

UNED

TRABAJO DE FIN DE MASTER

LÓGICA, HISTORIA Y FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

(código 30001361)

**APROXIMACIONES DE LA MECÁNICA CUÁNTICA A LA CONCIENCIA
LA HIPÓTESIS DE HENRY STAPP**

Autor: Letizia Unzain Tarantino

Director: Julio C. Armero San José

Mayo 2013

A: José

*Mis agradecimientos a Adán Garriga
por sus inestimables aclaraciones*

APROXIMACIONES DE LA MECÁNICA CUÁNTICA A LA CONCIENCIA

LA HIPÓTESIS DE HENRY STAPP

ÍNDICE

- I. Introducción - Conciencia: causalidad y correlaciones
- II. Conciencia integrada y conciencia superveniente. Alva Noë y David Chalmers.
- III. La nueva física.
- IV. Interpretaciones de la mecánica cuántica. La onda-piloto de Bohm.
 - IV.1 La onda-piloto de Bohm
- V. Mecánica cuántica y conciencia
 - V.1 Henry Stapp: la conciencia como dimensión de la realidad
 - V.1.1 Las dos físicas: dos descripciones
 - V.1.2 El postulado de la medida
 - V.1.3 El punto de vista ontológico
 - V.1.4 El punto de vista epistemológico
 - V.1.5 El efecto *Quantum Zeno*
 - V.1.6 Conclusiones
 - V.2 Otros modelos
 - V.2.1 La interpretación de Everett (vista por Chalmers)
 - V.2.2 El modelo Penrose-Hameroff
 - V.2.3 Modelo basado en la doble solución de la función de onda
- VI. Conclusiones

I. Introducción

Conciencia: causalidad y correlaciones

Varias aproximaciones nos pueden acompañar al punto central de la cuestión, que en definitiva consiste en poder explicar las correlaciones existentes entre los fenómenos mentales, concretamente y lo que más interesa al objeto de este trabajo, el fenómeno de la conciencia y los procesos corporales asociados temporalmente coincidentes con aquél.

Sin embargo, de acuerdo con Chalmers, las neurociencias ofrecen tales correlaciones, pero no son capaces de explicarlas.

Las “correlaciones claman una explicación”¹, pues “una vez una correlación haya sido identificada, la nueva tarea para la ciencia consiste en desarrollar un modelo teórico que la explique. Tal modelo toma forma de una historia que tiene como soporte ecuaciones matemáticas”.

Nicolas Gisin, lo explica más adelante en su texto, quiere decir que toda correlación de hechos físicos descritos por la ciencia, deben poder explicarse en formalismo matemático y con ecuaciones, en concreto aplicando los dos modelos causales de causa directa y de causa común. Esta causalidad se quiebra tanto en las explicaciones de las correlaciones de la mecánica cuántica, de las que se ocupa Gisin en su texto, como en las de la conciencia, como observará Chalmers, partiendo de la premisa de que la conciencia es un hecho de la naturaleza, aunque como afirma este autor, discorra “incomódamamente” en el confín entre ciencia y filosofía.

Por tanto también para la conciencia haría falta un modelo teórico.

Según Hawking y Mlodinov,² para que pueda hablarse de modelo es preciso que se satisfagan los siguientes requisitos:

- que sea elegante
- que contenga pocos elementos arbitrarios o ajustables
- que concuerde con las observaciones existentes o proporcione su explicación
- que realice predicciones detalladas sobre observaciones futuras que permitan refutar o falsar el modelo, caso de que no sean confirmadas.

¹ Nicolas GISIN, *Quantum correlations in Newtonian space and time: arbitrarily fast communications or nonlocality* 2012

² Stephen HAWKING y Leonard MLODINOV, *El Gran Diseño* 2010 (p.60)

En el presente trabajo se analizará el *modelo* causal de Henry Stapp, que si no logra plenamente el cumplimiento de todos estos requisitos, se basa en la versión de un modelo que arroja resultados empíricamente demostrables y que fundamenta la posibilidad de un nexo causal entre ambos tipos de sucesos o fenómenos, siendo la hipótesis de Stapp una de las hipótesis de la conciencia basada en la mecánica cuántica, que desde el punto de vista filosófico adopta una visión dualista de la realidad.

También dualista es la visión de Noë, que señalaré brevemente, que ve la conciencia como entidad que integra al ente biológico que percibe, con el mundo.

Teniendo en cuenta que también Chalmers se decanta por un dualismo naturalista, me detendré brevemente en la propuesta que este efectúa en 1996 sobre la causalidad de la conciencia, que pretende refutar el reduccionismo fisicalista o el eliminativismo en todo caso de la conciencia como entidad *existente*, para a continuación realizar una aproximación a otras de las hipótesis de la conciencia vinculadas a la teoría cuántica.

II. Conciencia integrada y conciencia superveniente. Alva Noë y David Chalmers.

Alva Noë 2010³ considera que aquellos que recalcan que el cerebro construye una imagen interna del mundo, que lo que experimentamos es una imagen interna confabulada por aquél y no por el mundo en sí, lo que evidencian es que el mundo, al menos el determinado por las experiencias visuales, es una gran ilusión y lo que aportan (aquellos que recalcan que el cerebro constituye una imagen interna del mundo) a la corriente de pensamiento, es un nuevo escepticismo que insiste en que no podemos ver más que de lo que nos es dado, a pesar de que creamos lo contrario.

La hipótesis de la “gran ilusión”, para Noë es mala filosofía y la ciencia cognitiva acorde a ella es mala ciencia .

Los defensores del nuevo escepticismo, entre otros Daniel Dennett o Susan Blackmore, en realidad lo que cometen, a criterio de Noë, es un grave error, al no tener en cuenta que a nosotros, perceptores, no nos parece que el cerebro construya un modelo interno del mundo sino que lo que nos parece es que el mundo está allí y que nosotros no solo estamos en él sino que el mundo está a nuestra disposición.

No todo es psicología o neurociencia, afirmaba Frege⁴, pues si así fuera éstas contendrían en sí

³ Alva NOË, Fuera de la cabeza 2010 (p. 174-175)

⁴ Gottlob FREGE *El Pensamiento: una investigación lógica* 1918 (trad. Valdés Villanueva)

todas las ciencias o se elevarían a la medida de todas las ciencias. “No somos portadores de los pensamientos, como somos portadores de nuestras representaciones”.

Al igual que Noë, y siendo también su punto de vista antirreduccionista, considera que tener impresiones visuales es ciertamente necesario para ver las cosas pero no suficiente⁵.

“Puesto que lo decisivo reside en algo de carácter no sensorial, podría, también incluso sin la concurrencia de impresiones sensoriales, conducirnos fuera del mundo interior y facilitarnos la captación del pensamiento”.⁶

“La captación del pensamiento presupone a alguien que capta, alguien que piensa. Ese es, pues, el portador del pensar, pero no del pensamiento”.⁷

Y dualista, pues distingue entre sujeto pensante y mundo (en el que se encuentran los pensamientos).

Tenemos por tanto también en Frege lo que se podría llamar doble capacidad, la intrínseca y funcional del pensar y la de captar el mundo.

Para Noë el fenómeno de la conciencia es integrador e interactúa con el entorno, necesariamente, siendo el entorno una entidad ontológicamente distinguible de la conciencia, a la par que una extensión "accesible" de la misma.

“Que el mundo esté a mi disposición es, ante todo, que está realmente allí y, en segundo lugar, que poseo las aptitudes necesarias para lograr acceso a él. (..) Aunque yo no represento todos los detalles a la vez, tengo acceso a todos los detalles”.⁸

Y esto no significa para Noë ser víctima de una gran ilusión.

Este no localiza la mente en el cerebro pues, privilegiando la posición del entorno en cualquier acto perceptivo, integra al ente perceptivo en aquél.

Nuestra “conciencia perceptiva del mundo como un lugar predecible depende de que el mundo sea realmente así” y por otro lado, nuestras aptitudes perceptivas han evolucionado para que se haya podido dar la vida en la tierra en base a la evolución.

El mundo, prosigue Noë, no es un constructo mental y nuestra mente consciente opera en consonancia activa con el mundo, es todo lo que nos rodea quien determina la naturaleza de esta experiencia y no solo nuestro sistema perceptivo, a pesar de que muchos científicos asumen esta premisa y a pesar de que la ciencia de la vista, en tanto que ejemplo emblemático de la actividad

⁵ Ib. (p.81)

⁶ Ib.

⁷ Ib.

⁸ Alva NOË, *Fuera de la cabeza* 2010 (p.176)

perceptiva, no ha demostrado que el mundo visual sea una fabricación del cerebro.⁹

Nos recuerda, emulando a Descartes,¹⁰ que todo científico es consciente de la falacia implícita en esta suposición, al menos hasta que no sepamos explicar cómo logra el ojo mental “ver” el cuadro retiniano.

David Chalmers¹¹ también se decanta por un dualismo naturalista, al no poder demostrar la causalidad en base a la superveniencia lógica de la experiencia consciente con base y origen en los fenómenos físicos fundamentales.

Su línea argumental no se fundamenta en un análisis inferencial de causas directas o causas comunes sino que su argumentación es modal y se centra en la noción de superveniencia lógica, si bien con su análisis va más allá y explora otros argumentos que pudieran hacer posible una teoría de la conciencia, como son los argumentos derivados de la teoría de la información.

Hace uso de esta noción de partida, la de superveniencia, como marco explicativo de una serie o concatenaciones de hechos y propiedades físicamente relevantes y dependientes que instanciarían el denominado cierre causal de lo físico.

De esta manera las propiedades biológicas supervienen a las propiedades físicas y las propiedades macroscópicas a las microscópicas.

De manera general, cuando las propiedades B como, por ejemplo, la de ser agua o tener una forma física determinada, supervienen lógicamente de las propiedades A, ser H₂O o ser poseedor de determinadas combinaciones genéticas, podemos afirmar que los hechos A conllevan los hechos B y cuando un hecho conlleva o se infiere de otro es lógicamente imposible para el primero existir sin el segundo. De allí que superveniencia lógica y posibilidad vayan de la mano.

No obstante, Chalmers considera que puede haber superveniencia en el mundo físico sin que se dé la superveniencia lógica. Se trataría de correlaciones en el mundo natural, si bien de naturaleza más débil que la superveniencia lógica. Si dichas correlaciones son sistemáticas y nómicas, su relación de dependencia deberá soportar situaciones contrafácticas.¹²

Otra determinación relevante es que la superveniencia lógica implica la superveniencia natural, que es la única que Chalmers considera empíricamente demostrable.

Si las propiedades A (básicas o fundamentales) determinan las propiedades B en todas las

⁹ Ib. (p.178)

¹⁰ Nota: el autor se refiere a la *falacia del homúnculo*: extraída de *Doptrics*, consiste en idear la existencia de un pequeño hombre situado en nuestro cerebro que, por medio de sus ojos observa todo lo que ocurre en la imagen retiniana.

¹¹ David CHALMERS, *The Conscious Mind* (cap II.4)

¹² Ib. (p.38)

situaciones lógicamente posibles, lo harán también en todas las situaciones naturalmente posibles y no viceversa. Así, la presión de un mol de gas depende naturalmente de su volumen y temperatura en base a una constante k , pero esto no es una dependencia lógica, puesto que bien podríamos imaginar un mundo donde dicha constante fuera lógicamente distinta. Por consiguiente, la superveniencia natural no implica la lógica.

Para Chalmers es muy difícil que se den casos en el mundo físico de superveniencia natural sin superveniencia lógica.

El de la conciencia es uno de ellos, pues la conexión necesaria entre las estructuras físicas y la experiencia la dan únicamente las leyes de la naturaleza y no la lógica,¹³ contrariamente a cuanto ocurre con las explicaciones (reduccionistas) de los fenómenos físicos por encima del nivel microfísico, tanto a nivel funcional o estructural como el caso de la reproducción o a nivel cognitivo como en el caso del aprendizaje.

Sin embargo, señala Chalmers, todos estos fenómenos pueden ser analizados causalmente por las teorías funcionalistas o cognitivas, pero no pasan de ser descripciones funcionalmente útiles, sin que ninguna de ellas sea capaz de explicar cómo afectan a nuestra fenomenología y sobre todo por qué.

Se da de manera sistemática un hiato explicativo en cada concepto mental que involucra un elemento fenoménico o experiencial. “Explicar cómo opera un rol causal no es suficiente para explicar la conciencia”.¹⁴

El fallo de la superveniencia lógica de la conciencia desde lo físico nos indica que ninguna explicación reductiva de la conciencia puede prosperar. No por ello deben excluirse, en opinión del autor, los hechos físicos, de su explicación. De hecho, una posible solución al problema sería proclamar que todos los hechos lógicamente supervenientes son una combinación de hechos físicos y fenoménicos o que la superveniencia lógica de los hechos físicos se da por medio de la experiencia consciente.¹⁵

Así, al abordar la hipótesis de la “nueva física”,¹⁶ no excluye la posibilidad de que una teoría física fundamental como la mecánica cuántica pueda jugar un papel clave en la teoría de la conciencia.

