

LA POSIBILIDAD DE UNA “NEUROCIENCIA CUÁNTICA” SEGÚN ROGER PENROSE

THE POSSIBILITY OF A “QUANTUM NEUROSCIENCE” IN ACCORDING TO ROGER PENROSE

Desiderio Parrilla Martínez¹
Universidad Católica de Murcia (UCAM)

Recibido: 3-11-2015

Aceptado: 11-4-2016

Resumen: El artículo expone los elementos fundamentales de la “interpretación Penrose-Hameroff” sobre el colapso de función de onda, un hecho de la física cuántica estándar, que los autores introducen en neurofisiología a través de la llamada “teoría de la reducción objetiva orquestada”. La consecuencia de este postulado es un planteamiento novedoso que abre nuevas vías de investigación en la disciplina incipiente de la “nano-fisiología”, con importantes aportaciones a la cuestión mente-cerebro y las neurociencias en general.

Palabras clave: física cuántica, conciencia, cerebro, neurociencia.

Abstract: *This article presents the elements of the “interpretation of Penrose-Hameroff” about the collapse of wave function. Which it’s a fact of standard quantum physics, that was introduced into neurophysiology through the hypothesis of “orchestrated objective reduction” (Orch-OR). The consequence of this postulate is a new approach that opens up new lines of research in the emerging discipline of “nano-physiology”, with important contributions to the mind-brain question and neuroscience in general.*

Key words: *quantum physics, consciousness, brain, neuroscience.*

1. (dparrilla@ucam.edu) Doctor en Filosofía por la Universidad Complutense de Madrid con la tesis: “La paradoja del deseo en René Girard”. Ha sido profesor del Instituto de Humanidades Ángel Ayala de la Universidad San Pablo-CEU (2003-2004). Ejerció como profesor en la Universidad Francisco de Vitoria de Madrid (2007- 2010). Desde el curso 2010, trabaja como profesor adjunto del Departamento de Humanidades en la Universidad Católica de Murcia (UCAM). Vicepresidente de la asociación de estudios girardianos Xiphias Gladius (<http://www.xiphiasgladius.es/inicio.html>), asociada al Grupo internacional de investigación Imitatio (<http://www.imitatio.org/>). Orienta su labor investigadora hacia la escolástica y la filosofía en español.

Desde el establecimiento de la “doctrina de la neurona”, formulada por Santiago Ramón y Cajal, dos han sido los principales planteamientos adoptados en neurociencia para acometer el estudio de las funciones cerebrales de la percepción sensible.

En efecto, los intentos llevados a cabo por la psicobiología para acotar el concepto de “función consciente”, desde la formulación de esta piedra angular de la neurofisiología clínica, han sido los únicos posibles: uno es el que va del todo (neurona) a sus partes constitutivas (sistema citoesquelético); el otro es el que emprende el camino inverso: va de las partes constitutivas (neuronas) al todo (Sistema Nervioso Central).

El primer camino descende desde el nivel citoesquelético hasta el nivel microtubular, pudiendo alcanzar niveles moleculares e incluso infra-cuánticos; lo emprenden autores tan dispares como sir John Carew Eccles², Henry Stapp³ o el propio Roger Penrose. A este elenco de autores debemos añadir todos los científicos cuya investigación se desarrolla en torno a escuelas tan dispares como la “quantum mind” (Giuseppe Vitiello⁴, Hiroomi Umezawa⁵, Mari Jibu o Kunio Yasue⁶), la corriente de la “computación cuántica” (Jeffrey Goldstone o David Deutsch⁷), la “teoría del cerebro

2. Eccles, John C.: *Evolution of the Brain: Creation of the Self*. NY: Taylor & Francis, 1991. Ibidem: *How the Self Controls its Brain*. Berlin: Springer-Verlag, 1994. Beck, F., Eccles John C.: “Quantum processes in the brain: A scientific basis of consciousness” en *Cognitive Studies: Bulletin of the Japanese Cognitive Science Society* 5, 2, 1998, pp. 95-109. Beck, F., Eccles John C.: “Quantum aspects of brain activity and the role of consciousness”, en *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 89, 23, 1992, pp. 11357-11361. Beck, F.: “Synaptic Quantum Tunnelling”, en *Brain Activity*, 6, 2, 2008, pp. 140-151.

3. Stapp, H.: *Mindful Universe: Quantum Mechanics and the Participating Observer*. NY: Springer, 2011. Stapp, H; Schwartz, J. M; Beauregard, M.: “Quantum theory in neuroscience and psychology: A neurophysical model of mind-brain interaction”, en *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Series B, 360, 1458, pp. 1309-1327.

4. Del Giudice E., Doglia S., Milani M., Vitiello G.: “Electromagnetic field and spontaneous symmetry breaking in biological matter”, en *Nucl. Phys. B* 275, 1986, pp. 185-199. Del Giudice E, Preparata G, Vitiello G.: “Water as a free electric dipole laser”, en *Physical Review Letters* 61, 1988, pp. 1085-1088.

5. Ricciardi LM., Umezawa H.: “Brain and physics of many-body problems”, en *Kybernetik* 4, 1967, pp. 44-48.

6. Jibu M., Yasue K.: *Quantum Brain Dynamics and Consciousness: An Introduction*. Amsterdam: John Benjamins, 1995. Jibu M., Yasue K.: “What is mind? Quantum field theory of evanescent photons in brain as quantum theory of consciousness”, en *Informatika* 21, 1997, pp. 471-490.

7. Deutsch, D.: “Quantum theory, the Church-Turing principle and the universal quantum computer”, en *Proceedings of the Royal Society of London*, Series A, Mathematical and Physical Sciences 400, 1818, 1985, pp. 97-117.

holonómico” (Subhash Kak, Karl Pribram⁸) o las “teorías electromagnéticas de la conciencia” (Susan Pockett, Johnjoe McFadden⁹), los cuales sostienen en conjunto la primacía de la unidad intracelular e involucran fenómenos nano-fisiológicos en el funcionamiento del sistema nervioso.

Sin embargo, la segunda opción resulta el camino más practicado, por su perspectiva integral y holista de la actividad cerebral basada en el consolidado “canon modular” de Vernon B. Mountcastle, quien descubrió y sistematizó la organización columnar del córtex cerebral en la década de 1950. Este hallazgo supuso un punto de inflexión en el análisis del córtex; de hecho todos los estudios corticales del sistema sensorial se basaron en la organización columnar de Mountcastle a partir de la publicación de sus descubrimientos en 1957. Desde entonces el modelo se erigió en el paradigma central que domina la totalidad de rutinas y protocolos de la “ciencia normal” desarrollada en los laboratorios de neurofisiología, por expresarlo en términos de Thomas Kuhn, y que determina el campo genérico de la neurociencia a todos los niveles, tanto especializados como divulgativos, de intervención clínica y de estudio experimental, didáctico pero sobre todo de investigación y desarrollo. Es tal la acumulación de evidencias positivas arrojadas por el paradigma, y tal la fecundidad heurística que ha demostrado el modelo, que prácticamente no se concibe el desarrollo de la neurociencia al margen de sus presupuestos, situándose al mismo rango que la “teoría de la neurona” de Cajal. El modelo sirvió además de matriz para las principales sub-disciplinas neurocientíficas (conectografía, computación neurocientífica, neurociencia evolutiva, etc).

Según este modelo hegemónico de la comunidad neurocientífica, las funciones psíquicas superiores dependen de la interacción de estructuras neurales diferenciadas, organizadas en módulos que a su vez se localizan en regiones especializadas, y que son responsables de operaciones funcionales específicas. Este último modelo implica a su vez el estudio de la actividad cerebral paralela, o funcionamiento multifásico integrado, consistente en la actividad sintética del “córtex de asociación” que conecta las diversas regiones neuronales. En consecuencia, el neocórtex ha sido dividido en su extensión en diversas áreas por motivos anatómico-funcionales.

8. Pribram, K.: *Brain and perception: holonomy and structure in figural processing*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, 1991.

9. McFadden, J.: “The CEMI Field Theory: Gestalt information and the meaning of meaning”, en *Journal of Consciousness Studies*, Vol. 20, n. 3-4, 2013, pp. 152-182. McFadden J.: “The Conscious Electromagnetic Information (Cemi) Field Theory: The Hard Problem Made Easy?”, en *Journal of Consciousness Studies* 9, 8, 2002, pp. 45-60. McFadden, J.: “Synchronous Firing and Its Influence on the Brain’s Electromagnetic Field: Evidence for an Electromagnetic Field Theory of Consciousness”, en *Journal of Consciousness Studies* 9, 4, 2002, pp. 23-50. McFadden, J.: “The CEMI Field Theory: Seven Clues to the Nature of Consciousness”, en Jack A. Tuszynski (ed.): *The Emerging Physics of Consciousness*. Berlin: Springer, 2012, pp. 385-404.

