

FACULTAD DE PSICOLOGÍA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MAR DEL PLATA

Título del Proyecto: LA MENTE CUÁNTICA - UNA VISIÓN DEL PROBLEMA
MENTE - MATERIA EN TÉRMINOS DE LA FÍSICA CUÁNTICA.

Informe Final del Trabajo de Investigación correspondiente al requisito
curricular conforme O.C.S. (586/85 o 143/89).

Apellido y nombre del alumno: Soloviev, Konstantin.

Matrícula y año: 4053/96.

Tipo y número de documento: D.N.I. 93 326 955.

Apellido y nombre de Supervisor: Dr. Fernández Acevedo, Gustavo.

Cátedra de radicación: Introducción a la Investigación Psicológica

Fecha de presentación:

N° CLASIFICACION:	ADQUISICION:
T-Pg S	1016
	INVENTARIO:
	R-443



Este Informe Final corresponde al requisito curricular de Investigación y como tal es propiedad exclusiva del alumno Konstantin Soloviev, de la Facultad de Psicología de la Universidad Nacional de Mar del Plata y no puede ser publicado en un todo o en sus partes o resumirse, sin el previo consentimiento escrito del autor.



El que suscribe manifiesta que el presente Informe Final ha sido elaborado por el alumno Soloviev, Konstantin matricula N 4053, conforme los objetivos y El plan de trabajo oportunamente pautado, aprobando en consecuencia la totalidad de sus contenidos, a los días del mes de del año 2007.

Firma:

Aclaración:

Sello del Supervisor:

Agradezco cordialmente al Dr. Alberto de la Torre, al Dr. Stuart Hameroff y al Ing. Eduardo Yvorra por su colaboración en la preparación de este trabajo.

Atento al cumplimiento de los requisitos prescritos en las normas vigentes, en el día de la fecha se procede a dar aprobación al Trabajo de Investigación presentado por el alumno Soloviev, Konstantin matrícula N 4053.

Firma y aclaración de los miembros integrantes de la Comisión Asesora:

Fecha de aprobación:

Universidad Nacional de Mar del Plata
Facultad de Psicología

Plan de Trabajo para la Realización de la Investigación Pregrado

Apellido y Nombre del alumno: Soloviev, Konstantin

Matrícula y Año: 4053/1996

Cátedra o Seminario de Radicación: Epistemología de la Psicología

Supervisor: M. Sc. Fernández Acevedo, Gustavo

Título del proyecto: La Mente Cuántica

DESCRIPCIÓN RESUMIDA:

Este trabajo tiene como objetivo analizar los conceptos de la física cuántica utilizados en la explicación del funcionamiento de la mente humana. A lo largo de milenios, desde que los hombres comenzaron con el intento de explicar el funcionamiento de lo que se llama la mente, apareció un sinnúmero de teorías, modelos y conjeturas que pretendieron esclarecer la naturaleza de la psique humana. Este trabajo presentará una visión de la mente desde una nueva perspectiva, que causa un interés cada vez mayor entre los científicos de todo el mundo. A partir de los cambios que trajo la física cuántica en nuestra visión tradicional de la realidad existente se intentará hipotetizar acerca de posibles consecuencias que esta teoría produciría para ^{la} explicación de la naturaleza de la mente humana.

PALABRAS CLAVE:

paradigma, mente, procesos psíquicos, física cuántica.

DESCRIPCIÓN DETALLADA:

El año 1900, además de iniciar un nuevo siglo en la historia humana, fue un nuevo inicio en la ciencia, la que posteriormente cambiaría vertiginosamente a partir de los postulados de la teoría cuántica. Las consecuencias de los descubrimientos de la física cuántica resultaron ser drásticas tanto para la humanidad como para la ciencia: armas nucleares y tecnologías que dieron nacimiento a lo que ahora son atributos comunes de la vida cotidiana- televisores, videos, CDs, chips, calculadoras, computadoras etc.-; logros en tecnologías médicas -como