Si bien no es ésta la apuesta de Chalmers, que a lo largo del texto parece inclinarse por una teoría de la conciencia basada en la estructura informativa del proceso del conocimiento, en la parte final del

¹³ Ib. (p.39)

¹⁴ Ib. (p.48)

¹⁵ Ib. (p.65)

¹⁶ Ib. (p.114)

libro dedicada a la mecánica cuántica y de su posible vinculación con la conciencia, se decanta por la interpretación de Everett 1957.

III. La nueva física

En palabras de Chalmers¹⁷ “el problema de la mecánica cuántica es casi tan duro como el problema de la conciencia. La mecánica cuántica nos da un cálculo de marcada precisión en las predicciones de resultados de observaciones empíricas, pero es extraordinariamente difícil comprender la imagen del mundo que nos presenta”.

Hawking-Mlodinov¹⁸ afirman que las predicciones de la teoría cuántica “se ajustan muy bien a la visión de la realidad que vamos desarrollando a partir de nuestra experiencia del mundo que nos rodea. Pero los átomos y las moléculas individuales funcionan de una manera profundamente diferente de la de nuestra experiencia cotidiana”.

De lo expuesto se infieren ya dos hechos de partida que deben darse por descontado: uno es el formalismo matemático, sobre el que no hay desacuerdo entre los físicos teóricos, ya que se trata de un hecho empíricamente demostrado que el cálculo funciona, y otro, la interpretación del formalismo, que ha dado lugar a distintas hipótesis y modelos, pues es en la estructura objetual subyacente a las ecuaciones donde se plantean las controversias.

Otro paralelismo históricamente actual entre el hiato causal entre leyes físicas y conciencia y entre la física clásica y la metafísica (aquí los autores hacen referencia a las derivaciones e hipótesis cosmológicas de la teoría de cuerdas) Hawking-Mlodinov lo describen así:

“Parece que nos hallemos en un punto crítico en la historia de la ciencia, en el cual debemos modificar nuestra concepción de los objetivos y de lo que hace que una teoría física sea aceptable. Parece que los valores de los parámetros fundamentales, e incluso la forma de las leyes aparentes de la naturaleza no son exigidos por ningún principio físico o lógico”.¹⁹

Se puede muy bien afirmar que dos hechos, acaecidos en el giro de dos decenios, han marcado un giro fundamental en la física, aquilatando sus características fundamentales, además de su propio nombre.

El primero de ellos, ocurrido el 14 de diciembre de 1900, cuando Max Planck presentó ante la Sociedad Alemana de Física la demostración de que la energía no crece ni disminuye de una manera

¹⁷ Ib. (p.334)

¹⁸ Stephen HAWKING y Leonard MLODINOV, *El Gran Diseño* 2010 (p.78)

¹⁹ Ib. (p.164)

continuada, sino por múltiplos de una determinada cantidad o cuanto de base, hoy conocida por constante de Planck, en notación h , equivalente a $6,6262 \times 10^{-34}$ julios /segundo.

De esta manera, Max Planck resolvía el llamado misterio de la “catástrofe ultravioleta”, radiación que según la teoría hasta entonces vigente, tenía que haber alcanzado un cuerpo negro sujeto a elevadas temperaturas y que sin embargo no alcanzaba, manteniéndose en rayos x o bien en rayos gamma. Por debajo de estos valores no se podrían dar intercambios de energía, siendo la escala de Planck la medida más corta posible y el más corto instante de tiempo.

Unos años más tarde Niels Bohr resolvía otro "misterio", esta vez relativo a la estructura del átomo, misterio que Scaruffi describe así:

“Los electrones giran alrededor del núcleo y solo hay algunas órbitas permitidas. Una vez más, la naturaleza parecía prohibir la existencia entre órbitas”.²⁰

El segundo hecho lo tenemos en que Louis de Broglie 1923, al igual que lo hiciera Einstein con la luz, hipotizó que las ondas y las partículas son dos aspectos del mismo fenómeno, al que se le podían imputar contemporáneamente valores como energía, masa, frecuencia y longitud de onda.

Las ecuaciones que calculan el comportamiento de dichos parámetros fueron elaboradas en 1925 por Heisenberg y en 1926 por Schrödinger.

A través de ecuaciones de tipo matricial, el primero formularía el principio de incertidumbre o indeterminación, que no nos permite medir simultáneamente valores determinados, como posición y momento, de una partícula.

Hawking-Mlodinov lo explican del siguiente modo:

“Según el principio de incertidumbre, por ejemplo, si multiplicamos la incertidumbre en la posición de una partícula por la incertidumbre en su cantidad de movimiento (su masa por su velocidad) el resultado nunca puede ser menor” que la constante de Planck. “(...) cuanto más precisa es la medida de la velocidad menos precisa será la medida de la posición y viceversa. Por ejemplo, si reducimos a la mitad la incertidumbre en la posición, se duplicará la incertidumbre en la velocidad”.²¹

En un ejemplo práctico: “si medimos la posición de un electrón con un precisión del orden del tamaño de un átomo, el principio de incertidumbre dice que no podemos conocer su velocidad con

²⁰ Piero SCARUFFI, *La nuova fisica: l'asimmetria onnipresente* 2003 (p.9)

²¹ Stephen HAWKING y Leonard MLODINOV, *El Gran Diseño* 2010 (p.81)

precisión mayor que unos mil km/segundo, que no es muy precisa, que digamos”.²²

La consecuencia para nuestra capacidad de obtener información es que no podemos predecir con certeza los resultados de los procesos físicos puesto que éstos no están determinados. Sin embargo, a estos niveles (subatómicos) lo que determinan con gran precisión las leyes de la naturaleza son las probabilidades de los acontecimientos.

El principio de indeterminación de Heisenberg se eleva a principio de crucial importancia en la mecánica cuántica ya que revela y ancla su aspecto probabilístico a un nivel muy profundo de la teoría y proclama que la indeterminación no puede ser eliminada de esta.

La otra ecuación, la de Schrödinger, describe el comportamiento estadístico de las partículas. En su formulación más simple no dependiente del parámetro tiempo, realizada por Born: $H\psi = E\psi$, donde el símbolo ψ representa la función de onda de la partícula, H un operador y E el nivel de energía.

Las soluciones de la ecuación de Schrödinger son “ondas”²³ y gracias a ella los científicos pudieron contar con funciones de onda concretas para describir partículas o fotones.

Esto llevaría a la teoría de cuantos a revelar dos de sus características esenciales: la probabilidad y la superposición.²⁴

Por tanto, cuando tratamos con sistemas cuánticos (un electrón es uno), cada uno con una función de onda asociada ψ , ya no tratamos con sistemas perfectamente determinados. Una partícula puede describirse solo en términos de probabilidad y esta descripción la realiza ψ , de tal manera que la probabilidad de encontrar a la partícula en una determinada posición es proporcional al cuadrado de la amplitud de la función de onda ($|\psi|^2$) en dicha posición.

La segunda característica esencial puesta en evidencia por la ecuación de Schrödinger es el principio de superposición de las ondas.

Este principio explica el fenómeno de interferencia que se da en el experimento de la doble rendija, realizado por primera vez por Thomas Young a principios del siglo XIX y donde se puso de manifiesto de modo experimental la naturaleza ondulatoria de las partículas (en el caso de Young eran fotones), una vez disparadas sobre una pantalla o fondo desde una fuente y pasando previamente por otra pantalla con dos hendiduras. El resultado revela una figura de interferencia con franjas oscuras y claras, característico de las ondas. Las franjas luminosas sobre la pantalla identifican las zonas en las que las ondas interfieren unas con otras, de modo que, en unos casos se

²² Ib.

²³ Amir ACZEL *Entanglement: il piú grande mistero della fisica* Scienza e Idee 2004 Ib. (p. 57)

²⁴ Ib. (p.58)

suman los valores de ambas, coincidiendo con sus “crestas” y con las franjas claras, y en otros se restan, coincidiendo con sus “valles” y con las franjas oscuras. En un caso la interferencia es constructiva y en otro destructiva.

El experimento arrojaría más sorpresas en el siglo XX, pues la misma figura de interferencia se produciría al realizarse el disparo con un solo fotón; de este hecho se derivarían dos consecuencias: que el fotón interfería consigo mismo y que pasaba por ambas rendijas. El estado del fotón sería por tanto de superposición consigo mismo.

Por otro lado, a raíz del descubrimiento y de su interpretación dada por Einstein, del efecto fotoeléctrico, se descubrió que los fotones se comportan tanto como ondas que como partículas. En los años 50 del siglo XX se descubrió que este comportamiento se daba también en los electrones, más tarde se conoció en los neutrones (años 70) y en los 80 en los átomos.²⁵ Naturalmente este comportamiento de la naturaleza causó un gran asombro en la comunidad científica y es uno de los fenómenos fundamentales que presentaba la nueva física, tanto que Feynmann dijo que en él se "contiene todo el misterio de la física".²⁶

El principio de superposición nos indica que el sistema se encuentra en un estado que es una mezcla de estados, debido precisamente a la superposición, siendo este el estado cuántico del sistema, que coincide con el vector de estado o función de onda.

De esta cualidad particular nace la paradoja del “gato de Schrödinger”. Pero para su solución se hace precisa otra “acrobacia” cuántica, “la segunda parte de la historia” como identifica Chalmers al postulado de la medida, también conocido como colapso de la función de onda o "postulado de proyección".²⁷

El postulado de la medida nos dice que cuando efectuamos una medición, el estado o la función de onda colapsa en otro estado, esta vez más definido, o estado puro. Es decir, que si queremos medir la posición de una partícula o bien su espín, el estado colapsará en cualquiera de los valores posibles de dichos observables, sin poder saber de antemano en cuál de ellos. Dicho valor, denominado *eigenvalue* nos dará información sobre la posición, el momento, o de si el espín está arriba o abajo, dependiendo de las propiedades de la partícula.

Tanto la ecuación de Schrödinger como el postulado de la medida constituyen, en su conjunto, una poderosa herramienta de predicción tanto a nivel evolutivo de un sistema, como de las probabilidades que arrojan los estados colapsados por la medida.

²⁵ Amir ACZEL *Entanglement: il piú grande mistero della fisica* (p.19)

²⁶ Stephen HAWKING y Leonard MLODINOV, *El Gran Diseño* 2010 (p.77)

²⁷ David CHALMERS, *The Conscious Mind* 1996 (p.337)

Sin embargo los problemas surgen ante las preguntas de cómo es posible que el cálculo funcione y de qué ocurre paralelamente en el “mundo objetivo” para que las predicciones sean tan precisas.²⁸

Estas preguntas son las que darán lugar también a las respuestas posibles y a las interpretaciones de la mecánica cuántica.

IV. Interpretaciones de la mecánica cuántica. La onda-piloto de David Bohm.

A. J. Diéguez²⁹ presenta las siete interpretaciones de Landé del significado de ψ , reducidas a cinco:

- ψ representa algo real, un campo físico o propiedades objetivas. Entre sus defensores tenemos a Einstein, de Broglie, Schrödinger, Bohm, Bell y Penrose.
- ψ no representa nada real, reduciéndose a una herramienta de cálculo matemático de mediciones. Es la interpretación de Copenhage adoptada por Bohr.
- ψ representa nuestro estado de conocimiento del sistema. También en la interpretación de Copenhage asumida por Born y también por Bohm, Heisenberg y en parte por Schrödinger.
- ψ representa un conjunto de “potencialidades” actualizadas experimentalmente. Asumida por Heisenberg.
- ψ describe el comportamiento de un conjunto de sistemas y no de uno solo. Se trataría de una interpretación estadística asumida por Einstein, Popper, Landé, Ballantine.

David Chalmers también reduce a cinco las interpretaciones³⁰ de la teoría cuántica:

Opción 1. Asume el formalismo cuántico al pie de la letra: el sistema colapsa al ser medido debido a la intervención del observador. Se trata de la interpretación ortodoxa o estándar de la mecánica cuántica.

En opinión de Chalmers es contraintuitiva.

Opción 2. Esta opción considera la existencia de muchas superposiciones microscópicas cuyas interacciones pueden producir un estado macroscópico relativamente definido. Debido a algunas propiedades matemáticas complejas, podríamos inferir que el colapso efectivo sería consecuencia de ciertas indefiniciones microscópicas. De esta manera un colapso probabilístico sería sustituido por un proceso estadístico emergente de un sistema complejo.

En esta línea se encuentran Gell-Mann y Hartle 1990.

²⁸ Ib.(p.338)

²⁹ Antonio J. DIÉGUEZ, *Realismo y teoría cuántica* 1996 (p.4)

³⁰ David CHALMERS, *The Conscious Mind* 1996 (cap. 10)

Chalmers indica que estos cálculos no han prosperado y precisan de un mayor desarrollo. Tampoco explican por qué uno solo de los elementos del estado macroscópico se actualiza.