Nada permite dudar hoy que la larga franja del córtex sensorial somático tenga una estructura en forma de mosaico, ni tampoco que la actividad desarrollada en estas zonas disfrute de una gran plasticidad en cuanto a su soporte neural. Se pone de manifiesto que la estructura columnar o modular depende de la distribución discreta de los aferentes tálamo-corticales (fibras AFF) que transmiten las entradas sensoriales. Exponer detalladamente cada una de las aportaciones del modelo nos obligaría a exponer virtualmente la investigación neurocientífica completa, dado que lo abarca todo sin que nada caiga fuera de su área de influencia¹⁰.

Sin embargo, ninguno de estos presupuestos o conclusiones del “locacionismo cerebral” es puesto en duda por los partidarios de la “neurofisiología cuántica” alternativa. Cuestión muy diferente es tratar de evaluar el resto de afirmaciones que acompañan a las neurociencias convencionales, y de mantener como datos científicos antitéticos que las operaciones conscientes asociadas a la sensibilidad surjan de las funciones específicas de estas zonas, sin estar implicada en modo alguno la actividad cuántica.

En todo caso, alrededor de estos dos centros de gravedad orbitará el criterio de asentimiento e interpretación de los eventos en las distintas áreas del córtex desde una u otra perspectiva, según el estudio se centre principalmente en la involucración de los aspectos microfísicos o bien se tienda a privilegiar el estudio de los sistemas macroscópicos asociados a la percepción. El primer planteamiento pone el acento en el estudio de las estructuras citoesqueléticas y su fisiología cuántica (microtúbulos y puentes MAP, agua “vicinal”, clatrininas en el botón sináptico del axón, pozos cuánticos, etc.)¹¹, mientras la segunda tendencia pone su énfasis en la movilización interna de un conjunto topológicamente definido de células nerviosas.

Sin embargo no deben establecerse falsas dicotomías, pues ambas perspectivas resultan complementarias y suelen colaborar como dos aspectos distinguibles, aunque inseparables, de los mismos programas de investigación habituales. La diferencia entre ambos reside en una cuestión de perspectiva, no en una querrela metodológica de planteamientos mutuamente excluyentes. Así, programáticamente, la hipótesis de que la conciencia en el cerebro se relaciona más bien “con procesos dentro de las neuronas, más que con conexiones entre las neuronas”, no obsta para reconocer –por ejemplo- que la actividad intracelular de los microtúbulos

10. Un magistral resumen historiográfico del modelo puede encontrarse en: Zeki, S.: *Una visión del cerebro*. Barcelona: Ariel, 1995, pp. 25-297.

11. Hameroff, S.: «Consciousness, neurobiology and quantum mechanics», en: J. Tuszynski (ed.), *The Emerging Physics of Consciousness*. NY: Springer, 2006. Hameroff, S. y Kaszniak, S. (eds.): *Toward a Science of Consciousness*. MIT Press, 1996.

contribuye al transporte axoplasmático y al desarrollo neuro-biológico del SNC a través de la transcripción genética.

En el presente artículo nos disponemos a exponer las teorías desarrolladas según la primera línea de investigación por el físico Roger Penrose en torno a la nano-neurología. Un punto de vista sin duda minoritario en los círculos científicos pero que, sin embargo, pretende enriquecer el proyecto estándar abriendo nuevas vías en la disciplina neurocientífica. Para sus partidarios, y también para sus detractores, la viabilidad de dicho proyecto neuro-cuántico dependerá en gran medida de la fecundidad de sus postulados para dar cuenta o no del fenómeno de la consciencia.

1. El modelo cuántico: colapso objetivo de la función de onda

Roger Penrose ha invertido los últimos veinte años en divulgar su modelo neuro-físico de la conciencia. Su publicación más ambiciosa, *El camino hacia la realidad* (2005), establece las coordenadas principales de la física moderna y los principales problemas a los que se enfrenta la disciplina en la actualidad. Se trata sin lugar a dudas de la obra científica con que culmina esta labor expositiva de los presupuestos físicos y matemáticos de su tesis fundamental. Sólo en el último capítulo, tras más de mil páginas de explicación físico-matemática, expone una estructura tripartita de la realidad dividida en tres mundos (matemático, físico y psíquico), como ya hiciera en obras anteriores, o en obras más recientes como *Los ciclos del tiempo* (2010)¹². Esta guía completa de las leyes del universo le permite dejar establecida la coyuntura físico-matemática que origina y fundamenta su modelo biofísico de la conciencia.

Sin embargo fue en *La nueva mente del emperador* (1989), donde Penrose dejó apuntada las líneas generales de su teoría¹³. En esta obra sostiene que la conciencia es el producto psíquico resultante de unos procesos físicos que no son computables; imposibles de ser simulados –por tanto- por un ordenador. La mente consciente surge en cierto parámetro mecano-cuántico, pero opera según procesos esencialmente distintos a la ejecución algorítmica de un computador. Para explicar la conciencia Penrose revisa los fundamentos de la física para encontrar elementos que no sean computables y que, por tanto, sirvan como discriminante entre la mente computacional y la conciencia humana. El modelo de conciencia que defiende Penrose, junto con Stuart Hameroff, depende de un suceso físico que parece

12. Penrose, R.: *Ciclos del tiempo*. Barcelona: Debate, 2010.

13. Penrose, R.: *La nueva mente del emperador*. Barcelona: Mondadori, 1991, cap. IX y X.

darse en el interior de las neuronas cuando la función de onda cuántica se colapsa por sí misma en una reducción objetiva orquestada¹⁴.

En este sentido, la mecánica clásica no resulta el marco epistemológico idóneo para describir el fenómeno de la conciencia. La segunda parte de *La nueva mente del emperador* revisa aquellos aspectos de la física con rasgos no computables. Su estudio de la mecánica clásica hamiltoniana, heredera de Newton, y las aportaciones relativistas de Einstein, arrojan un balance negativo respecto a la posibilidad de esclarecer el fenómeno de la percepción desde el punto de vista de la física clásica. Sin embargo, la física cuántica abre nuevos horizontes para establecer esa base física de la conciencia.

Mediante una exposición de los fundamentos cuánticos del mundo físico, Roger Penrose analiza el proceso de transición del sistema cuántico a los parámetros macroscópicos, a través de la medida cuántica. Aunque no encontremos formulada una teoría física definitiva de esta medida, se interpreta como una reducción de la superposición de estados cuánticos de un sistema físico en un estado clásico concreto. Esta reducción es denominada “colapso de la función de onda” en un estado clásico. Con la toma de medida cuántica se origina la transición desde el indeterminismo cuántico a la concreción clásica. El mecanismo físico que cubre esta discontinuidad no se conoce; ocurre aunque se ignoren las causas que lo propician.

La tesis maestra que Penrose establece en *La nueva mente del emperador* hay que situarla precisamente en esta relación entre el problema físico de la medida cuántica y el fenómeno de la conciencia como ámbito de determinación de toda medida y constatación perceptiva. Establece una conexión entre la transición cuántico-clásica y el fundamento físico de la conciencia, a través de un proceso denominado “reducción objetiva”. No obstante, Penrose no ha sido el primero en establecer el vínculo entre los procesos físico-cuánticos y la conciencia. Son numerosos los precursores que se anticiparon a su propuesta. Sin pretender ser exhaustivos podemos enumerar algunos de los precedentes de esta larga tradición: “el orden implicado” de David Bohm o “la mente cuántica” de Paul Dirac, Everett-Witt y la mente como aglutinadora de multiversos, el dualismo entre la dimensión cuántica inerte y el mundo clásico consciente de von Neumann

14. Hameroff, SR. y Watt, RC.: “Information processing in microtubules”, en *Journal of Theoretical Biology* 98, 1982, pp. 549-561. Hameroff SR, Craddock TJ, Tuszynski JA.: “Quantum effects in the understanding of consciousness”, en *J Integr Neurosci.*, 13, 2, 2014, pp. 229-52. Ibídem: “Quantum mathematical cognition requires quantum brain biology: the “Orch OR” theory”, en *Behav Brain Sci.*, 36, 3, 2013, pp. 287-90. Ibídem: “Quantum walks in brain microtubules-a biomolecular basis for quantum cognition?”, en *Top Cogn Sci.*, 6, 1, 2014, pp. 91-97.

o el observador consciente de Wigner como *conditio sine qua non* de la reducción cuántico-clásica¹⁵.