microscopios electrónicos, operaciones con láseres, tomografías computadas- la lista podría resultar más larga todavía. Los logros tecnológicos emergentes de la física cuántica cambiaron la humanidad de un modo más que notable. Pero el cambio en la comprensión de la realidad física resultó ser más dramático que los logros de la ciencia aplicada en sí. Como consecuencia, se han producido cambios significativos en la visión tradicional de la ciencia. Acostumbrados a ver el mundo descrito por la mecánica clásica, en el cual los fenómenos existen debido a las leyes deterministas de causa y efecto, donde el tiempo y el espacio tienen valores fijos y absolutos los científicos comenzaron a replantear la visión del mundo tradicional a partir de los postulados de la relatividad general y la mecánica cuántica. En la escala microscópica, como lo prueba la teoría cuántica, el mundo funciona según leyes muy distintas de las que operan en el mundo macroscópico, el que es explicado a través de la física newtoniana. El principio de complementariedad formulado por Niels Bohr, una de las principales figuras en la teoría cuántica, nos dice que las partículas elementales de la materia poseen una naturaleza dual que se llama 'función onda-partícula'. Esto significa que en un momento un microelemento (electrón, gluón, bosón etc.) se comporta como onda, en otro como partícula. La mención de este solo hecho, sin mencionar más de las paradojas propuestas por la física cuántica, dice a una persona acostumbrada a pensar en términos del mundo clásico cuán complicada resulta la comprensión de la realidad física.

Pero no sólo es en la física donde se produjo el giro en nuestras creencias acerca de la realidad sugerido por la teoría cuántica. Dada nuestra pertenencia al campo de la psicología me referiré específicamente a las consecuencias que ya tiene la teoría cuántica en la explicación del psiquismo de los seres humanos.

Parecería ser que el conocimiento científico avanza según los paradigmas kuhnianos: cuando un paradigma deja de dar respuestas eficientes a los problemas que se plantean deviene la crisis la que es seguida por una revolución científica representada por un paradigma nuevo que pretende dar mejores respuestas a los problemas existentes. Tal fue el caso de la psicología estructuralista, funcionalista, psicoanálisis, conductismo y ahora el cognitivismo el que es representado por dos paradigmas principales: el PPS y el PDP o conexionismo. Los interrogantes filosóficos acerca de la plausibilidad de existencia de los procesos cuánticos en la mente existió desde el nacimiento de la física cuántica, sin embargo, sólo a partir de mediados de los años ochenta se comenzó a investigar científicamente la posibilidad de existencia de estos procesos a partir de los trabajos de D. Deutsch (1985), quien trazó la analogía entre las computadoras cuánticas y la mente, y Sir R. Penrose (1986, 1994) quien propuso la idea de que la mente posee componentes no computables y que hay una relación



directa entre esta no computabilidad y el puente entre el nivel cuántico y el nivel clásico. Por lo tanto, habría que buscar un lugar en el cerebro que pueda aprovechar los efectos de coherencia cuántica para acoplarlos a la actividad neuronal que se observa a gran escala en el cerebro. El lugar más prometedor parecen ser los microtúbulos que forman parte del citoesqueleto celular propuestos por Stuart Hameroff y sus colegas de la Universidad de Arizona.

Además de lo mencionado, existen múltiples enfoques dentro de varias disciplinas psicológicas que tratan aglutinar las leyes cuánticas con las leyes psíquicas: dentro del psicoanálisis es el inconciente jungiano comparado con el esquema de la función onda-partícula, algunas teorías dentro de la Psicología Social y otras tantas, a menudo basadas en la comprensión errónea de la física cuántica lo que lleva a francos abusos.

Es probable que en el futuro cercano la psicología cuántica atraiga una mayor atención por parte de los científicos ya que posee unos argumentos que merecen mayor consideración. Pero este trabajo no tiene por objetivo evaluar cual de los paradigmas es más eficaz; de hecho, cada uno de ellos da cierta explicación acerca de la naturaleza psíquica del hombre. También lo hacen la neuroquímica, la neurobiología y otras neurociencias. Lo que está presente es la ausencia de una teoría unificadora la que sería capaz de consolidar todos los eslabones en un conjunto coherente. La realidad física tanto explícita como implícita es inmensa, al igual que la realidad psíquica, y la ambición de describir y explicarla a través de cierto paradigma es una tarea imposible. Solo la comprensión íntegra del fenómeno nos dice algo acerca de él. Por eso, una de las finalidades de este trabajo es mostrar la estrechez de vínculo entre lo macro y micro, lo molar y lo molecular, el determinismo y la probabilidad. Pero siendo esta tarea que requiere una investigación mucho más amplia reduciré los objetivos de este trabajo a unos pocos.