El autor propone su combinación con la opción 5, que es por la que se decanta.

Opción 3. Propone la desvinculación de los cálculos de la mecánica cuántica de posibles correlaciones con el mundo real, optando por ceñirse exclusivamente a su funcionalidad, visto que los cálculos resultan efectivos.

En esta línea se sitúa la interpretación de Copenhage en la versión de Bohr.

En esta interpretación se enfatiza la naturaleza “clásica” de los instrumentos de medida, lo que sugiere que solo los objetos clásicos o macroscópicos tienen un estado objetivo. Quedan así “proscritas” las preguntas sobre el estado “real” de los objetos descritos por medio de la superposición de estados.

Sin embargo Chalmers considera que no siempre los escritos de Bohr son claros ni su interpretación fácil.

Opción 4. En esta opción Chalmers agrupa las interpretaciones que tratan de prescindir del problema de la medida y del colapso de la función de onda asumiendo que un estado físico básico es una función de onda gobernada por la ecuación de Schrödinger, a la que introducen nuevos principios para que el estado se torne en un estado discreto.

La interpretación de Ghirardi, Rimini y Weber (GRW)1986, asume que los colapsos pueden producirse espontáneamente a un nivel microscópico en cada momento, con una probabilidad muy baja, pero cuando ocurre, conduce generalmente a un colapso del estado de un sistema macroscópico, ello debido a la inseparabilidad de ambos estados, “micro” y “macro”. En cambio cualquier estado macroscópico en cualquier momento podrá encontrarse conformado por un mayor número de partículas generalmente en un estado relativamente discreto.

Otra alternativa para eludir el colapso es negar que el nivel básico de realidad esté superpuesto. Para ello la teoría necesitará de variables ocultas en dicho nivel básico capaces de explicar el estado macroscópico o discreto. Por este motivo la teoría es incompleta.

Esta es la línea de David Bohm, en la que me detendré, por su interés, aportando la particular interpretación de Davide Fiscaletti 2007.

En opinión de Chalmers³¹ tanto la interpretación GRW como la de Bohm adolecen de una excesiva complejidad.

Opción 5. Interpretación que declara que con la ecuación de Schrödinger basta, siendo innecesario

³¹ Ib. (p. 345-346)

el colapso.

Chalmers la considera la piedra angular de la mecánica cuántica. Las demás siempre añaden algo más a la ecuación, con la finalidad de explicar el estado discreto del mundo, pero la interpretación más simple es la que asume la ecuación como descripción completa del estado físico del mundo a cualquier nivel, por medio de la evolución de la función de onda.

Se trata de la interpretación de Everett 1957 en la versión que Chalmers asume y que veremos más adelante.

IV.1 La onda-piloto de Bohm

David Bohm 1952 desarrolló una interpretación de la mecánica cuántica conocida como teoría de la “onda-piloto” que, contrariamente al principio de aleatoriedad y no causalidad generado por la medida, proporciona una descripción de tipo causal de los procesos atómicos.

Basándose en la dualidad onda-partícula sugiere que la onda “guíe” a la partícula en las regiones de su recorrido en las que la función de onda es más intensa³².

La partícula está sujeta a la fuerza clásica de las leyes de Newton y a una forma de energía llamada potencial cuántico.

La función de onda, sin olvidar que estamos tratando con mecanismos matemáticos, actúa como la onda-piloto que “guía” a la partícula a través de la acción del potencial cuántico. Por tanto, en la teoría de Bohm, el momento de la partícula no se manifiesta de modo casual o aleatorio, sino movido por un “campo oculto” (el potencial cuántico) capaz de determinar su trayectoria. Este potencial no está sujeto a las leyes de los campos electromagnéticos clásicos, cuya acción es relativa a la intensidad y a la distancia, sino que actúa como pura “forma” o ruta.

Fiscaletti³³ propone la metáfora de un barco propulsado por un motor (función newtoniana) pero guiado por un radar (potencial cuántico).

Es el potencial cuántico el que determina precisamente la no localidad de los procesos microscópicos y la comunicación instantánea de las partículas subatómicas, como si se tratara de un plano de realidad oculta que guía y une a las partículas en su estado superpuesto o coherente.

De este modo, partículas distantes incluso a miles de años luz pueden comunicar entre sí.

En los años 70 Bohm propuso la distinción entre *foreground* u orden explícito y *background* u

³² Nota: el autor debe referirse a los estados donde la probabilidad es mayor

³³ Davide FISCALETTI, *La non separabilità quantistica si dimostra come al livello fondamentale della realtà, lo spazio fisico abbia un carattere a-temporale* 2007

orden implícito o implicado, como dos niveles de descripción de los sistemas físicos, el primero equivalente a la descripción o formalismo estándar de la física cuántica de cómo el mundo se nos aparece una vez medido, que será un mundo fragmentado, y el segundo escondido, cuya característica es la no localidad y no separatividad.

Una indagación de la realidad física, para Bohm, precisará distinguir entre los aspectos “plegados” de los niveles fundamentales, escondidos, y los “desplegados”, correspondientes a lo que vemos, en tanto que manifestación de los primeros.

Esta distinción la encontramos en Hawking-Mlodinov, en su tratamiento de las dimensiones del espacio surgidas de la teoría de cuerdas, donde las dimensiones adicionales estarían “enrolladas” en un “espacio interno”, como opuesto al tridimensional en el que vivimos y que experimentamos.³⁴

La forma exacta de este espacio interno determinará los valores de las constantes físicas como la carga del electrón o las interacciones entre partículas, por tanto las leyes físicas aparentes que observamos en nuestro mundo.³⁵

Para poder transmitir su visión del mundo, Bohm acude a la metáfora³⁶ del holograma, (fotografía en 3D por un laser) que posee la propiedad de que cada una de sus partes contiene toda la información de la totalidad del holograma.

Fiscaletti, del modelo dualista onda-partícula de Bohm, extrae diversas hipótesis:

- que en el nivel implicado o fundamental de la realidad física todas las partículas subatómicas se hallan vinculadas de manera infinita por medio de las ondas asociadas a cada una de ellas. Como veremos, Henry Stapp critica esta propuesta por derivar en una regresión *ad infinitum*.
- que dichas ondas no son visibles y que por este motivo experimentamos los objetos del mundo como separados
- que asociar las ondas y unirlos en una intrincada red permite dar una explicación causal e intuitiva del origen de las señales responsables de todas las interacciones, lo cual facilita su tratamiento unitario
- que por este motivo podría muy bien ocurrir que, en el orden implicado, la interacción entre dos partículas sea transmitida por una onda que sea combinación de las dos ondas asociadas a las partículas interactuantes

³⁴ Stephen HAWKING y Leonard MLODINOV, *El Gran Diseño* 2010 (p.134)

³⁵ Ib. (p.135) (nota: se refieren a las cuatro fuerzas: gravedad, electromagnetismo, nuclear débil y nuclear fuerte)

³⁶ Davide FISCALETTI Ib.

- que esta hipótesis se daría en las interacciones de las cuatro fuerzas
- que aplicando el dualismo onda-partícula a la relatividad general, en base a la cual la gravedad se despliega como modificación de la geometría espacio-temporal, podría ocurrir que fuera una entidad mediadora la que produjera dicha modificación y por tanto transmitiera la gravedad y que tal entidad fuera precisamente la onda asociada a las partículas

Esta perspectiva que propone Fiscaletti partiendo de la filosofía de Bohm descubre una nueva descripción del mundo físico a la que cabe añadir la siguiente propuesta también realizada por el autor como posible explicación de la no localidad cuántica.

Debido a que nuestra percepción del mundo no nos permite establecer que el tiempo es una entidad física real puesto que lo único que podemos percibir son los cambios materiales irreversibles tanto químicos como físicos y biológicos del espacio físico o materia, cabe establecer que el nivel fundamental de la realidad sea un espacio "a-temporal". Este espacio "a-temporal", por tanto carente de velocidad, permitiría explicar la comunicación instantánea de las partículas y su entrelazamiento. El potencial cuántico sería el “estado” de dicho espacio al nivel de interacciones o procesos subatómicos.

Para Stapp³⁷ el error de Bohm consiste en complicar la teoría sin necesidad, ya que de haber involucrado a la mente en el proceso, aquella se habría simplificado. Además, considera de poco rigor matemático sus conceptos sobre el orden implicado y explicado.

Bohm 1986 y 1990³⁸ trató de involucrar la conciencia en la teoría, asociándola a una torre infinita de ondas-piloto, cada una de ellas pilotando a su vez a las de debajo. Sin embargo este modelo se pierde en el infinito. Otro problema para Stapp consiste en que la ontología correspondiente a este modelo, que es determinista, en lugar de construido en base a opciones libres tanto de los agentes como de la naturaleza, como veremos, solo es posible en un mundo no relativístico en el que las partículas ni se crean ni se aniquilan,³⁹ además de tratarse de un mundo en el que, al no existir colapso, la realidad sería “indiferenciada” y en ella, por tanto, los objetos no serían distinguibles.

V. Mecánica cuántica y conciencia

V.1. Henry Stapp: la conciencia como dimensión de la realidad

³⁷ Henry STAPP, *Mindful Universe* 2011((p.62-63)

³⁸ Ib.

³⁹ Ib.

La fuerza argumental de de la teoría de Stapp 2010 descansa en los siguientes postulados:

- la radical sustitución de la física clásica por la física cuántica⁴⁰
- la intervención de la conciencia en los procesos de medida cuánticos
- la causalidad de la conciencia en los procesos físicos

Respecto al formalismo cuántico Stapp asume la interpretación ortodoxa de Copenhage, basada en el postulado de la medida en la interpretación de von Neumann.

V.1.1 Las dos físicas: dos descripciones.

La diferencia entre una y otra radica, para Stapp, en que la primera se basa en variables relativas exclusivamente a hechos físicos expresables matemáticamente, mientras que la segunda incorpora variables psicofísicas, el aspecto mental, constituido por el flujo de la conciencia del observador, que se traduce un un incremento del conocimiento efectivo de la realidad, sin el cual ninguna teoría física ni tan siquiera existiría.

“Por ende, los fundamentos de la ciencia práctica⁴¹descansan en última instancia en el mundo mental del conocimiento humano”.

No se incorpora dicho aspecto como aspecto ontológico exclusivamente, sino que la importancia de ese aspecto es que viene acompañado de una propiedad única, causalmente independiente, relacionada con el estado discreto de lo que llamamos realidad, de lo que aparece o se manifiesta. Ésta es la visión ortodoxa de la mecánica cuántica que Stapp asume.

En esta visión, el libre albedrío, entendido en el contexto de la teoría que estamos analizando, como una elección no determinada, causalmente independiente, se incorpora a los procesos físicos causalmente predecibles, pero sin intervenir en la forma en la que éstos son determinísticamente causados.

La característica descubierta por Max Planck en 1900 declara la existencia en la naturaleza de un elemento “discreto” “que no es acomodado de forma natural por la dinámica continua de la mecánica clásica”, dice Stapp, citando para ello la metáfora de James⁴²de que “nuestro conocimiento” de los fenómenos naturales a determinados niveles fundamentales de la materia crece “por brotes o por gotas de percepción”.

⁴⁰ Nota: desde Dirac es aceptado por los teóricos que la física clásica es un caso particular de la física cuántica

⁴¹ Ib. (p.153 *usable* en el texto original en inglés)

⁴² Ib. (p. 154)

Este es precisamente el cambio conceptual entre uno y otro modo de describir los fenómenos físicos y atañe sobre todo a la perspectiva epistemológica de la descripción.

Stapp plantea la cuestión de este modo.

La teoría cuántica ha elaborado un formalismo “clásico” para las ecuaciones que calculan el movimiento de los átomos y partículas subatómicas, siendo este el de la ecuación de Schrödinger, que se define “clásica” por cuanto el estado físico que fija para el universo en cada momento, lo fija de forma completa para los tiempos futuros, determinando la evolución del universo de modo esperable en base a unas condiciones iniciales.

El problema surge a partir del siguiente planteamiento: aún suponiendo que en cualquier instante de tiempo el estado físico del universo es compatible con mi experiencia en el presente instante, tal estado en cualquier otro tiempo finito posterior, según establece la ecuación de Schrödinger, nunca podrá corresponder a ninguna posible experiencia de la clase que se corresponde a la de mi flujo de experiencias conscientes.⁴³

De la misma manera, los estados evolutivos del cerebro humano no se corresponderán con ninguna experiencia posible. El estado del cerebro será idéntico a un estado mezcla de una enorme colección de experiencias posibles y no de una experiencia única de la clase de experiencias que se experimentan en el flujo de nuestra conciencia.

La solución a la que se vieron forzados, en opinión de Stapp, los “fundadores” de la mecánica cuántica, consistió en la incorporación de la “realidad” del conocimiento y de la “adquisición” del conocimiento en las descripciones de la teoría.