Roger Penrose, a diferencia de estos pioneros, posee la ventaja de proponer un criterio científico para determinar el colapso de la función de onda: la gravedad cuántica, la única fuerza de interacción física ajena al modelo estándar clásico¹⁶. Penrose respondió a las críticas de *La nueva mente del emperador* con el libro *Las sombras de la mente* (1994)¹⁷, y en 1996 con *Lo grande, lo pequeño y la mente humana*¹⁸. En esas obras, también combinó sus observaciones con la del anesthesiólogo Stuart Hameroff, quien le permitió dar el paso definitivo desde la física cuántica a la nano-fisiología¹⁹.

La tesis que Penrose avanza en estas obras para dar cuenta de la mente consciente es la siguiente: ante un estado de superposición cuántica, el mismo espacio-tiempo permanece en un estado de indefinición cuántica hasta que se establece una diferencia de energía superior al *quantum* de gravedad (el gravitón)²⁰. Entonces, se produce el colapso del espacio-tiempo cuántico en un espacio-tiempo clásico donde se obtiene el valor determinado tras la medida. Es entonces cuando el observador toma conciencia de este estado, precisamente porque este estado es la conciencia misma.

Las tesis de Penrose suponen una reacción contra la denominada “interpretación de Copenhague”. En su *Tratado de los fundamentos matemáticos de la Mecánica Cuántica*, John Von Neumann analizó profundamente el llamado problema de la medición. Llegó a la conclusión de que todo el universo físico podría estar sujeto a la ecuación de Schrödinger (la función de onda universal). También describió cómo la medida podría causar un colapso de la función de onda. Sin embargo, la “interpretación de Copenhague” concedía al acto de medición la responsabilidad de esta determinación responsable del colapso. Penrose rechaza este subjetivismo idealista que lastra la mencionada escuela, y opta por un modelo explicativo objetivo basado en procesos enteramente físicos ajenos a la conciencia o el acto de medida. No obstante, su alternativa pretende explicar el colapso en continuidad con las leyes de la física clásica sin introducir ninguna in-

15. Cfr. Lockwood, M.: *Mind, Brain, and the Quantum: The Compound “T”*. Oxford: Blackwell, 1989.

16. Penrose, R.: “On Gravity’s role in Quantum State Reduction”, en *General Relativity and Gravitation* 28, 1996, 581-600.

17. Penrose, R.: *Las sombras...*, *op. cit.*, pp. 368-398.

18. Penrose, R.; Shimony, A.; Cartwright, N., Hawking, S.; Longair, M.: *Lo grande, lo pequeño y la mente humana*. Madrid: Akal, 2006, pp. 10-85.

19. Hameroff, S., “Consciousness, Microtubules, & ‘Orch OR’”. A ‘Space-time Odyssey”, en *Journal of Consciousness Studies*, 21, No. 3-4, 2014, pp. 126-53.

20. Penrose, R.: “On the Gravitization of Quantum Mechanics 1: Quantum State Reduction”, en *Foundations of Physics* 44, 2014, pp. 557-575. Penrose, R.: “Quantum computation, entanglement and state reduction”, en *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, A 356, 1743, 1998, pp. 1927-1939.

novación *ad hoc* en el marco de la ciencia tradicional, tal como la existencia de “variables ocultas” (Louis de Broglie, David Bohm, John S. Bell) o la posibilidad de “universos paralelos” (Hugh Everett).

La idea de Penrose es un tipo de teoría de colapso objetivo, contrario a toda interferencia idealista o subjetivista. En estas teorías la función de onda es una onda física, cuya función de probabilidad sufre un colapso en razón de un proceso enteramente físico, donde los observadores no juegan ningún papel determinante. Penrose teoriza que la función de onda no se puede sostener en superposición más allá de cierta diferencia de energía entre los estados cuánticos; incluso concede un valor objetivo a esta diferencia: la “escala de Planck”, lo que supone alcanzar el “nivel energético” de un gravitón, donde opera el “principio de exclusión de Pauli” y la consiguiente distinción entre “bosones” y “fermiones”.

Como advertimos, la reducción cuántico-clásica es un proceso físico objetivo pautado por el criterio del gravitón, ajeno a cualquier subjetivismo idealista que reduzca la realidad física a un contenido de conciencia. Por el contrario, el estado consciente es una instancia concomitante a este mecanismo físico de la materia desarrollado rigurosamente bajo los parámetros cuánticos: «(...) el nivel neuronal de descripción que proporciona la imagen actualmente vigente del cerebro y la mente es una mera sombra del nivel más profundo de acción citoesquelética. ¡Y es en ese nivel más profundo donde debemos buscar las bases físicas de la mente!»²¹. La mente surge de estos mecanismos físicos manifestándose como estado de conciencia junto al determinismo corpóreo macroscópico. Penrose propone que un estado cuántico permanece en superposición hasta que la diferencia de curvatura del espacio-tiempo alcanza un nivel significativo. Como tal es una alternativa a la “interpretación de Copenhague”, que postula que la superposición se concretiza cuando se hace una observación, de modo que la decoherencia no obedece a un proceso físico objetivo de la naturaleza.

Cuando en 1989 escribió su primer libro *La nueva mente del emperador*, Penrose carecía de una propuesta detallada de cómo tales procesos cuánticos podrían implementarse en el cerebro. Posteriormente, Stuart Hameroff contactó con él tras leer el libro y sugirió a Penrose que ciertas estructuras citoesqueléticas dentro de las células cerebrales (los microtúbulos) serían candidatos adecuados para el procesamiento cuántico y en última instancia para la conciencia. De la síntesis de ambos planteamientos surgió la teoría de la “reducción objetiva orquestada” que se desarrolló en el segundo gran libro de Penrose sobre la conciencia, *Sombras de la mente* (1994), fruto de la cooperación entre ambos científicos.

21. Penrose, R.: *Sombras de la mente*. Barcelona: Crítica, 1996, p. 398.

2. El modelo neuro-fisiológico: la reducción orquestada objetiva

Sombras de la Mente (1994) supone la obra que concreta estas tesis mecano-cuánticas sobre la conciencia. Influida por algunas hipótesis fisiológicas del anestesiólogo Hameroff, Penrose traslada su propuesta de la “reducción objetiva” a la biofísica del cerebro. La pieza clave de su explicación es una estructura tubular de 25 nanómetros de diámetro y una longitud que alcanza el milímetro denominada “microtúbulos” formados por un tipo de proteínas denominadas tubulinas, que en apariencia presentan un doble estado conformacional según la disposición de sus electrones.

Cada conformación de la tubulina se corresponde con un estado cuántico. Por lo general, una tubulina permanece en una superposición cuántica de dos estados. En conjunto cada microtúbulo es una estructura conexa de múltiples *qubits* (o *bits* cuánticos, emisiones cuánticas discretas), que percibimos exclusivamente cuando acontece la reducción a un solo *qubit*²². Los microtúbulos se asocian en estructuras más complejas denominadas centriolos, formadas por un conjunto de nueve tripletes microtubulares con forma cilíndrica; a su vez, los centriolos se agrupan por pares en estructuras de cruz.

El modelo Penrose-Hameroff establece que los estímulos distales generan esta actividad cuántica en las tubulinas. Dentro del microtúbulo existe un estado especialmente ordenado del agua, llamado agua “vicinal”, que podría ayudar a mantener o desencadenar el estado de decoherencia cuántica. Hameroff propuso que esta agua ordenada podría detectar cualquier coherencia cuántica dentro de la tubulina de los microtúbulos desde el entorno del resto del cerebro. De hecho, cada tubulina tiene una elongación que se extiende hacia fuera de los microtúbulos, que está cargada negativamente, y por lo tanto atrae iones cargados positivamente. Se sugiere que este andamiaje enzimático podría proporcionar el puente entre los procesos electroquímicos de las neuronas y los procesos mecano-cuánticos responsables de la decoherencia cuántica, de cara a la interacción del medio ambiente. Los estados macroscópicos de coherencia cuántica acontecen, pues, en las tubulinas del microtúbulo. A partir de la excitación cito-esquelética sobrevenida por la actividad nerviosa aferente cada microtúbulo incrementa su nivel de coherencia, suficientemente aislado de las perturbaciones del entorno, hasta que media la transición cuántico-clásica postulada por el proceso de reducción objetiva.