OBJETIVO GENERAL:

Mostrar argumentos en favor y en contra de la plausibilidad teórica-científica de los procesos cuánticos que tendrían lugar en la mente humana y determinan el funcionamiento de los procesos psíquicos apoyándose a los argumentos de índole filosófica, epistemológica y metodológica y, también, a los recientes logros de la tecnología en la física cuántica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

Comparar los distintos modelos y constructos teóricos existentes en la psicología cuántica desde los puntos de vista ontológico, metodológico y epistemológico con el fin de elaborar un panorama íntegro de la visión científica contemporánea acerca de la teoría cuántica aplicada a la psicología.

MÉTODOS Y TÉCNICAS:

Dado el carácter teórico de este trabajo el método aplicado en esta investigación será la revisión y análisis de las fuentes bibliográficas existentes necesarias para fundamentar la tesis.

LUGAR DE REALIZACIÓN DEL TRABAJO:

Espacios físicos de la U.N.M.d.P. (bibliotecas y aulas de Internet) y el domicilio del autor.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES:

Se estima que para la presentación del informe final se necesitaran de 8 a 12 meses a partir de la aprobación de este proyecto y el cronograma de este proyecto de investigación sería el siguiente:

Activ.	2003						2004				
	Julio	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo
1	X	X	X								
2				X	X						
3						X					
4							X	X			
5									X	X	
6											X

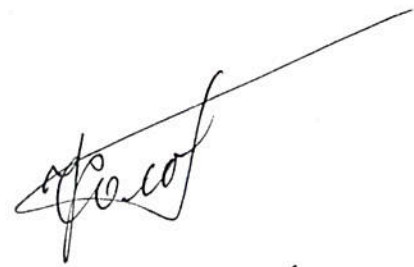
1. Recolección, lectura y revisión previa de los materiales correspondientes al problema planteado.
2. Revisión y consolidación del material estudiado, análisis, redacción del informe preliminar a ser presentado ante el supervisor.
3. Presentación del informe preliminar.
4. Corrección del informe preliminar, redacción del informe final
5. Redacción del informe final.
6. Redacción y presentación del informe final.

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA DE REFERENCIA:

- Bohm, D.(1980), *Wholeness and the Implicate Order*, Routledge & Kegan Paul, New York.
- Bohm, D. (1990), A new theory of the relationship of mind and matter, *Philosophical Psychology*, Vol. 3, N° 2, pp. 271-286.
- De la Torre, A. (1992), *Fisica cuántica para filo-sofos*, Buenos Aires, F. C. E.
- Deutsch, D.(1989), Quantum computational networks, *Proceedings of the Royal Society of London*, Series A.
- Chalmers, D.(1996), *The Conscious Mind: In Search of a Fundamental Theory*, Oxford University Press.
- Hameroff, S.R.(1994), Quantum Coherence in Microtubules: a neural basis for emergent consciousness?, *Journal of Consciousness Studies*, 1, pp. 98-118.
- Heisenberg, W.(1971), *Physics and Beyond*, New York, Harper and Row.
- Penrose, R. (1994), *Las sombras de la mente*, Barcelona, Crítica, 1996.
- Penrose, R. (1996), *La mente nueva del emperador. En torno de la cibernética, la mente y las leyes de la física*, México, Fondo de Cultura Económica.



FERNANDO ACEVEDO
Firma de Supervisor



SOLVIEV KONSTANTIN
Firma del Alumno

P/Area de investigación

Resultado de la evaluación (aprobado/rehacer)



A. MAGGI

Fecha: 30 de junio del 2003

ÍNDICE GENERAL:

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. TEMAS DE INTERÉS EN EL ESTUDIO DE LA MENTE DESDE LA PERSPECTIVA CUÁNTICA.....	6
3. MECÁNICA CUÁNTICA: ANTECEDENTES, HISTORIA, POSTULADOS BÁSICOS.....	12
4. INTERPRETACIONES DE LA FÍSICA CUÁNTICA.....	24
4.1. INTERPRETACIÓN DE COPENHAGUE.....	28
4.2. INTERPRETACIÓN DETERMINISTA.....	32
4.3. INTERPRETACIÓN DE BOHM.....	36
4.4. MÚLTIPLES UNIVERSOS, INTERPRETACIÓN DE EVERETT.....	38
5. SÍNTESIS CONCEPTUAL.....	42
6. COMPUTACIÓN CUÁNTICA.....	47
7. FÍSICA CUÁNTICA Y LA REALIDAD FUNDAMENTAL.....	54
8. TEORÍAS DE LA MENTE DESDE EL ENFOQUE CUÁNTICO.....	61
8.1 DAVID BOHM.....	64
8.2 HENRY STAPP Y LA TEORÍA DE VON NEUMANN Y WIGNER.....	75
8.3 STUART HAMEROFF.....	81
9. ANÁLISIS Y SÍNTESIS DEL MATERIAL.....	89
10. CONCLUSIONES.....	99
BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA.....	101
BIBLIOGRAFÍA GENERAL.....	102