Esta interpretación asume de esta manera esa doble perspectiva en la descripción de los fenómenos de los que trata, tanto a nivel ontológico como epistemológico, y la conciencia reaparece en la ciencia con una función determinada.

Así lo creía Wigner:

"Cuando el alcance de la teoría física se extendió a los fenómenos microscópicos a través de la creación de la mecánica cuántica, reapareció el concepto de conciencia: no era posible formular las leyes de la mecánica cuántica sin referencia a la conciencia".⁴⁴

El mecanismo que propiciará el incremento de conocimiento será un fenómeno también asumido por el formalismo matemático de la teoría cuántica denominado *Quantum Zeno*, al que me referiré en el cap.V.1.5.

⁴³ Ib. (p.155)

⁴⁴ Ib. (p. 175)

Esta incorporación de la mente humana, ontológica y epistemológicamente, a la teoría, exige su convivencia o correlación en el nivel macroscópico con la actividad neurológica cerebral, sin que podamos obviar el hecho de que lo macroscópico está "operado" o "actuado" por dinámicas microscópicas cuánticas. Debido a ello, el estado mezcla se debe producir también en el correlato neuronal del estado también "continuo" de experiencias posibles.

Para la descripción clásica de la física y de la neurociencia en general, que opta por el fisicalismo, nuestros pensamientos evolucionan en correspondencia a nuestro "estado" cerebral, asumiendo que se trata de dos descripciones o denotaciones de una misma realidad. Conforme a las leyes de la mecánica cuántica, sin embargo, subraya Stapp, la descripción física a duras penas coincidirá con la mental, vulnerándose así el principio de identidad.

Si bien Stapp no alude en ningún momento a la objeción que también Kripke efectúa a la teoría materialista de la identidad mente-cuerpo, pues los motivos de Stapp siguen una línea argumental distinta y, salvado el hecho de que la teoría de la identidad mente-cuerpo por sí sola merece una investigación, reproduzco la objeción que realiza Kripke 1971⁴⁵ a la relación de identidad como correspondencia, que es la que critica Stapp:

“Si $X = Y$, entonces X e Y comparten todas las propiedades, incluyendo las propiedades modales. Si X es un dolor e Y el estado cerebral correspondiente, entonces ser un dolor es una propiedad esencial de X y ser un estado cerebral es una propiedad esencial de Y. Si la relación de correspondencia es, de hecho, la identidad, entonces tiene que ser necesario de Y que corresponda a un dolor y necesario de X que corresponda a un estado cerebral, en realidad a ese estado cerebral particular Y. Ambas afirmaciones parecen falsas; parece claramente posible que X hubiera existido sin el estado cerebral correspondiente, o que el estado cerebral hubiera existido sin haber sido sentido como dolor. Los partidarios de la teoría de la identidad no pueden, en contra de su casi universal práctica presente, aceptar estas intuiciones, tienen que negarlas y explicarlas de manera que se deshagan de ellas. Esto no es, de ninguna manera, una cosa que se pueda hacer fácilmente.”

Para ambos, se trata de entidades, la mental y su correlato físico, designadas rígidamente y con propiedades esenciales, pero Stapp propugna una relación causal, sin lugar para el hiato explicativo. Para que se dé la concordancia entre ambos estados o descripciones, conforme a la nueva física, el "continuo" evolutivo gobernado por la ecuación de Schrödinger debe ser abruptamente interrumpido por la adquisición de conocimiento o experiencia del observador. Cada experiencia subjetiva ocurre en conjunción con un "salto" del estado del cerebro (antes en estado "mezcla", y

⁴⁵ Saul KRIPKE, *Identidad y Necesidad* Valdés Villanueva 2005 (nota 17 p.149)

por ello llamado “salto cuántico” por los “fundadores”) durante la experiencia.⁴⁶ El resto de estados o posibilidades del cerebro, incompatibles con dicha experiencia, son eliminados de dicho estado y por tanto también del estado del universo que se describe “físicamente”, siendo esta acción “psicofísica”.

Para Stapp, el hiato explicativo solo tiene sentido en la descripción clásica de la física y no en la interpretación ortodoxa de la física cuántica, por cuanto se da un entrelazamiento causal de la estructura de nuestros flujos de experiencias conscientes, descritas en términos psicológicos y la representación del mundo físico descrito en lenguaje matemático.

Con esta asunción, los conceptos clásicos de la neurobiología son lógicamente inadecuados y, por tanto falsos, puesto que, a diferencia de lo que ocurre en mecánica cuántica, excluyen de ellos nuestros pensamientos conscientes.

Stapp reitera hasta la saciedad que la física clásica vigente durante dos siglos ha emergido de la observación del movimiento de los planetas y otros objetos celestes macroscópicos, universo al que se ha hecho corresponder versiones “en miniatura” de los universos físicos a menor escala. Objetos newtonianos descritos así por el insigne físico: “partículas sólidas, dotadas de masa, duras, impenetrables y móviles” (Newton 1704),⁴⁷ que interactuaban previo contacto como bolas de billar. Y esto hubiese seguido así de no haber sido por esa acción a distancia llamada gravedad.

A principios del siglo XX apareció otra entidad que revolucionó dicho universo: el observador. Esta entidad también tuvo una importancia seminal en la relatividad especial. Sin embargo no es éste el sentido que se le da por la física cuántica ortodoxa recogido en Stapp.

Los “fundadores” presentaron su teoría como una serie de leyes sobre cómo hacer predicciones de respuestas experimentales que el observador humano experimentaría al realizar determinadas acciones. Hasta aquí, no habría ninguna diferencia con la mecánica clásica, a no ser porque las predicciones que ésta realiza predicen la evolución de un sistema en un tiempo determinado y dadas una localización y una velocidad de cada partícula así como su energía o información del campo. Aquí, los observadores y sus actos hacen parte de la evolución continua del sistema predeterminadamente descrito y el flujo de conciencia es empíricamente irrelevante o redundante en el sistema, un subproducto, contraparte o correlación.

Conforme a la nueva física, sin embargo, el mundo que se describe “físicamente” no está constituido por bits de materia sino por “tendencias” o “potencialidades” discretas de que ocurran

⁴⁶ Henry STAPP, *Mindful Universe* 2011 (p.156)

⁴⁷ Ib. (p.6)

los eventos que se actualizan y cuando se actualizan lo hacen "por brotes" o "gotas" de percepción, como hemos visto.

Cada evento es descrito psicológicamente y se traduce en un "incremento de conocimiento" y también es descrito físicamente, como acción que realiza un cambio abrupto en las potencialidades descritas matemáticamente.

Este cambio es el que es descrito por el postulado de la medida.

V.1.2 El postulado de la medida

Wigner introdujo el término "ortodoxo" para describir la formulación de la teoría cuántica de von Neumann.⁴⁸

Henry Stapp, a su vez, incorpora en el término también la formulación de Copenhage.

Sin embargo, desde el punto de vista ontológico, para Stapp, el término "ortodoxo" se refiere a la descripción de von Neumann, Tomonaga y Schwinger que veremos brevemente al tratar sobre la ontología whiteheadiana. Esta descripción abarca todo el universo cuántico descrito en términos físicos y contiene tanto la descripción del llamado Proceso 2 así como la ocurrencia de las intervenciones del Proceso 1.

Ésta es la forma de la teoría actualmente respaldada por los hechos empíricos experimentales.

La única dificultad, y Stapp así lo reconoce, es poder verificar si los sistemas físicos macroscópicos también interactúan con el ambiente como agentes cuánticos, dicho de otro modo, si las reducciones de estado se dan en estos sistemas. Debido a esta dificultad, los teóricos han diseñado hipótesis o teorías alternativas (no ortodoxas), como la de Bohm o la de Everett.

Esta dificultad que entraña el problema de la medida, consiste esencialmente en cómo ligar los aspectos físicos o matemáticamente descritos de la teoría cuántica, a la experiencia humana.

Conforme a la teoría cuántica ortodoxa, el observador afecta al estado.

La reducción del estado que se da en el estado mezcla, incluido el cerebral, al estado de la experiencia consciente se adquiere mediante lo que von Neumann denomina Proceso 1, que selecciona, del conjunto de potencialidades evolutivas del estado del sistema o Proceso 2, una determinada manera de separar o dividir dicho estado en una colección de componentes, cada uno de los cuales se corresponde con una experiencia determinada. La forma de dicha "intervención" no está determinada, como ocurre en el Proceso 2, por un "continuo" dinámico y definible, sino por

⁴⁸ Ib (p.55)

otro tipo de *input*.⁴⁹

La elección que se da en dicha “intervención” parece influenciada por un tipo de evaluación consciente: cuando escojo mirar el sistema, el sistema se modifica.

El Proceso 2 se corresponde con la evolución ordenada y mecánicamente controlada que ocurre entre las intervenciones del Proceso 1.

En el Proceso 2 el estado de la función de onda evoluciona extendiéndose por todo el universo según la ecuación de Schrödinger, de una forma determinística y probabilística.

Pero, como ya se ha expuesto, si el mundo a nivel macroscópico se comportara como la ecuación indica, estaríamos ante una “nebulosa” de ondas, motivo por el que es preciso incorporar el Proceso 1, según lo expresó von Neumann.

Existe otra línea argumentativa en la que von Neumann, en *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik* 1932,⁵⁰ aborda la conexión entre conocimiento y procesos físicos por medio de una versión de un experimento mental de Leo Szilard, basado en la segunda ley de la termodinámica, que nos dice que la cantidad de entropía de un sistema tiende a aumentar en el tiempo. Este experimento lo toma Szilard a su vez de otro, en el mismo sentido, realizado por Maxwell, conocido como "el demonio de Maxwell", que Szilard sustituye por un mecanismo capaz de realizar la selección.⁵¹

Se pretende argumentar con estos experimentos que el proceso intelectual del conocimiento de algo y la consiguiente acción realizada en base a dicho conocimiento está en estrecha relación con las probabilidades de entropía del sistema físico en cuestión.

Von Neumann propone que la modificación en el conocimiento que se da en el Proceso 1 está cuantitativamente relacionada con la probabilidad asociada a la entropía, de tal manera que, por un lado, la entropía del sistema no es modificada bajo la actuación del Proceso 2 y por otro, que nunca decrece por un evento actuado por el Proceso 1, ya que parte de los componentes o energía del sistema se transforman en información.

Respecto al Proceso 2 el resultado será el mismo que en cualquier sistema clásico y en el Proceso 1

⁴⁹ Ib. (p.32)

⁵⁰ Ib. (p.168)

⁵¹ Nota: este experimento es conocido como “el demonio de Maxwell”, un experimento mental ideado por el físico escocés en 1867 en el que imagina un demonio estratégicamente situado cerca de dos recipientes contiguos, separados por una pared en la que hay una compuerta, en principio, cerrada. Uno de los recipientes contiene partículas de dos tipos: unas se calientan a mayor velocidad que otras. El demonio, estando tan cerca de ellas, es capaz de distinguir cada uno de los tipos y abre la compuerta solo a las que se calientan con más velocidad. De este modo logrará separar las de una clase de las de otra en cada recipiente, vulnerando la segunda ley de la termodinámica que ostula que en un sistema aislado la entropía aumenta con el tiempo.

se obtendrá una respuesta definida, pero que viene especificada como una probabilidad asociada a cada posible respuesta y no como respuesta en sí. Esta respuesta es la que se traduce en un incremento de conocimiento.

Se trata de una “versión cuántica” de la segunda ley de la termodinámica donde el *ratio* de incremento de entropía estará determinado por el número y naturaleza de los eventos objetivamente reales del Proceso 1.

V.1.3 El punto de vista epistemológico

El historiador Hendry 1984, en *The Creation of Quantum Mechanics and the Bohr-Pauli Dialogue*,⁵² explica como los fundadores (Bohr, Heisenberg, Pauli, Dirac y Born) en la Conferencia Solvay 1927 encontraron una solución ante la dificultad de comprensión racional de los datos que arrojan los fenómenos atómicos, solución que fue llamada interpretación de Copenhague, debido al papel central del danés Niels Bohr, solución que Dirac⁵³ describió como una restricción de la teoría a nuestro conocimiento del sistema y a la falta de contenido ontológico. Así, prosigue Hendry, en esta interpretación, la función de onda representa nuestro conocimiento del sistema y los paquetes de onda reducidos, nuestro conocimiento más preciso, después de la medida.

La mente humana entra así en la estructura de la teoría física básica, como hemos ya visto.

Stapp⁵⁴ recoge la siguiente reflexión de Heisenberg 1958:

“La concepción de la realidad objetiva de las partículas elementales se ha evaporado no en una nube de algún oscuro concepto de realidad sino en la transparente claridad de las matemáticas que no representan más el comportamiento de las partículas sino más bien nuestro conocimiento de dicho comportamiento”.

En esta interpretación inicial de la física, los instrumentos eran tratados como extensiones de nuestros cuerpos. No era importante si el que medía era un instrumento mecánico o una persona, lo cual dejaba abierta cierta ambigüedad sobre el proceso.