Sin embargo, existe una diferencia con otros sistemas cuánticos, ya que la determinación del estado clásico se establece a partir de un agente

22. Hameroff, S. y Penrose, R.: “Reply to criticism of the ‘Orch OR qubit’-‘Orchestrated objective reduction’ is scientifically justified”, en *Physics of Life Reviews*, Vol. 11, 1, 2014, pp. 104-112.

proteico asociado a los microtúbulos llamado MAP. Según se alcanza cierto nivel de coherencia en el microtúbulo, el desplazamiento de las MAP provoca un incremento de energía superior al gravitón estándar (o *quantum* de gravedad), que causa la reducción objetiva. Entonces surge simultáneamente el cuerpo físico macroscópico sometido a la gravedad clásica y la percepción sensible que lo presencia mentalmente. Al tratarse de una reducción mediada por agentes internos, Penrose y Hameroff lo denominan proceso de “reducción objetivo y orquestado” por las MAP.

Tras el proceso de reducción objetiva y orquestada, los microtúbulos alcanzan un estado de concreción clásica. En esta fase clásica intermedia, entre la reducción cuántico-clásica y el nuevo incremento de coherencia cuántica, se forma un estado consciente. A intervalos de medio segundo se culmina un nuevo ciclo: formación del estado macroscópico de coherencia cuántica, reducción objetiva-orquestada y concreción de un estado clásico de conciencia. De esta manera, Penrose y Hameroff han argumentado que la conciencia es el resultado de los efectos de la gravedad cuántica en los microtúbulos, que denominaron “reducción orquestada objetiva”²³.

El estatuto de esta “reducción orquestada objetiva” ha sido, sin embargo, duramente criticado desde sus inicios por la comunidad científica y es objeto de un gran debate en la comunidad científica²⁴.

Una objeción fundamental a la hipótesis de la “reducción objetiva orquestada” fue propuesta en el año 2000 por el físico Max Tegmark que afirmaba que cualquier sistema coherente cuántico en el cerebro sufriría colapso de la función de onda debido a la interacción del medio ambiente mucho antes de que pudiera influir en los procesos neuronales²⁵. Tegmark señala que en los centriolos no se dan las condiciones adecuadas de aislamiento para que suceda el requerido colapso de la función de onda. Además, las mediciones obtenidas por él en la escala temporal de decoherencia en los microtúbulos, dada la elevada temperatura cerebral, se movía en

23. Hagan, S., Hameroff, S. y Tuszyński, J.: “Quantum Computation in Brain Microtubules? Decoherence and Biological Feasibility”, en *Physical Review*, E 65, 2002, pp. 1-10. Hameroff, S.: “Consciousness, Neurobiology and Quantum Mechanics”, en Tuszyński, J. (ed.) *The Emerging Physics of Consciousness*. NY: Springer, 2007, pp. 193-253. Hameroff, S. y Roger Penrose, R.: “Reply to seven commentaries on “Consciousness in the universe: Review of the ‘Orch OR’ theory”, en *Physics of Life Reviews*, Vol. 11, 1, 2014, pp. 94-100.

24. McKemmish, L.K., Reimers, J.R., McKenzie, R.H., Mark, A.E., and Hush, N.S.: “Penrose–Hameroff orchestrated objective-reduction proposal for human consciousness is not biologically feasible”, en *Physical Review E* 80, 2, 2009, 021912-021916. Georgiev, D.D.: “Falsifications of Hameroff–Penrose Orch OR model of consciousness and novel avenues for development of quantum mind theory”, en *NeuroQuantology* 5, 1, 2009, pp. 145-174. Christof, K., Hepp, K.: “Quantum mechanics in the brain”, en *Nature* 440, 7084, 2006, pp. 611ss.

25. Tegmark, M.: “The importance of quantum decoherence in brain processes”, en *Quantum Physics*, Vol. 61, n° 4, 2000, pp. 4194-4206.

un registro de femtosegundos (diez elevado a menos trece), un tiempo demasiado breve para resultar relevante en cualquier fenómeno consciente. Numerosos científicos se alinearon con el análisis de Tegmark, insistiendo en que la coherencia cuántica no juega, o no tiene que jugar, un papel importante en la neurofisiología²⁶.

La teoría de Penrose-Hameroff estableció algunas predicciones biológicas que han sido falsadas, y es considerado por algunos como un modelo de fisiología cerebral extremadamente deficiente. En este sentido, el doctor Kikkawa y su equipo refutó la tesis propuesta por Hameroff sobre la predominancia de microtúbulos A en celosía, más adecuados para el procesamiento de la información, demostrando que los microtúbulos en vivo tienen una celosía B y una costura²⁷. También se desechó su propuesta sobre la existencia de nexos intercelulares entre neuronas y células gliales²⁸. La tesis del colapso orquestado predecía que la coherencia de los microtúbulos alcanzaría las sinapsis a través de los cuerpos lamelares dendríticos (DLBS); sin embargo, De Zeeuw mostró que los DLBS se hallan varios micrómetros lejos de las uniones comunicantes de los botones sinápticos²⁹.

En enero de 2014, Hameroff y Penrose anunciaron el descubrimiento de las vibraciones cuánticas en los microtúbulos por Anirban Bandyopadhyay del Instituto Nacional para la Ciencia de los Materiales en Japón que supuestamente confirma la hipótesis de la teoría del colapso orquestado objetivo³⁰. A principios de 2015 se reveló que la aplicación transcranial de ciertos ultrasonidos mejora la memoria en ratones afectados por Alzheimer. Este experimento de un transmisor de ultrasonidos de alta frecuencia sintonizando con las vibraciones específicas de los microtúbulos ha sido interpretado como favorable a la teoría del colapso objetivo por nuestros autores, según su interpretación del “campo cemi” como resultado de un condensado de Bose-Einstein. No obstante, esta interpretación de la acti-

26. Christof, K., Hepp, K.: “Quantum mechanics in the brain”, en *Nature*, 440, 7084, pp. 611ss. Hepp, K., Coherence and decoherence in the brain”, en *Journal of Mathematical Physics*, Vol. 53, 9, 2012, pp. 095222-5.

27. Kikkawa, M., Ishikawa, T., Nakata, T., Wakabayashi, T., Hirokawa, N. “Direct visualization of the microtubule lattice seam both in vitro and in vivo”, en *Journal of Cell Biology* 127, 6, 1994, pp. 1965-1971. Kikkawa, M., Metlagel, Z., “A molecular “zipper” for microtubules”, en *Cell* 127, 7, 2006, pp. 1302-1304.

28. Binmöller, F. J. y Müller, C. M., “Postnatal development of dye-coupling among astrocytes in rat visual cortex”, en *Glia* 6, 2, 1992, pp. 127-137.

29. De Zeeuw, C.I., Hertzberg, E.L., Mugnaini, E., “The dendritic lamellar body: A new neuronal organelle putatively associated with dendrodendritic gap junctions”, en *Journal of Neuroscience* 15, 2, 1995, pp. 1587-1604.

30. Ghosh, S.; Sahu, S. y Bandyopadhyay, A.: “Evidence of massive global synchronization and the consciousness: Comment on *Consciousness in the universe: A review of the ‘Orch OR’ theory*”, en *Physics of Life Reviews*, Vol. 11, 1, 2014, pp. 83-84.

vidad electromagnética resulta problemática incluso para los propios autores. Hameroff sugirió originalmente que los electrones de la subunidad de tubulina formarían un condensado de Bose-Einstein, pero esto fue desacreditado³¹. A continuación, propusieron un condensado Fröhlich como una hipotética oscilación coherente de moléculas dipolares. Sin embargo, esto también ha sido experimentalmente cuestionado³².

A este respecto Roger Penrose suele reivindicar al físico Herbert Fröhlich como iniciador de la “nano-fisiología”³³, por su propuesta de una teoría sobre excitaciones cuánticas coherentes en los sistemas biológicos; un sistema que alcanza este estado de coherencia se conoce como un condensado de Fröhlich³⁴. Con esta aplicación de la física cuántica a la fisiología, Fröhlich es el origen de esta idea de que las ondas coherentes cuánticas podrían ser generadas en el circuito neuronal. Sus estudios pretendían demostrar que con una carga oscilante en un baño termal, un gran número de cuantos pueden condensarse en un solo estado conocido como un condensado de Bose, y que estas condiciones podían darse en el ámbito microfísico intracelular³⁵. Ya en 1970 Pascual-Leone había demostrado que los experimentos de memoria pueden ser modelados por el modelo de Bose-Einstein de ocupación³⁶. A partir de esta investigación y una gran cantidad de otros hallazgos empíricos (basados en estudios de EEG y psicometría) Weiss y Weiss llegaron a la conclusión generalizada de que la capacidad de memoria puede ser entendida como el número cuántico de un oscilador armónico, donde la memoria va a corresponder con un gas de Bose en equilibrio³⁷. Todas estas aportaciones constituyen el fuste sobre el que se levanta la “interpretación Penrose-Hameroff” y sobre la que incide

31. Penrose, R. y Hameroff, S., “Consciousness in the Universe: Neuroscience, Quantum Space-Time Geometry and Orch OR Theory”, en *Journal of Cosmology* 14, 2011.

