of Integrative Neuroscience* 11 (2): 123–35. doi:10.1142/S0219635212500094.

Tegmark, Max. 2000. "Importance of Quantum Decoherence in Brain Processes." *Quantum Physics; Disordered Systems and Neural Networks; Neural and Evolutionary Computing; Biological Physics; Quantitative Biology. Physical Review E* 61 (4): 4194–4206. doi:10.1103/PhysRevE.61.4194.

Thomsen, Knud. 2008. "Is Quantum Mechanics Needed to Explain Consciousness?" *NeuroQuantology* 6 (1): 43–45.

Tuszyński, J.A., J.A. Brown y P. Hawrylak. 1998. "Dielectric Polarization, Electrical Conduction, Information Processing and Quantum Computation in Microtubules. Are They Plausible?" *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. A* 356 (Dustin 1984): 1897–1926.

Tuszynski, Jack A. 2006. *The Emerging Physics of Consciousness*. Berlin, Heidelberg: Springer.

Vannini, Antonella. 2008. "Quantum Models of Consciousness." *Quantum Biosystems* 2: 165–84. [165-184.pdf](http://www.quantumbiosystems.org/admin/files/QBS2_165-184.pdf)
http://www.quantumbiosystems.org/admin/files/QBS2_165-184.pdf.

Vedral, Vlatko. 2008. "Quantifying Entanglement in Macroscopic Systems." *Nature* 453 (7198): 1004–7. doi:10.1038/nature07124.

Vitiello, Giuseppe. 1995. "Dissipation and Memory Capacity in the Quantum Brain Model." *Quantum Physics. International Journal of Modern Physics B* 9 (08): 973–89. doi:10.1142/S0217979295000380.

Vitiello, Giuseppe. 2004. "The Dissipative Brain." *Other; Quantum Physics. In Brain and Being: At the Boundary Between Science, Philosophy, Language and Arts*, editado por Gordon Globus, K H Pribram y Giuseppe Vitiello, 315–34. Amsterdam: John Benjamins. <http://arxiv.org/abs/q-bio/0409037>.

Vitiello, Giuseppe. 2009. "Coherent States, Fractals and Brain Waves." *Neurons and Cognition; Other. New Mathematics and Natural Computation* 05 (01): 245–64. doi:10.1142/S1793005709001271.

Von Neumann, John. 1955. *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*. Princeton, N.J: Princeton University Press.

Wigner, Eugene P. 1967. *Symmetries and Reflections*. Bloomington: Indiana University Press.

Yu, S. y D. Nikolić. 2011. "Quantum Mechanics Needs No Consciousness." *Annalen Der Physik* 523 (11): 931–38. doi:10.1002/andp.201100078.

Zurek, Wojciech H. 2002. "Decoherence and the Transition from Quantum to Classical — Revisited." *Los Alamos Science* 27: 1–24.

9 Cómo Citar [↑](#)

Sánchez Cañizares, Javier. 2016. "Neurociencia y mecánica cuántica". En *Diccionario Interdisciplinar Austral*, editado por Claudia E. Vanney, Ignacio Silva y Juan F. Franck. URL=http://dia.austral.edu.ar/Neurociencia_y_mecánica_cuántica

10 Derechos de autor [↑](#)

DERECHOS RESERVADOS Diccionario Interdisciplinar Austral © Instituto de Filosofía - Universidad Austral - Claudia E. Vanney - 2016.

ISSN: 2524-941X

11 Herramientas académicas [↑](#)

Otros recursos en línea:

<http://plato.stanford.edu/entries/qt-consciousness/>

<http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/360/1458/1309>

http://www.tendencias21.net/La-conciencia-emerge-de-los-procesos-cerebrales_a26977.html

<http://quantum-mind.co.uk/>

<http://www.quantumconsciousness.org/>

12 Agradecimientos [↑](#)

La redacción de esta voz se ha beneficiado de valiosos intercambios científicos con N. Barrett, C. Blanco, F. Sols y J.I. Murillo. Un agradecimiento especial es debido al grupo “Mente-cerebro” del Instituto Cultura y Sociedad (ICS) de la Universidad de Navarra.