Fue von Neumann el que incorporó el universo entero, incluyendo nuestro propio cerebro como mundo descrito físicamente, así como las acciones operadas por el flujo de conciencia del experimentador actuando directamente sobre aquél.

⁵² Ib. (p.12)

⁵³ Ib. (p.13)

⁵⁴ Ib. (p.11)

A esta interpretación de von Neumann de la teoría ortodoxa debía sumarse la aportación de Heisenberg, al que Stapp considera desde el punto de vista ‘técnico’⁵⁵ el principal fundador de la teoría cuántica, por cuanto fue precisamente Heisenberg quien se dio cuenta de que las cantidades llamadas números utilizadas por la física clásica debían ser tratadas como ‘acciones’ y que el orden por el que actúan es importante⁵⁶: no es lo mismo multiplicar 13 por 3 que multiplicar 3 por 13. A pesar de que dan el mismo resultado numérico, la acción que representan no es la misma y esto es relevante para un sistema. Esto resultó en el principio de incertidumbre del físico alemán al que nos hemos referido al tratar sobre la "nueva física".

En la física clásica, un valor como posición o energía es tanto un atributo del estado del sistema como un ‘observable’, por tanto una cantidad que puede ser medida por un observador en un momento determinado. Los valores posibles de un sistema constituirán un ‘espacio de fases’ en el que se dan todos los ‘estados’ posibles de la partícula.

Un espacio de fase es el conjunto de posibilidades de observables en un momento determinado. Por ejemplo, dado un sistema como un péndulo en movimiento, éste tendrá una posición y una velocidad en cualquier instante de tiempo, y esta previsión es determinista, dadas unas condiciones iniciales. Si en cambio el péndulo es cuántico, no podremos determinar su posición ni su velocidad sino una ‘nube de puntos’ en la que cualquiera de ellas puede estar cuando medimos.

En teoría cuántica cada posible medida tendrá asociada una serie de diversos resultados experienciales, que constituyen esa ‘nube de puntos’ o ‘nube de números’, siendo dichos números complejos.

La teoría ofrece reglas específicas que computan las probabilidades para cada uno de los distintos resultados posibles de los experimentos de cada una de las mediciones (posición, energía, etc), mediciones que sin embargo no son gobernadas por ninguna regla, puesto que son resultado de nuestra libre elección.

Las propiedades de la materia son representadas en términos de propiedades matemáticamente descritas referidas a puntos del espacio-tiempo, pero su naturaleza esencial es la de ‘potencialidades’ de ocurrencias de eventos psicofísicos.⁵⁷

Estos eventos ocurren en el interfaz entre ambos aspectos de la naturaleza y von Neumann nos ha indicado las leyes que regulan este interfaz o interacción.⁵⁸

⁵⁵ Ib. (p.19)

⁵⁶ Ib.

⁵⁷ Ib. (p.181)

⁵⁸ Ib. (p.182)

Stapp traduce estos hechos en el plano filosófico como la sustitución de elementos del ‘ser’ por elementos del ‘hacer’, del mundo de la sustancia material al de las acciones y potencialidades, que se traducen al mismo tiempo en un incremento del conocimiento.⁵⁹

Hay un hecho adicional que Stapp introduce en la teoría, de gran relevancia en orden a que la adquisición de conocimiento se produzca, es el efecto *Quantum Zeno*,⁶⁰ sobre el que nos detendremos.

V.1.4 El punto de vista ontológico. Ontología whiteheadiana.

A pesar de que los fundadores señalaron una falta de contenido ontológico en la teoría del comportamiento de los sistemas cuánticos, Stapp considera que las experiencias conscientes son realidades ontológicas más que meros bits de conocimiento⁶¹ y propone la ontología de Whitehead, basada en su concepción de los procesos naturales y de la naturaleza como un todo, como modelo para tal comportamiento, si bien, consciente del peligro de caer en el antropocentrismo al incorporar al observador en la ontología, presenta la ontología whiteheadiana con una variante inspirada en Tomonaga y Schwinger y teniendo en cuenta a Heisenberg y a von Neumann, debido a que la propuesta relativista de estos últimos en opinión de Stapp es muy cercana a las ideas clave de Whitehead, quien a su vez trata de reconciliar la mecánica de los años 20 del siglo XX con la filosofía clásica.

El núcleo de los procesos en Whitehead y de los procesos cuánticos viene dado por la emergencia de lo “discreto” desde el “continuo”. La representación gráfica de la evolución del proceso consistiría en una onda circular que se desplaza desde el centro hacia los extremos y que casualmente alcanza la barrera de detectores, disparándose solo uno de ellos, debemos suponer, que con la medición, puesto que Stapp no detalla más.

El espacio de posibilidades se reduce a un conjunto discreto de subconjuntos.

¿Qué es lo que hace que se produzca ese cambio? Sabemos que la respuesta de la teoría cuántica ortodoxa es que es el experimentador quien decide, experimentador que es a su vez un conjunto de posibilidades que se actualizan en cada instante.

Von Neumann lo denomina 'intervención' o Proceso1. Heisenberg y Bohr “una elección del experimentador”.⁶² Stapp lo denomina Proceso cero, siendo este proceso el que selecciona la

⁵⁹ Ib. (p.20)

⁶⁰ Nota: el nombre está inspirado en la paradoja de la flecha de Zenón

⁶¹ Ib. (p.106)

⁶² Ib. (p.89)

“partición” especificada por el proceso descrito “en términos físicos” por el Proceso 1.

En definitiva lo que Stapp dice es que el proceso de medición o Proceso 1 de von Neumann se subdivide en dos procesos: el que elige el experimentador (*free choice process*) a voluntad y el que 'decide' la naturaleza, aleatoriamente, al ofrecer alguna de las opciones posibles.

El primero de ellos está fuera de cualquier cálculo o algoritmo y por tanto fuera del lenguaje “descrito físicamente”. En otras palabras, la partición no se deriva de los aspectos “describibles físicamente” del mundo actuando exclusivamente por sí mismos. Lo continuo no puede crear lo discreto sin más, haciéndose necesaria la intervención del Proceso 1.

Stapp propone el siguiente esquema operativo para proponer el diseño de un mundo whiteheadiano “modificado”, como así lo denomina, al incorporar las teorías de Tomonaga y Schwinger:

Basándonos en las ideas clave de Whitehead, se forman los aspectos del espacio-tiempo del proceso de creación de la realidad/conocimiento de la realidad.

A continuación se describe la estructura ontológica concebida por la teoría de campos cuánticos relativista de Tomonaga y Schwinger y con estos elementos coherentemente dispuestos se diseña el espacio-tiempo del proceso cuántico se realiza una comparativa de ambas descripciones para definir su identidad y así proponer una ontología unificada no antrópica

Stapp es consciente de que la ontología propuesta no es completa, pero evitará la deriva pansiquista.

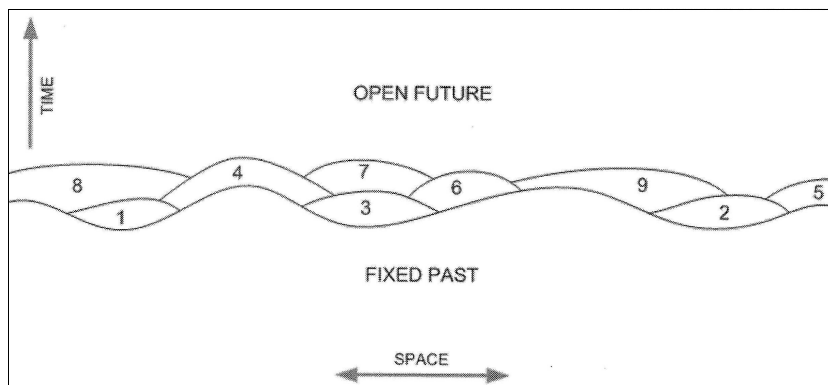


Figura 1⁶³

En el gráfico aparecen las porciones del espacio-tiempo con linderos comunes, a las que asigna un número distinto a cada una y que conforman en su conjunto una superficie por encima de la línea del pasado y por debajo de la línea del futuro.

⁶³ Ib. Nota: corresponde a la figura 13.1 del texto (p.92)

Las porciones son las entidades que Whitehead denomina “entidades actuales”⁶⁴ y que se corresponden con los “brotes o gotas de percepción” descritas por James, mediante las cuales adquirimos el conocimiento del mundo.

Son entidades “discretas”, que “hacen real” en palabras de Whitehead en *Process and Reality*⁶⁵ “lo que previamente era meramente potencial”.

Este espacio-tiempo, que representa el proceso de crecimiento del pasado, es contrastado por Stapp con la correspondiente idea de la física cuántica no relativista (NRQT), consistente en una visión de la teoría que vulnera el principio de la relatividad especial, que establece que ninguna fuerza y objeto pueden viajar a velocidades superiores a la de la luz. Para esta teoría, cada evento o reducción cuántica (brotes whiteheadianos) ocurre, eso sí, en algún “ahora” determinado, pero en todo el espacio.

Stapp representa esta estructura del espacio-tiempo en otro diagrama (figura 2) donde los eventos se representan como un conjunto de líneas paralelas numeradas desde el pasado hacia el futuro o “intervenciones” asociadas a cada salto hacia un nuevo estado cuántico $\psi(t)$.

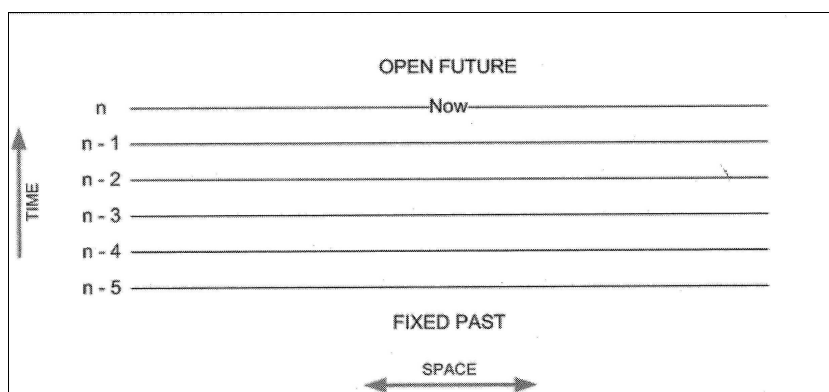


Figura 2⁶⁶

Cada línea equivale a una superficie espacio-temporal continua de puntos. Al ser continua, no hay límite de velocidad según la relatividad especial.

Esta estructura del espacio-tiempo no relativista es sustituida en Tomonaga-Schwinger por la teoría cuántica relativista de campos, con una estructura similar a la de Whitehead y que Stapp ha representado en la figura 1.

⁶⁴ Ib. (p.90)

⁶⁵ Ib.

⁶⁶ Ib. Nota: corresponde a la figura 13.2 del texto (p.93)

Stapp pretende demostrar de esta manera que con estas estructuras o partes separadas del espacio-tiempo se preserva el principio de la relatividad especial y aumenta nuestra información del sistema y por tanto de la realidad, pues la transición de una ‘potencialidad’ a una ‘actualidad’ ocurre durante el acto de observación. Cada espacio o porción de actividad representa una “ocasión actual”.

Esta ontología se acomoda a la presentada por Stapp en su trabajo. Siendo descrita tanto físicamente como psicológicamente, no es antropocéntrica puesto que una “ocasión actual” es un evento cuyo output mental es una ‘adición’ a la corriente humana de eventos conscientes siendo el output físicamente descrito el correlato neuronal actualizado del output neural.⁶⁷

Stapp es consciente de que esta ontología no está “implicada” en los datos empíricos actuales mas que a nivel de esbozo, pero mantiene sin embargo que nos encontramos ante una propuesta racionalmente fundada y a tener en cuenta paralelamente a los resultados de las investigaciones.

V.1.5 El efecto *Quantum Zeno*

La correspondencia que en la hipótesis de Stapp se da en nuestro cerebro como sistema cuántico entre la realización de las acciones y potencialidades cuánticas y los estados neuronales altamente organizados, ocurre debido a un proceso causal.

Denomina “plantillas para la acción”⁶⁸ a un estado macroscópico del cerebro que, si sostenido en el tiempo, permitirá que se produzca una acción determinada, que en el caso de acciones basadas en prueba y error, llevaría a elecciones entre ‘sí’ y ‘no’ , a su vez equivalentes al Proceso 1 de von Neumann.

Si elegimos la respuesta ‘sí’ y la logramos mantener en un tiempo determinado se traducirá en el éxito o logro de la intencionalidad.

Detrás de este proceso hay un esfuerzo mental que, si mantenido, equivaldría a sucesivas mediciones del estado que tendrían como consecuencia una mayor capacidad del agente y por tanto una ‘ventaja’ sobre sus competidores. Utilizando los términos descriptivos de Stapp, ‘realidades’ descritas ‘mentalmente’ tendrán efecto sobre las cerebrales o descritas ‘físicamente’.