32. Reimers, Jeffrey R.; McKemmish, Laura K.; McKenzie, Ross H.; Mark, Alan E.; Hush, Noel S.: “Weak, strong, and coherent regimes of Fröhlich condensation and their applications to terahertz medicine and quantum consciousness”, en *PNAS* 106, 11, 2009, pp. 4219-4224.

33. Penrose, R.: *Sombras de la mente*, op. cit., pp. 372, 388-390.

34. Fröhlich, H. y Kremer, F.: *Coherent Excitations in Biological Systems*. Springer-Verlag, 1983. Fröhlich, H. (ed.): *Biological Coherence and Response to External Stimuli*. Springer-Verlag, 1988.

35. Fröhlich, H.: “Long Range Coherence and Energy Storage in Biological Systems”, en *International Journal of Quantum Chemistry*, 2, 1968, pp. 641-649.

36. Pascual-Leone, J.: “A mathematical model for the transition rule in Piaget’s developmental stages”, en *Acta Psychologica*, 32, 1970, pp. 301-345.

37. Weiss V., Weiss H.: “The golden mean as clock cycle of brain waves”, en *Chaos, Solitons and Fractals*, 18, 2003, pp. 643-652.

el debate experimental más reciente de una disciplina como la “nano-fisiología” todavía incipiente.

3. Valoración filosófica de la propuesta de Roger Penrose

Frente a la mayoría de los físicos que tratan de extraer una teoría de la gravedad a partir de la cuantización, más o menos canónica, de la Relatividad General de Einstein, Penrose pretende seguir el camino inverso y edificar la Relatividad sobre la Física Cuántica. Su proyecto pasa, por tanto, por modificar la estructura básica del espacio-tiempo. En vez de interpretarla como el conjunto del espacio cuadridimensional de Minkowski, Penrose la define a partir de haces de luz asociados a un espacio de Penrose o de *twistores*. La teoría de *twistores*, desarrollada junto a Rindler en los dos volúmenes de *Spinors and Space-Time*, habilita un espacio-tiempo no-local que explicaría mejor los fenómenos cuánticos de no-localidad tipo Aspect³⁸. Dichos fenómenos pueden desempeñar una función holística, de coherencia cuántica generalizada, entre los microtúbulos del cerebro.

La postura de Penrose respecto del problema mente-cerebro no puede, por tanto, ser catalogada simplemente como un idealismo espiritualista ya que la mente surge en unas ciertas condiciones físicas objetivas, y sólo en ellas. En consecuencia, tampoco puede ser caracterizado como un idealismo absoluto, o irrestricto, porque dichas condiciones materiales están definidas por unas leyes física rigurosamente determinadas³⁹. Sin embargo, tampoco postula un materialismo o fisicalismo al uso, dado que la mente surge en este proceso mecano-cuántico sin que sea posible identificar o reducir el estatuto ontológico de la conciencia a un producto macroscópico de un sistema macroscópico anterior.

Por supuesto, la coherencia cuántica a gran escala no implica, por sí misma, conciencia. ¡De otro modo, los superconductores serían conscientes! Pese a todo es bastante posible que tal coherencia pudiera ser *parte* [las cursivas son del autor] de lo que se necesita para la conciencia. (...) Así, pues, sobre la base de las consideraciones que he estado presentando en este libro, uno podría conjeturar un nivel en el que pudiera empezar a estar presente el conocimiento consciente. (...) Por otra parte, incluso la intervención esencial de una acción de reducción objetiva precisa no computable,

38. Penrose, R.: *Los ciclos del tiempo*. Barcelona: debate, 2010. Penrose, R. y Rindler, W.: *Spinors and Space-Time: Volume 1 y 2, Two-Spinor Calculus and Relativistic Fields*. Cambridge University Press, 1987. Penrose, R. y Hawking, S.: *Cuestiones cuánticas y cosmológicas*. Madrid: Alianza Editorial, 1995. Hawking, S. y Penrose, R.: *La naturaleza del espacio y el tiempo*. Barcelona: Debate, 1996.

39. Chopra, D.: “Reality and consciousness: A view from the East: Comment on *Consciousness in the universe: A review of the ‘Orch OR’ theory*”, en *Physics of Life Reviews*, Vol. 11, 1, 2014, pp. 81-82.

no implicaría necesariamente por sí misma la presencia de consciencia, aunque en mi opinión sería un prerrequisito para la consciencia. Ciertamente, éste no es un criterio muy definido, pero es lo mejor que puedo ofrecer⁴⁰.

La mente y el sistema macroscópico se actualizan simultáneamente en el mismo proceso de decoherencia cuántica sin que exista una estructura física clásica previa, de la que ninguno de los dos pudiera derivar. El fenómeno de la mente –por tanto– no puede reducirse o identificarse con ningún sistema natural macroscópico sometido a la física clásica; en este sentido la propuesta de Roger Penrose tampoco supone un naturalismo reduccionista.

Como he afirmado en muchos apartados de este libro, me adhiero a este punto de vista, según el cual es en los fenómenos gravitatorios donde una reducción objetiva domina sobre la evolución de la función de onda. Esta reducción objetiva gravitatoria tendría lugar espontáneamente, y no requiere que un observador consciente forme parte del proceso. En circunstancias normales, habría frecuentes manifestaciones de reducción objetiva que ocurren continuamente, y estas conducirían a que a gran escala emerja un mundo clásico como excelente aproximación. Por consiguiente, no hay necesidad de invocar ningún observador consciente para conseguir la reducción del estado cuántico cuando tiene lugar la medida.

Por otra parte, imagino que el fenómeno de la consciencia –que considero que es un proceso físico *real*, que aparece «ahí fuera» en el mundo físico– hace uso fundamentalmente del proceso de reducción objetiva real. Así, pues, mi posición es básicamente la inversa de las antes mencionadas, en las que de un modo u otro se imagina que la consciencia es responsable del proceso de reducción. *En mi opinión, es un proceso de reducción físicamente real el que es (solo parcialmente) responsable de la propia consciencia* [las cursivas son nuestras]⁴¹.

Esta explicación de la consciencia parte de una anomalía de la física moderna: la incompatibilidad entre la teoría gravitatoria de Einstein y la física cuántica. En este sentido, Penrose augura una teoría completa de la gravedad que integre la hipotética gravedad cuántica en el conjunto de las demás interacciones físicas. Según Penrose, los avances en esta teoría supondrán valiosísimas aportaciones para la construcción de una teoría general de la consciencia. Porque, según nuestro autor, no hay gravedad cuántica sin consciencia cuántica y viceversa; ello apuntaría a una nueva teoría psico-física, que supere los mencionados materialismos clásicos, desbordando las categorías mente-cerebro tradicionales (interaccionismo,

40. Penrose, R.: *Sombras de la mente*, op. cit., pp. 430-431.

41. Penrose, R.: *El camino a la realidad: Una guía completa a las leyes del universo*. Barcelona: Debate, 2006, p. 1381.

reduccionismo naturalista, fisicalismo, paralelismo psico-físico, epifenomenismo, etc)⁴².

Para nuestro autor una teoría completa de la gravedad requiere explicar científicamente el proceso de reducción objetiva en coherencia con la Segunda Ley de la Termodinámica. De igual manera, dicha teoría no será completa si no ofrece una explicación física del psiquismo consciente. Necesariamente ha de explicar el funcionamiento físico de la conciencia, sin que esto suponga una reducción, un paralelismo o una identificación fisicalista clásica. Según sus autores, el modelo Penrose-Hameroff es una propuesta especulativa sobre el funcionamiento básico de la conciencia⁴³. Se trata de un modelo que permitiría explicar mejor el conjunto de rasgos fenomenológicos de la conciencia, sin incurrir en ninguna de las incongruencias de los modelos clásicos sobre la relación mente-cerebro.