Este efecto es el efecto denominado *Quantum Zeno*⁶⁹, matemáticamente descrito por la mecánica cuántica.

Este efecto es el que Stapp considera que explicaría el resultado de unos experimentos sobre el

⁶⁷ Ib. (p.97)

⁶⁸ Nota: *templates for action* en el texto original en inglés

⁶⁹ Nota: denominación metafórica de los físicos Sudarshan y Misra 1977 inspirada en la paradoja de la flecha de Zenón

efecto placebo, realizados por Price et al. 2007,⁷⁰ en determinados pacientes afectados por el síndrome del colon irritable, donde un alto porcentaje de pacientes experimentó la remisión de los síntomas. El hecho fue monitorizado mediante fMRI en la que se pudieron observar los correlatos neuronales durante la fase de remisión de los síntomas, coincidente con la atención prestada por los pacientes a las palabras del instructor que indicaba a su vez cómo iba a tener lugar la remisión del dolor.

En la figura 3 vemos representado el estado evolutivo de un sistema cuántico cerebral cuya estructura física macroscópica se compone de microelementos como iones y átomos cuyo comportamiento es de dinámica microscópica.

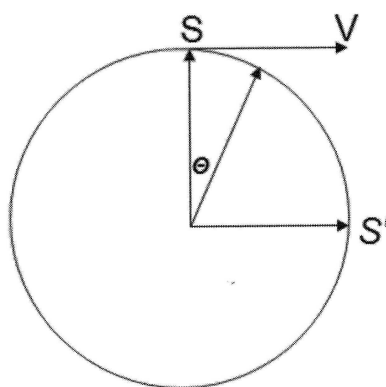


Figura 3⁷¹

En este caso el patrón de actividad neurológica sería equivalente a un puntero o instrumento de medida de cualquier otro sistema, y en ella se representan las secuencias de eventos físicos abruptos que serían los correlatos neuronales de las secuencias de eventos mentales.

Conforme a la ecuación de Schrödinger, el estado de un sistema, en este caso el del cerebro, se encontrará en evolución al igual que cualquier otro puntero y será una combinación (estado mezcla) de muchos componentes de la clase de las experiencias que solemos tener los humanos.

Como hemos visto, los fundadores solucionaron esta situación, que no permitía actualizar una experiencia concreta, mediante la incorporación del observador (Stapp no distingue entre observador consciente o inconsciente puesto que el fenómeno se realiza en actos tanto conscientes como inconscientes) a la teoría.

⁷⁰ Ib. (p.147)

⁷¹ Ib. Nota: corresponde a la figura 17.1 p.150 del texto

Así, un sistema físico que actúa como observador puede efectuar mediciones. Cada una de ellas extrae un estado cuántico 'S' del 'puntero' que está siendo observado.⁷²

Dicho estado 'S' corresponderá a una posible experiencia del observador.

Tan pronto como el observador elija dicho estado 'S', la naturaleza, conforme a las leyes de la física cuántica, responderá de inmediato mediante una 'reducción' del paquete de ondas o colapso cuántico. Esta reducción es representada por un 'salto cuántico' del estado cuántico actual a un estado seleccionado 'S' o a otro 'S'.

La probabilidad de que el estado actual indicado en la figura 3 como ángulo θ salte al estado elegido realizable experiencialmente, 'S', tiene asignado un valor calculable (expresado en propabilidades). En la figura, V indica la velocidad del puntero.

Dicho de otro modo, si el observador elige realizar la medición, que hará que el puntero (estado o función de onda) salte al estado 'S' y si la naturaleza "decide" responder a la medición efectuada, el vector efectivamente saltará a 'S'. También podrá saltar a "S", pero con una probabilidad menor en el caso de la figura 3, ya que la flecha o puntero está más cerca de "S" que de "S".

Hecha la medición, el vector seguirá rotando hacia 'S' y el ángulo θ se irá ampliando. Si más tarde se repitiera la medición, el vector saltará igualmente a 'S' o a 'S'.

El efecto *Quantum Zeno* conlleva que si se efectúa el Proceso 1 repetidas veces en un corto periodo de tiempo, la difusión de la acción es bloqueada y el estado del cerebro se restringirá esencialmente a la respuesta 'S',⁷³ en concreto, que en el caso del mandato biológico 'huye' o 'ataca', también se verá prolongada pudiendo tener lugar así la respuesta.

Templates for actions es una capa macroscópica, que se puede extender a una amplia porción del cerebro, de actividad neurológica que, si mantenida durante un tiempo, tenderá a producir una actividad cerebral que a su vez tenderá a producir la respuesta experienciada.⁷⁴ Esta capa es el correlato neuronal del esfuerzo consciente que se realiza para actuar de determinada manera.

V.1.6 Conclusiones del autor

Después de más de cincuenta años de investigación en teoría cuántica, Stapp sigue pensando que ésta reconcilia actitudes contrarias, monismo *versus* pluralismo, idealismo y materialismo, determinismo y libre albedrío. Su pensamiento no ha sufrido variaciones, sino que solo ha podido

⁷² Ib. (p.149)

⁷³ Ib. (p.76)

⁷⁴ Ib. (p.111)

enriquecerse de la investigación.

Sigue pensando que para obtener una teoría científica útil necesitamos unir los aspectos matemáticos con los perceptuales de nuestra experiencia. La estructura matemática de la física cuántica es de tal manera que la aproximación clásica materialista de los aspectos físicos de la naturaleza no funciona, pues los fundadores de la teoría cuántica tuvieron que incorporar la conceptualización de potencialidades y de los hechos empíricos correspondientes a la reducción, a las descripciones matemáticas.

Mediante la 'partición' del estado potencial, la teoría se vincula a las experiencias humanas y a las reglas validadas empíricamente por la teoría.

El efecto de la reducción se da en la capa cerebral en toda su extensión y liga la “experiencia intentada” con la experiencia de la “ respuesta”, lo cual a su vez viene de memorias de experiencias pasadas.⁷⁵

Es plausible conjeturar que estas experiencias estén causadas por un incremento en el *ratio* del *timing* de acciones del Proceso 1 cuya persistencia en la capa neuronal puede que permita que ocurra la acción intencional (efecto *Quantum Zeno*).

El efecto será mantener la información o 'plantilla para la acción' como la denomina Stapp a nivel macroscópico.

La teoría cuántica tienen la capacidad 'técnica' de explicar como los esfuerzos de la conciencia de un ser humano pueden influenciar sus acciones corporales, por lo que podemos considerar vigente lo afirmado por James:⁷⁶

"La conciencia parece ser un órgano superañadido a otros órganos, que mantiene al animal en su lucha por la existencia (...) Pero si es útil, lo tiene que ser por su eficacia causal, de tal manera que la teoría del autómatas no puede mas que sucumbir”.

Stapp se ha defendido del peligro del antropocentrismo acudiendo a la ontología whiteheadiana.

Del peligro de caer en la circularidad con relación al momento en que surge la conciencia, ha afirmado que "las leyes que causan o permiten que haya determinados requisitos físicos para que se de la conciencia no deben depender de que haya una conciencia que se produzca más tarde".⁷⁷

Dichas leyes deben permitir en cambio que se den las potencialidades para que ocurran las experiencias.

La teoría ' de la observación' aquí presentada y que tiene tanto 'éxito' experimental, tiene que ser un

⁷⁵ Ib. (p.114)

⁷⁶ Ib. (p.115)

⁷⁷ Ib. (p.135)

aspecto de un proceso de la naturaleza de lo real.

La naturaleza de esta realidad no puede ser de la clase concebida por la física clásica que consiste exclusivamente en objetos y campos, sin lugar para la mente ni para la conciencia.

La mecánica cuántica nos informa en cambio que incluso los aspectos de la naturaleza físicamente descritos no se adecuan conceptualmente a las cualidades que la física clásica asigna a las rocas, ya que en teoría cuántica dichos aspectos son meras potencialidades de que ocurran los eventos realmente.

Una potencialidad es más una idea que una sustancia material y así es tratada en la teoría, una idea de lo que puede llegar a ocurrir. La realidad objetiva se tiñe de cualidades “en forma de idea”, tanto a nivel de “potencialidades objetivas” como de ocurrencias psicofísicas.

Estas cualidades “en forma de idea” se ligan a las experiencias conscientes, sin embargo parecen estar “esculpidas” en la estructura de la propia teoría cuántica como teoría de potencialidades.

Tales aspectos “en forma de idea” de la naturaleza no son accidentales sino características de un proceso natural que tiende a preservar y extender un orden “reconocido”.

Esta teleología, la del orden, la encontramos también en la última aproximación que veremos de la conciencia basada en algunas propiedades derivadas de la formulación cuántica.

Ésta es la teoría basada en un "dualismo cuántico interactivo", como el propio Stapp la califica, no cartesiano.

V.2 Otros modelos

V.2.1 La interpretación de Everett (vista por Chalmers)

Esta interpretación, en lugar de admitir una opción aleatoria o causal de una entre muchas posibilidades, trata de aceptar todas las posibilidades al mismo tiempo en una actualidad simultánea, sin que colapse en una de ellas.

"En otras palabras, la naturaleza probabilística de la mecánica cuántica permite al universo desplegarse en un número infinito de modos".⁷⁸

Si la ecuación de Schrödinger lo es todo, entonces el mundo está superpuesto en cualquier nivel a pesar de que lo no parezca⁷⁹ y el observador percibe un flujo homogéneo de cambios, un mundo

⁷⁸ Piero SCARUFFI, *La nuova fisica: l'asimmetria omnipresente* 2003 (p.21)

⁷⁹ David CHALMERS, *The Conscious Mind* 1996 (p.347)

'discreto'.

¿Por qué? La respuesta de Everett, según Chalmers, es porque la superposición se da también en la mente: el estado del cerebro del observador se encuentra en una superposición de un estado en el que el puntero del aparato de medida apunta hacia arriba y de otro estado en el que el puntero apunta hacia abajo. De este modo habrá dos observadores.

Esta interpretación difiere de la atribuida a Everett de los universos divididos (“splitting worlds” en inglés), literalmente dividido en dos, o multiversos, donde en uno el puntero apunta hacia arriba y en el otro hacia abajo, pero esta interpretación, para Chalmers, reaviva de algún modo el problema de la medida puesto que no se sabrá cuando tendrá lugar la división.

En la primera interpretación, que también es la interpretación de Lockwood 1989, no hay división, sino una evolución de la función de onda en la que los estados superpuestos son constituyentes de un único mundo, donde si algo se divide son las mentes de los observadores⁸⁰ que perciben un “minimundo”, frente al único mundo o “maximundo” superpuesto.

Tenemos así un estado del mundo “relativo” al observador y otro, “objetivo”, superpuesto.

Sin embargo el fallo de Everett en opinión de Chalmers⁸¹ es no analizar la relación mente-cuerpo que se da en esta dicotomía. Asume que el estado de un cerebro superpuesto tenga distintos sujetos experienciales asociados, pero no justifica por qué la conciencia solo percibe uno de estos estados.

Debe señalarse que Henry Stapp⁸² critica la interpretación de Everett a un nivel fundamental puesto que si fuera cierto que la ecuación de Schrödinger, sola, incluyendo en su recorrido todas las interacciones con el entorno (macroscópico), bastara para unir la matemática cuántica a los datos experimentales de aplicación de dicha teoría, tendríamos que el universo habría evolucionado desde el big bang también únicamente bajo la influencia de la ecuación, en cuyo caso todos los objetos, incluido nuestro cerebro, se encontrarían en un “continuo amorfo”.⁸³ De allí, la necesidad de salir al paso mediante la teoría de las muchas-mentes, donde todas las partes de nuestro cerebro estarían acompañadas de la experiencia correspondiente del objeto en cuestión, no en un lugar, sino en una continua agregación de experiencias, una para cada localización del objeto en la vasta región de la función de onda global.

También Stapp considera que el problema de las muchas-mentes es el de la medida,⁸⁴ pero veremos como propone y asume una posible solución a este problema.

⁸⁰ Ib. (p.348)

⁸¹ Ib. (p.349)

⁸² Henry STAPP, *Mindful Universe* 2011 (p.59)

⁸³ Ib. (p.59)

⁸⁴ Ib. (p.60)

Esta falta de justificación vuelve a centrar para Chalmers el dilema de la relación entre los procesos físicos y la experiencia, en discernir por qué el mundo está superpuesto y sin embargo lo percibimos en un estado “discreto”.

Por ello encuentra una respuesta en los fundamentos de una teoría de la conciencia basada, sin eludir por ello el dualismo, en su explicación desde la óptica de una adecuada computación,⁸⁵ en la que la máxima información posible de un estado físico original P estaría superpuesto al formalismo de los estados físicos fenoménicos experienciales.

“Los mismos espacios informativos se realizan física y fenoménicamente”⁸⁶ asentando el doble aspecto de la información como “estado físico espacial” y también como “estado formal”.