En lo que se refiere estrictamente a las implicaciones filosóficas del modelo, es cierto que resulta complejo clasificar su doctrina de la conciencia, según los modelos anteriores de filosofía de la mente. Por un lado, se admite la conciencia como asociada a los cuerpos macroscópicos, pero sin identificarlos, aunque tampoco sin ser dos ámbitos completamente separados. Por otro lado, cabría referirnos a su modelo como un naturalismo opuesto al mecanicismo en su versión computacional, dado que no concibe la conciencia como un programa algorítmico.

Como queda explicado, para Roger Penrose el colapso de la función de onda no es un epifenómeno subjetivo originado por el observador en la toma de medida, en contra de la tradicional “interpretación de Copenhague”⁴⁴. De manera que los cuerpos tridimensionales, macroscópicos y con masa, no son epifenómenos surgidos de la conciencia de un observador⁴⁵. El “colapso de la función de onda” es un hecho físico genuino que surge en unas condiciones objetivas exclusivamente físicas. Pero dadas estas condiciones, junto al ámbito de la gravitación clásica, surge el ámbito fenoménico de la conciencia que registra estos hechos. La conciencia y el colapso resultan si-

42. Cfr. González Quirós, J. L.: *Mente y cerebro*. Madrid: Iberediciones, 1994.

43. Reimers, Jeffrey R.; McKemish, Laura K.; McKenzie, Ross H.; Mark, Alan E.; Hush, Noel S.: “The revised Penrose–Hameroff orchestrated objective-reduction proposal for human consciousness is not scientifically justified: Comment on *Consciousness in the universe: A review of the ‘Orch OR’ theory*”, en *Physics of Life Reviews*, Vol. 11, 1, 2014, pp.101-103.

44. Penrose, R.: *El camino a la realidad*, op. cit., pp. 1378-1382.

45. En la tradición neurológica el término “epifenómeno” se aplica para designar la conciencia como reflejo pasivo del contenido material (o ideal) del mundo. Lo emplean los representantes del materialismo científico-natural (Oskar Vogt, Thomas Huxley, Félix Le Dantec) y algunos filósofos idealistas (Eduard Hartmann, Friedrich Nietzsche, Santayana).

multáneos aunque no quepa la posibilidad de identificarlos, de manera que aquella no puede ser reducida a un epifenómeno de esta, ni a la inversa.

Tampoco puede calificarse de epifenomenista el modelo propuesto por Penrose añadiendo la salvedad de que nos encontramos ante un ejemplo de “epifenomenismo anómalo”, un epifenomenismo que no se desenvuelve por la escala de los procesos electro-químicos de la neurofisiología experimental clásica, sino en el nivel mecano-cuántico de la nano-fisiología más reciente, donde primaría más la intervención de la termodinámica que lo endocrino y glandular. Según esta matización, la teoría de la “reducción orquestada objetiva” sería considerada una especie de epifenomenismo, o emergencia, que no se sitúa en las coordenadas tradicionales de los “parámetros macroscópicos” de corte decimonónico al modo de Oskar Vogt (“del mismo modo que el páncreas segrega bilis, el cerebro excreta conciencia”), pero que sin embargo mantiene sus características esenciales. En este sentido, la postura fundamental de Roger Penrose identificaría la mente con un epifenómeno no mecanicista dependiente de la actividad cuántica. Sin embargo, el rechazo explícito por parte del autor de esta posibilidad impide calificar de “epifenomenista” su postura:

Cualquiera que sea el estatus de estas ideas, creo que una teoría física «fundamental» que proclame cualquier tipo de compleción en los niveles más profundos de los fenómenos físicos debe tener también la capacidad de acomodar la mentalidad consciente. Algunas personas tratarían de evitar (o empequeñecer) este problema, argumentando que la consciencia «emerge» simplemente como una especie de «epifenómeno». Por consiguiente, se afirmarían para la emergencia de la consciencia no importa el tipo exacto de física que pueda subyacer en los procesos físicos (no necesariamente biológicos) relevantes. Una postura estándar es la del funcionalismo computacional, según el cual es meramente la actividad computacional (de cierta naturaleza apropiada pero aún no especificada) la que da lugar a la mentalidad consciente. He argumentado con vehemencia contra esta idea, y he sugerido de hecho que la consciencia depende realmente de la teoría de la reducción objetiva (gravitatoria) de la que carecemos. Mis argumentos exigen que esta teoría debe ser una teoría no computacional (i. e. sus acciones caen fuera del ámbito de la simulación por una máquina de Turing). Las ideas teóricas para producir un modelo de reducción objetiva de este tipo están hoy en día en una fase muy preliminar, pero quizá haya aquí algunas claves⁴⁶.

Sin ánimo de desarrollar una tesis opuesta o paralela a la de Penrose y Hameroff, creemos necesario dilucidar los presupuestos de ésta -más allá de las valoraciones de sus propios autores- de una manera filosóficamente significativa. A tenor de las propuestas filosóficas, por lo demás escasas y dispersas, parece que nos encontramos más bien ante una “armonía pre-establecida” entre ambas dimensiones (el “sistema macroscópico” cerebral y la experiencia consciente) donde el agente sincronizador no

46. *Ibidem*, pp. 1382-1383.

sería ya el Dios de la “ontoteología clásica”, como postuló Leibniz, sino el complejo mecanismo cuántico que cabe establecer: la “reducción orquestada objetiva” que acontece en el interior de los microtúbulos.

Como queda dicho, esta teoría de la “reducción orquestada objetiva” (Orch-OR) combina el argumento anti-mecanicista de Penrose-Lucas con la hipótesis de Hameroff sobre el procesamiento cuántico en los microtúbulos. Se propone que cuando los condensados de Fröhlich en el citoesqueleto de los microtúbulos se someten a una reducción objetiva de la función de onda cuántica, su colapso origina la experiencia consciente no computacional conectada con la geometría fundamental del espacio-tiempo, sometida al mismo mecanismo. De este colapso de la función de onda surgirían no sólo los cuerpos masivos tetra-dimensionales, sino la propia decoherencia de las sub-unidades de tubulina y la experiencia consciente de los sistemas macroscópicos de la física clásica. La teoría propone que los microtúbulos influyen tanto como son influidos en la actividad electroquímica de las neuronas y que la mente consciente surge bajo las mismas condiciones que los cuerpos tetra-dimensionales sometidos al espacio-tiempo clásico. Penrose propone que un estado cuántico permanece en superposición hasta que la diferencia en la curvatura del espacio-tiempo alcanza un nivel significativo. Las funciones de onda son físicamente reales, de manera que a nivel bosónico los sistemas micro-físicos pueden existir en más de un estado y lugar al mismo tiempo. Pero una vez se supera el umbral del colapso de la función de onda, sobreviene la decoherencia y el consiguiente origen de los sistemas macroscópicos dotados de masa, como las neuronas, el cerebro o los demás sistemas macroscópicos, que no pueden existir en más de un lugar al mismo tiempo, porque la correspondiente diferencia de energía es muy grande, superior al nivel energético de un gravitón. Pero todos los sistemas macroscópicos, cualquiera que sea su índole, están posibilitados y unificados por el mismo mecanismo del colapso objetivo de la función de onda, que los mantiene en cierta coordinación subyacente.

El modelo Penrose-Hameroff presupone de esta manera cierta “armonía, u orquestación” entre los sistemas macroscópicos, la conformación microtubular y la conciencia, pero estos presupuestos no derivan de una previa doctrina metafísica de tipo dualista sino de la teoría científica que trata de construir puentes de unificación entre la física cuántica y la relatividad general de Einstein. En esta propuesta neuro-cuántica los ámbitos físico y psíquico quedan exentos, incomunicados a nivel macroscópico, pero posibilitados por el mismo mecanismo micro-físico: la reducción orquestada que pre-establece la armonía, u orquestación, entre el mundo macro-físico (cerebral y cósmico) y la conciencia. Esta reducción sería la que hace

posible no sólo la existencia factual de ambas dimensiones sino también el mecanismo que las coordina.