La estructura de la experiencia es la estructura de un espacio informativo realizado fenoménicamente y la estructura de la conciencia,⁸⁷ es la de un espacio informativo realizado físicamente. Una experiencia consciente sería la realización de un estado informativo.⁸⁸

A mi entender, esta sugerente hipótesis, que abre la cuestión a la teoría del conocimiento, a la que me he referido en la primera parte del texto y que precisaría de mayor desarrollo, podría encajar en la hipótesis epistemológica de Stapp.

V.2.2 El modelo de Penrose-Hameroff

El modelo fue presentado en Tucson (Arizona) en 1994.

En él se incorporan y combinan los conocimientos e investigaciones de Roger Penrose basadas en su hipótesis de que en las leyes físicas se pueda dar una acción que no sea algorítmica y, por tanto no simulable, apuntando a la conciencia como candidata.

Escéptico sobre el problema de la medida, busca el camino en base a una reducción objetiva debida a la gravedad cuántica, pues considera que podría ser la gravedad la que produzca el fenómeno de la conciencia.

Por su parte, Hameroff aporta sus investigaciones en el comportamiento de los microtúbulos como candidatos a la localización de la conciencia.

Los microtúbulos son estructuras tubulares de las células eucariotas siendo cada uno de ellos una proteína, constituida por subunidades proteicas llamadas tubulinas. Tienen un diámetro exterior

⁸⁵ David CHALMERS, *The Conscious Mind* 1996 (p.351)

⁸⁶ Ib. (p.288)

⁸⁷ Nota: aquí Chalmers utiliza el término awareness

⁸⁸ Ib. (p.293)

aproximado de 24 nm y 14 nm de diámetro interior. En las neuronas, los microtúbulos y los filamentos intermedios se extienden a lo largo de los axones y dendritas desde el cuerpo de la célula hasta su terminal. Siendo estructuras altamente dinámicas, son estabilizadas por un grupo de proteínas denominadas tubulinas asociadas a microtúbulos (MAP's).⁸⁹

La tubulina manifiesta dos estados diferentes de polarización eléctrica que permitiría la propagación de señales de tipo complejo a lo largo de los microtúbulos, análogo al de un autómatas celular.⁹⁰

Juntos, Penrose y Hameroff 1994 elaboran el modelo de "Reducción Objetiva Orquestada"(RO), donde los fenómenos de superposición cuántica ocurren en el interior de los microtúbulos, en los que se dan estados coherentes de computación cuántica⁹¹ que pueden mantenerse gracias a la acción de la gravedad. Es también en los microtúbulos donde ocurriría el colapso o reducción objetiva, o autocolapso, que es una actividad no computable.

Una secuencia de procesos RO daría lugar a los flujos de conciencia, donde R es equivalente al Proceso 1 de von Neumann.

El argumento de la no computabilidad de la conciencia asumido por Penrose en *Las sombras de la mente*, conocido como "el nuevo argumento de Penrose"⁹² debido a los distintos cambios en su fundamentación mantenidos por el autor, considera que la física actual no dispone de elementos que contemplen tal posibilidad, por ello o bien la física es incompleta o bien está equivocada, por lo que habría que elaborar una nueva física.

Se basa en el teorema de Gödel para defender su argumento ya que Gödel demuestra que hay verdades matemáticas que, aun sabiendo que son ciertas, son indemostrables, por tanto no computables.

En ello se vale para fundamentar la superioridad de la mente humana sobre la máquina.

Por este motivo, Penrose acude a la física cuántica y al postulado de la medida, salvo que en este caso el colapso ocurre cuando el sistema interactúa con el ambiente, sin necesidad de observador.

⁸⁹ Oscar CASTRO GARCÍA *Aspectos biosemióticos de la conciencia: en búsqueda de los signos significativos de la vida y su autoreferencia en la conciencia como principio teleonómico* 2006

⁹⁰ Ib.

⁹¹ Ib. Nota: siguiendo al autor, el concepto de coherente significa oscilaciones de igual longitud de onda, siendo ondas ordenadas y coordinadas cuyas cúspides superiores e inferiores se interrelacionan de tal forma que pueden superponerse unas con otras. Así, las ondas de un campo coherente se comportan de la misma manera, por lo que pueden transmitir información y unir en un todo las células, tejidos y órganos (Baines, 1998) Este fenómeno se refiere a circunstancias en que grandes números de partículas pueden cooperar colectivamente en un simple estado cuántico que permanece no enmarañado con su entorno. Semejantes estados se dan de forma espectacular en los fenómenos de superconductividad, donde la resistencia eléctrica cae a cero, y de superfluidez, donde la fricción del fluido, o viscosidad, cae a cero. La particularidad de estos fenómenos es la existencia de un intervalo de energía que tiene que ser superado por el entorno para llegar a perturbar este estado cuántico.

⁹² Israel GRANDE GARCÍA, *El modelo cuántico de la conciencia de Penrose y Hameroff: una introducción y evaluación crítica* 2006 (p.22)

En el modelo Penrose-Hameroff el criterio es “objetivo” y provoca la reducción (objetiva) de la función de estado, siendo la propiedad gravitatoria del espacio-tiempo la que reconfigurará su geometría.⁹³

Castro García explica el proceso RO como sigue, comparándolo con la teoría estándar u ortodoxa: "Un rasgo importante de RO es que los aspectos no computables surgen sólo cuando el sistema cuántico se hace tan grande que su estado sufre el auto-colapso, en lugar de su estado de colapso, porque su crecimiento fuerza el enredo con su ambiente. Debido a la naturaleza aleatoria del ambiente, la acción de RO, que es el resultado del crecimiento-inducido del enredo, sería indistinguible del RS (reducción subjetiva) azaroso, o los procesos R de la teoría cuántica estándar. (..) En la teoría cuántica estándar no hay ninguna actividad no computable, los procesos R son totalmente el azar".⁹⁴

De acuerdo con Penrose, para que ocurra el autocolapso será necesario un umbral de tiempo, proporcional al tamaño del sistema superpuesto. Así, si el sistema es grande, colapsará rápidamente y si es pequeño la superposición se mantendrá.

En el modelo, los acontecimientos de la conciencia se dan en el rango de 25 ms, en oscilaciones coherentes de 40 Hz, y de 500 ms en los eventos preparatorios de un acto consciente.

Sin embargo, hay algunos hechos conocidos, argumenta Grande,⁹⁵ que obstaculizan la coherencia en el interior del cerebro: si la temperatura del ambiente es muy alta necesitará una energía de las partículas igualmente alta para que se pueda alterar la coherencia y producir el colapso. La superconductividad, necesaria para que se produzca el fenómeno, ocurre solo a temperaturas muy bajas, cercanas al cero absoluto, no alcanzable por tanto en el estado cerebral.

Sin embargo Fröhlich, en los años 60, propuso que la superconductividad podría darse en sistemas biológicos, concretamente en las membranas de las células.

Penrose y Hameroff en cambio proponen los microtúbulos, debido a sus propiedades estructurales y funcionales adecuadas, concretamente por la estructura del agua y del campo y a la propiedad de aislamiento de los propios microtúbulos, que permitirían mantener la coherencia.

Se proponen así los microtúbulos como computadoras cuánticas.

Ante la pregunta de si el fenómeno de coherencia a nivel macroscópico se da en todos los microtúbulos del cerebro o solo en algunos⁹⁶ Hameroff sugiere que sea el efecto-túnel cuántico el

⁹³ Ib. (p.30)

⁹⁴ Ib.

⁹⁵ Ib. (p.30)

⁹⁶ Ib. (p.49)

que promueva la coherencia entre las hendiduras sinápticas, activado por el disparo sincronizado de las neuronas.

Grande⁹⁷ considera que la teoría de Penrose-Hameroff adolece de fisuras: no hay evidencias de correlaciones entre la estructura de los microtúbulos y la conciencia, siendo la coherencia a gran escala cerebral una actividad hipersincrónica que solo puede darse en episodios de crisis epilépticas. Por otro lado, el hecho de que la frecuencia de 40 Hz sea el enlace necesario para la experiencia consciente no es el único hecho explicativo de la conciencia. Por último, hay evidencias que muestran que la anestesia general actúa en lugares distintos de los microtúbulos, además de que no se ve afectada solo la conciencia sino también el habla o el pensamiento.

Stapp, al hilo del contenido de algunas de estas críticas a la teoría de Penrose-Hameroff, entre ellas la de Max Tegmark, revaloriza⁹⁸ la descripción de von Neumann de concebir el cerebro como una colección de posibles estados clásicamente descritos, que puede sobrevivir a la decoherencia mediante el efecto Quantum Zeno. Además, aunque pudiera parecer un argumento común a ambas teorías, la versión de Stapp es también no algorítmica, sin embargo esta cualidad en Stapp, como hemos visto, obedece al criterio de “libre elección” del agente.

En cualquier caso la teoría de Penrose-Hameroff apunta a lo que algunos autores como Hu⁹⁹ denominan *narrow problem* de la investigación, orientada al estudio de cómo un efecto cuántico como la coherencia ocurre en determinadas localizaciones o sustratos neuronales y su correlación cognitiva. Sin embargo el *broad problem* que, a mi criterio, Stapp opta por afrontar, es la parte de la teoría que se dirige a los fundamentos y relaciones de la mecánica cuántica y la conciencia, teniendo una vocación y matiz más ontológicos y epistemológico.

V.2.3 Modelo de conciencia basado en la doble solución de la función de onda

Este modelo se extrae de la teoría “unitaria” de Fantappiè 1941, que en la clasificación que realiza Vannini¹⁰⁰ aparece entre los modelos de la conciencia basados en la mecánica cuántica, a la que imputan un principio de orden del que se extraen y organizan las propiedades de la conciencia.

En la teoría se respeta la relatividad especial.

Entre los modelos que proponen la propiedad del orden como estructurador de la conciencia y

⁹⁷ Ib. (p.57)

⁹⁸ Henry STAPP, *Mindful Universe* 2011 (p.51)

⁹⁹ Huping HU & Maoxin WU, *Current Landscape and Future Direction of Theoretical and Experimental Quantum Brain/Mind/Consciousness Research* 2010

¹⁰⁰ Antonella VANNINI, *Modelli quantistici della coscienza* 2008

derivado del formalismo cuántico tenemos según Vannini:

- Fantappié 1941
- Umezawa-Ricciardi 1967
- Frölich 1968
- Pribram 1971
- Eccles 1986
- Marshall 1989
- King 1989
- Yasue 1995
- Vitiello 1995
- Flanagan 2003
- Pereira 2003
- Hu 2005
- Baaquie 2005
- Hari 2008

Fantappié trata de sintetizar la física relativista, que establece un vínculo esencial entre espacio y tiempo, y la física cuántica, en su doble aspecto corpuscular y ondulatorio, para demostrar que la naturaleza tiene a su vez un doble aspecto o tendencia, tanto hacia el orden como hacia el desorden,¹⁰¹ basándose para ello en la ecuación de d'Alembert y en su operador, utilizado en mecánica ondulatoria, que admite dos soluciones: las soluciones de potenciales retardados, que describen las ondas divergentes de la fuente que las produce y las de potenciales anticipados, que describen las ondas convergentes desde una fuente puesta en un tiempo futuro.

Este mismo efecto de propagación en el tiempo lo tenemos en la física ondulatoria cuántica en la ecuación de Dirac y en la ecuación de Klein Gordon.

En 1928 Dirac formuló una ecuación descriptiva del comportamiento de los electrones en los átomos de hidrógeno y recaló en que la ecuación admitía dos tipos de soluciones,¹⁰² representativas de electrones con energía positiva (potenciales retardados) y electrones con energía negativa (potenciales anticipados).

También la solución de la ecuación de Klein-Gordon puede arrojar matemáticamente dos tipos de soluciones puesto que depende de una raíz cuadrada de los valores en ella contenidos, elevados al

¹⁰¹ Giuseppe e Salvatore ARCIDIACONO, *Sintropia, Entropia, Informazione* 2006 (p.7)

¹⁰² Ib. (p.20)

cuadrado.

El resultado aplicado de las soluciones de potenciales anticipados son excluidas por los físicos, como por ejemplo Poincaré¹⁰³ al considerarlas no existentes en la naturaleza, mientras, en cambio, las primeras pueden ser reproducidas en laboratorio.

Sin embargo, Vannini¹⁰⁴ considera que físicos notables han investigado y siguen investigando sobre la base de esta concepción del tiempo, citando entre ellos a Richard Feynmann quien diseñó unos diagramas en los que se representan las trayectorias de los electrones que al contacto con los positrones se aniquilan, liberando una cantidad de energía en el contacto.

Yoichiro Nambu 1950, premio Nobel física 2008, ha conjeturado que lo que se representa en los diagramas de Feynmann no son aniquilaciones sino un cambio de dirección de la propia partícula del pasado al futuro o viceversa.

En el mismo sentido, las propuestas de John Wheeler o de la retrocausalidad en Michael Dummett.