Esta coordinación sería una armonía pre-establecida que, según Penrose, permitiría además dar cuenta de una de las grandes lagunas explicativas del modelo neuro-científico convencional, referido a los factores paratéticos de la neurobiología (conexiones de interacción contigua, tales como ondas electromagnéticas, impulsos nerviosos, reacciones enzimáticas en las neuronas, etc.) y su incapacidad para dar cuenta de la actividad global coherente del SNC. El “modelo holístico” se funda en la física macroscópica y se sostiene en la actividad electroquímica del sistema nervioso, tanto de los estímulos “distales” (respecto a la corteza cerebral) como “proximales” (en relación a la fisiología, macroscópica, de esa corteza), todo lo cual posibilitó el hallazgo de la actividad cerebral en paralelo, uno de sus principales descubrimientos. Aunque el modelo estándar se ha mostrado incapaz de explicar desde sus coordenadas el mecanismo descubierto, el proceso ha quedado al menos apuntado de modo descriptivo en las disyuntivas entre el “procesamiento secuencial y simultáneo” o “serial/paralelo”, así como el resto de cuestiones aglutinadas bajo el rótulo genérico del “binding problem”.

La propuesta neuro-cuántica de Roger Penrose tiene muy presente en su formulación esta limitación explicativa del “modelo holístico”. De hecho la propone como demostración heurística de lo que el modelo macroscópico deja sin resolver, a saber: cómo a partir de la “neurona individual” (Eccles) o la “estructura modular” (Mountcastle) se puede explicar el hecho del procesamiento paralelo de las zonas cerebrales entre las que no hay contigüidad ni interacción electroquímica. Desde un punto neuro-anatómico, las regiones especializadas del SNC se determinan por contacto, es decir, el “locacionismo” implica siempre cierto “conexionismo”, pero esto deja en suspenso el enigma fisiológico de la perfecta coordinación del procesamiento en paralelo, donde los bloques del neo-córtex actúan al unísono sin contacto local, como evidencia la conectómica del mapeo cerebral. Efectivamente, ciertas zonas o regiones cerebrales espacialmente desconectadas entre sí, *partes extra partes*, actúan perfectamente sincronizadas, dándose a su vez una experiencia consciente, sin embargo, unitaria. «Es posible que pudiera existir alguna relación entre esta “unicidad” de la consciencia y el paralelismo cuántico. Recuérdese que, según la teoría cuántica, está permitido que coexistan en una superposición opciones diferentes en el nivel cuántico. Por lo tanto, un estado cuántico simple podría consistir en principio en un gran número de actividades diferentes, todas ellas ocurriendo simultáneamente»⁴⁷.

Para Penrose una vía heurística de explicación sería el “entrelazamiento cuántico” y la paradoja EPR, implicada en los experimentos de

47. Penrose, R.: *La nueva mente...*, op. cit., p. 356.

Aspect, de manera que el modelo microfísico completaría el modelo macroscópico estándar en este punto: “En nuestros propios cerebros existe una enorme organización, y puesto que la conciencia parece ser una característica muy global de nuestro pensamiento, parece que debemos buscar algún tipo de coherencia en una escala mucho mayor que el nivel de los simples microtúbulos o incluso los simples citoesqueletos. Debe haber enmarañamientos cuánticos significativos entre los estados en los citoesqueletos separados de gran número de neuronas diferentes, de modo que grandes áreas del cerebro estarían implicadas en algún tipo de estado cuántico colectivo”⁴⁸. Cada parte especializada estaría conectada con otras a través del mecanismo del entrelazamiento cuántico implicado en el ámbito de la “reducción objetiva orquestada”. Sería una acción recíproca o de comunidad sin contacto local, precisamente porque primarían las leyes EPR fundadas de modo objetivo tras las experiencias de Alain Aspect.

Con su experimento, Aspect confirmó la no localidad del universo en el ámbito de las partículas subatómicas, las cuales parecen interactuar a través de conexiones no locales. En su experimento dos fotones emitidos al mismo tiempo deben considerarse como un único estado cuántico, como una realidad enunciada por una única función de onda. Einstein y sus colegas Podolski y Rosen se negaban a aceptar la correlación a distancia no local entre partículas. Pensaban que debían existir variables ocultas (todavía no observadas) que distinguirían estos sistemas aparentemente idénticos (paradoja EPR). El experimento de Aspect bloqueó la mencionada paradoja a favor de la mecánica cuántica. El entrelazamiento se manifiesta entonces como un fenómeno cuántico, sin equivalente clásico, en el cual los estados cuánticos de dos o más objetos se deben describir mediante un estado único que involucra a todos los objetos del sistema, aún cuando los objetos estén separados espacialmente. Esas fuertes correlaciones hacen que las medidas realizadas sobre un sistema parezcan estar influyendo simultáneamente a otros sistemas que están enlazados con él, y sugieren que alguna influencia se tendría que estar propagando instantáneamente entre los sistemas, a pesar de la separación entre ellos.

La psicofísica decimonónica formuló la tesis del “paralelismo psico-físico” para escapar de las implicaciones onto-teológicas de la “armonía preestablecida”, pero asumió la tesis de Leibniz como punto de partida porque evitaba los nexos causales mejor que las doctrinas dualistas

48. Vid. Penrose, R.: *Las sombras de la mente: hacia una comprensión científica de la conciencia*. Barcelona: Editorial Crítica, 1996, p. 430. *Ibidem*, *El camino a la realidad: Una guía completa a las leyes del universo*. Barcelona: Debate, 2006, pp. 1382. Marshall I.N.: “Consciousness and Bose-Einstein Condensates”, en *New Ideas in Psychology*, 7, 1989, pp. 73-83. Zohar, D.: *The Quantum Self: Human Nature and Consciousness Defined by the New Physics*. New York: William Morrow and Company, 1990, pp. 215-230.

alternativas, tales como el interaccionismo cartesiano o el ocasionalismo de Malebranche. Conseguida de esta manera mantener la separación neta de lo mental respecto de lo físico, evitando cualquier vínculo causal metafísico, sin introducir por ello factores ajenos al campo estrictamente científico-positivo. La teoría de la “reducción objetiva orquestada” permite recuperar una “armonía preestablecida” formulada a un nivel estrictamente físico, a través de la teoría de la gravedad cuántica. Según la interpretación de Penrose y Hameroff esta “reducción objetiva orquestada” (Orch-OR) sería responsable de la existencia de la mente y los sistemas macro-físicos, incluido el cerebro, pero también de su conexión pues los elementos del complejo permanecerían vinculados por mecanismos de causalidad no local, implícitos en los procesos de entrelazamiento y superposición de la onda cuántica.

Referencias bibliográficas

Beck, F., Eccles John C.: “Quantum aspects of brain activity and the role of consciousness”, en *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 89, 23, 1992, pp. 11357-11361.

Beck, F., Eccles John C.: “Quantum processes in the brain: A scientific basis of consciousness” en *Cognitive Studies: Bulletin of the Japanese Cognitive Science Society* 5, 2, 1998, pp. 95-109.

Beck, F.: “Synaptic Quantum Tunnelling”, en *Brain Activity*, 6, 2, 2008, pp. 140-151.

Binmöller, F. J. y Müller, C. M.: “Postnatal development of dye-coupling among astrocytes in rat visual cortex”, en *Glia* 6, 2, 1992, pp. 127-137.

Chopra, D.: “Reality and consciousness: A view from the East: Comment on Consciousness in the universe: A review of the ‘Orch OR’ theory”, en *Physics of Life Reviews*, Vol. 11, 1, 2014, pp. 81-82.

Christof, K., Hepp, K.: “Quantum mechanics in the brain”, en *Nature* 440, 7084, 2006, pp. 611-12.

De Zeeuw, C.I., Hertzberg, E.L., Mugnaini, E., “The dendritic lamellar body: A new neuronal organelle putatively associated with dendrodendritic gap junctions”, en *Journal of Neuroscience* 15, 2, 1995, pp. 1587-1604.

Del Giudice E., Doglia S., Milani M., Vitiello G.: “Electromagnetic field and spontaneous symmetry breaking in biological matter”, en *Nucl. Phys. B* 275, 1986, pp. 185-199.

Del Giudice E, Preparata G, Vitiello G.: “Water as a free electric dipole laser”, en *Physical Review Letters* 61, 1988, pp. 1085-1088.

Deutsch, D.: “Quantum theory, the Church-Turing principle and

the universal quantum computer”, en *Proceedings of the Royal Society of London, Series A, Mathematical and Physical Sciences* 400, 1818, 1985, pp. 97-117.

Eccles, John C.: *Evolution of the Brain: Creation of the Self*. NY: Taylor & Francis, 1991.

Eccles, John C.: *How the Self Controls its Brain*. Berlin: Springer-Verlag, 1994.

Fröhlich, H.: “Long Range Coherence and Energy Storage in Biological Systems”, en *International Journal of Quantum Chemistry*, 2, 1968, pp. 641-649.

Fröhlich, H. y Kremer, F.: *Coherent Excitations in Biological Systems*. Springer-Verlag, 1983.

Fröhlich, H. (ed.): *Biological Coherence and Response to External Stimuli*. Springer-Verlag, 1988.

Georgiev, D.D.: “Falsifications of Hameroff–Penrose Orch OR model of consciousness and novel avenues for development of quantum mind theory”, en *NeuroQuantology* 5, 1, 2009, pp. 145-174.

Ghosh, S.; Sahu, S. y Bandyopadhyay, A.: “Evidence of massive global synchronization and the consciousness: Comment on Consciousness in the universe: A review of the ‘Orch OR’ theory”, en *Physics of Life Reviews*, Vol. 11, 1, 2014, pp. 83-84.

González Quirós, J. L.: *Mente y cerebro*. Madrid: Iberediciones, 1994.

Hagan, S., Hameroff, S. y Tuszyński, J.: “Quantum Computation in Brain Microtubules? Decoherence and Biological Feasibility”, en *Physical Review*, E 65, 2002, pp. 1-10.

Hameroff, S. y Kaszniak, S. y Scott, A. (eds.): *Toward a Science of Consciousness*. MIT Press, 1996.

Hameroff, S. y Penrose, R.: “Reply to criticism of the ‘Orch OR qubit’-‘Orchestrated objective reduction’ is scientifically justified”, en *Physics of Life Reviews*, Vol. 11, 1, 2014, pp. 104-112.

Hameroff, S. y Roger Penrose, R.: “Reply to seven commentaries on ‘Consciousness in the universe: Review of the ‘Orch OR’ theory’”, en *Physics of Life Reviews*, Vol. 11, 1, 2014, pp. 94-100.

Hameroff, S., “Consciousness, Microtubules, & ‘Orch OR’. A ‘Space-time Odyssey’”, en *Journal of Consciousness Studies*, 21, No. 3–4, 2014.

Hameroff, S.: “Consciousness, Neurobiology and Quantum Mechanics”, en Tuszyński, J. (ed.) *The Emerging Physics of Consciousness*. NY: Springer, 2006. pp. 193-253.

Hameroff, S. y Watt, RC.: “Information processing in microtubules”, en *Journal of Theoretical Biology* 98, 1982, pp. 549-561.

Hameroff, S.: “Quantum mathematical cognition requires quantum brain biology: the ‘Orch OR’ theory”, en *Behav Brain Sci.*, 36, 3, 2013, pp. 287-90.

Hameroff, S.: “Quantum walks in brain microtubules-a biomolecular basis for quantum cognition?”, en *Top Cogn Sci.*, 6, 1, 2014, pp. 91-97.

Hameroff, S.; Craddock TJ, Tuszyński JA.: “Quantum effects in the understanding of consciousness”, en *J Integr Neurosci.*, 13, 2, 2014, pp. 229-52.

Hawking, S. y Penrose, R.: *La naturaleza del espacio y el tiempo*. Barcelona: Debate, 1996.

Hepp, K., Coherence and decoherence in the brain”, en *Journal of Mathematical Physics*, Vol. 53, 9, 2012, pp. 095222-5.

Jibu M., Yasue K.: *Quantum Brain Dynamics and Consciousness: An Introduction*. Amsterdam: John Benjamins, 1995.

Jibu M., Yasue K.: “What is mind? Quantum field theory of evanescent photons in brain as quantum theory of consciousness”, en *Informatica* 21, 1997, pp. 471-490.

Kikkawa, M., Ishikawa, T., Nakata, T., Wakabayashi, T., Hirokawa, N. “Direct visualization of the microtubule lattice seam both in vitro and in vivo”, en *Journal of Cell Biology* 127, 6, 1994, pp. 1965-1971.

Kikkawa, M., Metlagel, Z., “A molecular “zipper” for microtubules”, en *Cell* 127, 7, 2006, pp. 1302-1304.

Lockwood, M.: *Mind, Brain, and the Quantum: The Compound “I”*. Oxford: Blackwell, 1989.

Marshall I.N.: “Consciousness and Bose-Einstein Condensates”, en *New Ideas in Psychology*, 7, 1989, pp. 73-83.

McFadden J.: “The Conscious Electromagnetic Information (Cemi) Field Theory: The Hard Problem Made Easy?”, en *Journal of Consciousness Studies* 9, 8, 2002, pp. 45-60.

McFadden, J.: “Synchronous Firing and Its Influence on the Brain’s Electromagnetic Field: Evidence for an Electromagnetic Field Theory of Consciousness”, en *Journal of Consciousness Studies* 9, 4, 2002, pp. 23-50.

McFadden, J.: “The CEMI Field Theory: Gestalt information and the meaning of meaning”, en *Journal of Consciousness Studies*, Vol. 20, n. 3-4, 2013, pp. 152-182.

McFadden, J.: “The CEMI Field Theory: Seven Clues to the Nature of Consciousness”, en Jack A. Tuszyński (ed.): *The Emerging Physics of Consciousness*. Berlin: Springer, 2012, pp. 385-404.

McKemmish, L.K., Reimers, J.R., McKenzie, R.H., Mark, A.E., and Hush, N.S.: “Penrose–Hameroff orchestrated objective-reduction proposal for human consciousness is not biologically feasible”, en *Physical Review E* 80, 2, 2009, 021912-021916.

Pascual-Leone, J.: “A mathematical model for the transition rule in Piaget’s developmental stages”, en *Acta Psychologica*, 32, 1970, pp. 301-345.

Penrose, R. y Hawking, S.: *Cuestiones cuánticas y cosmológicas*. Madrid: Alianza Editorial, 1995.

Penrose, R.: “On Gravity’s role in Quantum State Reduction”, en *General Relativity and Gravitation* 28, 1996, 581-600.

Penrose, R.: “Quantum computation, entanglement and state reduction”, en *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, A 356, 1743, 1998, pp. 1927-1939.

Penrose, R.: “On the Gravitization of Quantum Mechanics 1: Quantum State Reduction”, en *Foundations of Physics* 44, 2014, pp. 557-575.

Penrose, R. y Rindler, W.: *Spinors and Space-Time: Volume 1 y 2, Two-Spinor Calculus and Relativistic Fields*. Cambridge University Press, 1987.

Penrose, R.: *La nueva mente del emperador*. Barcelona: Mondadori, 1991.

Penrose, R.: *Las sombras de la mente: hacia una comprensión científica de la consciencia*. Barcelona: Editorial Crítica, 1996.

Penrose, R.; Shimony, A.; Cartwright, N., Hawking, S.; Longair, M.: *Lo grande, lo pequeño y la mente humana*. Madrid: Akal, 2006.

Penrose, R.: *El camino a la realidad: Una guía completa a las leyes del universo*. Barcelona: Debate, 2006.

Penrose, R.: *Los ciclos del tiempo*. Barcelona: Debate, 2010.

Pribram, K.: *Brain and perception: holonomy and structure in figural processing*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, 1991.

Reimers, Jeffrey R.; McKemmish, Laura K.; McKenzie, Ross H.;

Mark, Alan E.; Hush, Noel S.: “Weak, strong, and coherent regimes of Fröhlich condensation and their applications to terahertz medicine and quantum consciousness”, en *PNAS* 106, 11, 2009, pp. 4219-4224.

Reimers, Jeffrey R.; McKemmish, Laura K.; McKenzie, Ross H.; Mark, Alan E.; Hush, Noel S.: “The revised Penrose–Hameroff orchestrated objective-reduction proposal for human consciousness is not scientifically justified: Comment on Consciousness in the universe: A review of the ‘Orch OR’ theory”, en *Physics of Life Reviews*, Vol. 11, 1, 2014, pp.101-103.

Ricciardi LM., Umezawa H.: “Brain and physics of many-body problems”, en *Kybernetik* 4, 1967, pp. 44–48.

Stapp, H.: *Mindful Universe: Quantum Mechanics and the Participating Observer*. NY: Springer, 2011.

Tegmark, M.: “The importance of quantum decoherence in brain processes”, en *Quantum Physics*, Vol. 61, n° 4, 2000, pp. 4194-4206.

Weiss V., Weiss H.: “The golden mean as clock cycle of brain waves”, en *Chaos, Solitons and Fractals*, 18, 2003, pp. 643-652.

Zeki, S.: *Una visión del cerebro*. Barcelona: Ariel, 1995, pp. 25-297.

Zohar, D.: *The Quantum Self: Human Nature and Consciousness Defined by the New Physics*. New York: William Morrow and Company, 1990.