La teoría de Fantappiè asume como referencia las citadas ecuaciones, partiendo de la base de una ontología temporal única, de una sola dimensión temporal "pasado-presente-futuro" y considerando que la primera clase de soluciones es aplicable a fenómenos de propagación ondulatoria "clásica", continua, pero en fenómenos discontinuos como los cuánticos, donde las centros de emisión y de absorción son discontinuos y por tanto concentrados en puntos aislados, debido a su naturaleza corpuscular,¹⁰⁵ son de aplicación el segundo tipo de soluciones.

De esta manera el matemático italiano concluyó que las ondas divergentes corresponderían a los fenómenos entrópicos, mientras que las convergentes a un tipo de fenómenos que denominaba "sintrópicos".¹⁰⁶

Los primeros, que son de tipo causal, tienden a la dispersión y son reproducibles en laboratorio y los segundos no son causales, tienden a la concentración y no son reproducibles, debido a que, según Fantappiè y Arcidiacono¹⁰⁷ la intensidad de las ondas convergentes se concentra en espacios cada vez más pequeños. No obstante, consideran que en la naturaleza se da un intercambio de fenómenos entrópicos y sintrópicos de tal manera que se evita que la concentración se haga infinita. Arcidiacono acude por su paralelismo con estos fenómenos, a las energías "tangencial" y "radial" de Teilhard de Chardin¹⁰⁸ como causantes del proceso de progresiva "complejización" de la materia

¹⁰³ Ib.

¹⁰⁴ Antonella VANNINI, *Un modello sintropico della coscienza* 2009 (p.80)

¹⁰⁵ Giuseppe e Salvatore ARCIDIACONO, *Sintropia, Entropia, Informazione* 2006 (p.18)

¹⁰⁶ Antonella VANNINI, *Un modello sintropico della coscienza* 2009 (p.156)

¹⁰⁷ Ib. (p.28)

¹⁰⁸ Ib. (p.52-54)

que según este último, provocan la mayor organización y cerebralización de los seres vivos y por ende una mayor capacidad consciente. Esta capacidad es propuesta como el "tercer infinito", junto con el espacial y el temporal.

También en Arcidiacono¹⁰⁹ y con base en Brillouin, se asimilan los niveles de energía de un sistema con los niveles de información que arroja. Esta hipótesis la hemos visto también en von Neumann, de tal manera que a menor entropía correspondería mayor información.

Sobre esta alternancia de fenómenos se estipula, en estos teóricos, el desarrollo de la vida.

De hecho, Fantappié propone como ejemplo de fenómenos entrópicos en los seres vivos, la respiración o los procesos degenerativos causados por enfermedades y entre los sintrópicos, el crecimiento, la nutrición o la síntesis de las proteínas, prevaleciendo los segundos en las primeras etapas de la vida.

Fantappié hipotiza que, debido a que los sistemas vivos son incompatibles con las leyes de la entropía, que gobierna el macrocosmos, hay que buscar las leyes básicas de la vida en los niveles microscópicos, donde rigen las leyes de la mecánica cuántica y donde es la sintropía la que permite la creación de orden y de las estructuras, que se reflejan primeramente en el ADN. Para ello hipotiza que es en el sistema nervioso autónomo (SNA) donde se localiza la estructura de los sistemas vivos destinada a alimentar de sintropía los procesos vitales y de regeneración del organismo, llegando a conjeturar que los parámetros psicofísicos del SNA tales como frecuencia cardíaca y conductancia cutánea sean los marcadores somáticos de los procesos de anticipación, al considerar que el SNA se alimenta de energía, a su vez formalmente representada por ondas que se mueven en el sentido inverso temporal.¹¹⁰

Otro argumento utilizado por los que se adhieren a la teoría de las ondas convergentes basado en la solución de Klein Gordon es que los sistemas vivos se encuentran continuamente ante la opción de tomar decisiones entre causas situadas en el pasado y causas situadas en el futuro. El éxito de tales elecciones no puede ser determinado *a priori*.

Vannini, en su investigación orientada a la demostración de la hipótesis de Fantappié de que en los seres vivos que operan decisiones se dan este tipo de respuestas anticipadas, recoge los datos arrojados por una serie de experimentos, basados en técnicas estadísticas, realizados por Tressoldi et al.,¹¹¹ de la Universidad de Padova, que podrían llevar a concluir que los sujetos sometidos a las

¹⁰⁹ Ib. (p.70-72)

¹¹⁰ Antonella VANNINI, *Un modello sintropico della coscienza* 2009 (p.157)

¹¹¹ Nota: del desarrollo del experimento está ampliamente desarrollado en caps. 5, 6 y 7 de *Un Modello Sintropico della Coscienza* 2009

pruebas en cuestión, experimentaron este tipo de “respuestas anticipadas” o “efectos retrocausales” de secuencias de preguntas impredecibles. Los marcadores somáticos utilizados en el experimento fueron la frecuencia cardíaca y la conductividad cutánea de los sujetos.

Los modelos aquí presentados no son explicativos de la conciencia, sin embargo aportan elementos de interés que podrían ser tomados en consideración en una investigación que tuviera en cuenta también los fenómenos biológicos y no exclusivamente los físicos.

Respecto a la propuesta de la retrocausalidad, pues Fantappiè opone fenómenos entrópicos como causales y sintrópicos como retrocausales, viene al caso citar a Cuesta¹¹² en relación con la plausibilidad teórica de que hechos causales puedan transmitirse hacia atrás en el tiempo. En su análisis de la causalidad de las correlaciones EPR (se trata de un experimento mental propuesto por Einstein, Podolsky y Rosen en 1935, que pone de manifiesto la no-localidad cuántica así como el fenómeno del entrelazamiento cuántico entre partículas, de tal manera que dadas dos partículas y realizada la medición de un observable en una de ellas, conoceríamos de inmediato el observable de la otra. Esto podría suponer una vulneración de la teoría de la relatividad) llegó a concluir que los efectos de influencias causales de los fenómenos cuánticos pueden transmitirse hacia atrás en el tiempo. Aún reconociendo que esta hipótesis puede entrañar complicaciones o dificultades, afirma que "hace años que los argumentos tradicionales en contra de la causalidad hacia atrás en el tiempo han sido rebatidos" (citando también a Dummett) "y, para colmo, varios modelos causales de las correlaciones EPR que hacen uso de esta posibilidad se encuentran en distintos grados de desarrollo en la actualidad".

VI. CONCLUSIONES

Las hipótesis que vinculan física cuántica y conciencia aquí presentadas, asumen la conciencia como algo dado, sin intentar determinar su naturaleza.

Dando por hecho su existencia, la incorporan al flujo causal de los hechos físicos, en el caso de Stapp y de Penrose-Hameroff. También en Noë, si bien este no involucra a la mecánica cuántica. En Chalmers, la causalidad lógica se quiebra con este elemento estocástico irreductible.

La mecánica cuántica ha descubierto como el microcosmos posee a un nivel fundamental unas propiedades diferentes de las del macrocosmos, propiedades que carecen de los niveles de definición o de determinación de las del macrocosmos, elevando sin embargo considerablemente

¹¹² Mauricio SUÁREZ, *Procesos Causales, Realismo y Mecánica Cuántica* 2007 (p.20)

los valores de predicción del comportamiento de la materia.

La mecánica cuántica, interpretada como lo hacen Stapp y los seguidores de la visión ortodoxa de la teoría, afirman que es la observación la que permite que las propiedades se definan.

Juan Ignacio Cirac¹¹³ sostiene que todas las teorías que han tratado de refutar este postulado, han sido a su vez refutadas por los experimentos de la mecánica cuántica, y la superposición cuántica, en palabras del físico español, es el precio que tenemos que pagar para que el postulado se mantenga.

Hemos pasado en el giro de pocos años, de un universo determinista y continuo a un universo posible, probable, actual y discontinuo.

Stapp, Noë y Fantappiè consideran la conciencia como un fenómeno o propiedad evolutivos, causalmente relacionado con las propiedades del orden, la organización y el incremento de conocimiento y/o de la información. Chalmers también sostiene que a nivel fundamental, los estados psicofísicos puedan explicarse como estados y espacios informativos.

En cualquier caso, a nivel fundamental, el universo se comporta conforme a las leyes de la mecánica cuántica.

De todas las hipótesis, quizás la que a mi entender puede alcanzar la calificación de "modelo" en la definición dada por Hawking, es la de Stapp, aún careciendo del atributo de falsabilidad, pues si bien es cierto que, además de racionalmente posible, es acorde con la teoría cuya aplicación muestra experimentalmente que cuando una partícula es observada, su naturaleza se modifica, no podemos falsarla.

No podemos afirmar por qué, ni el lugar en el que ocurre la modificación, pero es así como se comporta la naturaleza, al menos hasta donde esta se ha mostrado, hasta el momento, a la ciencia.

Nos encontramos solamente al comienzo de esta desconcertante investigación de las propiedades de la materia que han revolucionado nuestro modo de interpretar la realidad.

Stapp, basándose en von Neumann, eleva la conciencia a dimensión de la propia realidad. Este "dualismo interactivo" evoca la fuerza descriptiva de Xavier Zubiri al referirse a la interacción de la conciencia humana con lo real como "impresión de realidad", similarmente a la actualización que se describe en la ontología whiteheadiana.

Si ello es debido al colapso del estado de nuestro cerebro no lo podemos verificar por el momento, como tampoco podemos verificar el fenómeno *Quantum Zeno*, mediante su correlato atencional.

¹¹³ Nota: conferencias J.I. Cirac en UIMP, agosto 2011

Aczel¹¹⁴ considera que surgen dudas fundamentales con respecto a si objetos macroscópicos como nuestro cerebro o nuestro cuerpo se encuentra en un estado mezcla o no, si bien, afirma, es de suponer, por el formalismo cuántico, que sí. Tampoco sabemos si un ser vivo está compuesto por un conjunto de partículas con una onda asociada a cada una de ellas o debemos tratarlo como un macroobjeto único con una sola función de onda asociada.

Debemos esperar a más resultados experimentales y más investigación.

Mientras tanto, solo nos queda seguir reflexionando.

BIBLIOGRAFÍA:

ACZEL, Amir *Entanglement: il piú grande mistero della fisica* Scienza e Idee 2004

ARCIDIACONO, Giuseppe e Salvatore *Sintropia, Entropia, Informazione* di Renzo Editore 2006

CASTRO GARCÍA, Oscar *Aspectos biosemióticos de la conciencia: en búsqueda de los signos significativos de la vida y su autoreferencia en la conciencia como principio teleonómico* Revista de investigación e Información filosófica, ISSN 0031-4749, Vol. 62, N° 234, 2006 , págs. 471-504

CHALMERS, David *The Conscious Mind* Oxford University Press 1996

DIÉGUEZ, Antonio J. *Realismo y teoría cuántica* Contrastes, Revista Interdisciplinar de Filosofía 1996 Vol I

FISCALETTI, Davide *La non separabilità quantistica si dimostra come al livello fondamentale della realtà, lo spazio fisico abbia un carattere a-temporale* 2007
<http://www.scienzaeconoscenza.it>

FREGE, Gottlob *El Pensamiento: una investigación lógica* 1918 (trad. Valdés Villanueva)

GRANDE GARCÍA, Israel *El modelo cuántico de la conciencia de Penrose y Hameroff: una introducción y evaluación crítica* UAM 2006

GISIN, Nicolas *Quantum correlations in Newtonian space and time: arbitrarily fast communications or nonlocality* 2012
<http://arxiv.org/pdf/1210.7308v2.pdf>

HAWKING, Stephen y MLODINOV, Leonard *El Gran Diseño* 2010 Crítica

HU, Huping & WU, Maoxin *Current Landscape and Future Direction of Theoretical and Experimental Quantum Brain/Mind/Consciousness Research* Journal of Consciousness exploration

¹¹⁴ Amir ACZEL *Entanglement: il piú grande mistero della fisica* 2004 (p.232)

and Research n° 8, 2010

KRIPKE, Saul *Identidad y Necesidad* (Luis María VALDÉS VILLANUEVA, *La búsqueda del significado* Tecnos 2005)

NOË, Alva *Fuera de la cabeza* Kairós 2010

NOË, Alva *Précis of Action in Perception* 2006
<http://www.theassc.org/files/assc/2624.pdf>

SCARUFFI, Piero *La nuova fisica: l'asimmetria onnipresente* 2003
<http://www.scaruffi.com/nature/fisica.html>

STAPP, Henry *Mindful Universe* Springer 2011

STAPP, Henry *Quantum Mechanical Theories of Consciousness* Lawrence Berkeley National Laboratory 2004

SUÁREZ, Mauricio *Procesos causales, realismo y mecánica cuántica* 2007
http://www.academia.edu/2975224/Procesos_causales_realismo_y_mecanica_cuantica

VANNINI, Antonella *Un modello sintropico della coscienza* 2009

VANNINI, Antonella *Modelli quantistici della coscienza* 2008
<http://www.sintropia.it/tesi.pdf>