I. INTRODUCCION

Son pocos los estudios que han tratado de comprender el psiquismo humano a partir de la física cuántica dentro del campo de la psicología. Paradójicamente, los primeros en iniciar esta tarea fueron los mismos teóricos de la física cuántica, ya que se habían enfrentado con el problema que presenta la mente humana para la comprensión, la explicación y la predicción de los fenómenos cuánticos. Algunos de estos problemas son: la dificultad en comprender la dualidad de la naturaleza de las partículas microscópicas (cuyo comportamiento fue descrito por De Broglie como onda-partícula); la imposibilidad de calcular simultáneamente el momento y la posición de una partícula cuántica (fenómeno conocido como Principio de Incertidumbre), la superposición de estados de los elementos cuánticos, etc. Es decir, la naturaleza de los fenómenos cuánticos no encaja en la comprensión de los seres humanos, acostumbrados a pensar en términos de la física newtoniana (o la física clásica). Por ejemplo, las teorías de la física cuántica renuncian al concepto de trayectoria de un cuerpo, imprescindible en la física clásica, y al concepto de masa (los fotones no tienen masa). Estos y muchos más fenómenos "anómalos" para el sentido común resultaron ser objeto de muchísimas controversias y discusiones entre los científicos que continúan hasta el día de hoy. No se comprende del todo si el comportamiento de los fenómenos cuánticos se debe a la naturaleza intrínseca de estos fenómenos y simplemente funcionan así, o es la imperfección de la tecnología que mide estos fenómenos o la deficiente percepción humana para captar lo ocurrido a escala microscópica, o las

teorías acerca del mundo cuántico son erróneas. Como se desprende de lo expuesto hasta ahora, todas estas dudas superan el campo que compete a la ciencia física. Por eso los estudios dentro de la física cuántica despertaron un gran interés de los científicos de distintas ramas, incluyendo a los filósofos, biólogos, especialistas en neurociencias y la inteligencia artificial. Este interés tiene que ver con múltiples vertientes del psiquismo humano en su relación con el mundo: la percepción, la velocidad y la calidad del procesamiento de información, el procesamiento consciente e inconsciente de información, la capacidad y formato de la memoria, así como la posibilidad de considerar el problema mente - materia desde un ángulo diferente de las posturas teóricas conocidas hasta ahora (monismo, paralelismo, pansiquismo etc.). Es notable la casi total ausencia de psicólogos que se dediquen a la investigación sistemática de los procesos psíquicos desde el enfoque cuántico.

Existen varias razones para incorporar la mecánica cuántica dentro de la psicología para la explicación de la naturaleza de la mente humana:

1. Desde el advenimiento de la física cuántica los físicos enfrentaron dificultades para discernir el papel que juega la mente humana en relación con los fenómenos cuánticos y los psicólogos no estaban allí para asistirlos. Tal vez esto se deba a que en la primera mitad del siglo XX la psicología era muy joven como ciencia en comparación con la física, que para entonces ya tenía antecedentes milenarios. Cabe mencionar también la heterogeneidad de los enfoques psicológicos que predominaban en aquel

entonces y su incompatibilidad epistemológica y metodológica: el estructuralismo, el funcionalismo, el psicoanálisis y el conductismo.

2. Después de más de un siglo desde que la psicología fue proclamada como ciencia ninguna teoría o modelo teórico dio una contundente respuesta acerca de la verdadera naturaleza de la mente. Nadie puede afirmar que el intento de aplicar la física cuántica al estudio de lo psíquico resultará más exitoso, pero esta última está en pleno derecho de intentar hacerlo.

3. Los científicos que desarrollaron la física cuántica, al igual que los psicólogos, filósofos y especialistas en neurociencias, se interesaron por el estudio de la relación entre la mente y el cuerpo. A pesar de que el problema mente-materia existe desde hace milenios, la observación de los fenómenos cuánticos y la aparición de la física cuántica hicieron que muchos científicos, entre ellos físicos, especialistas en neurociencias, filósofos y psicólogos comenzaron a ver este problema desde una perspectiva nueva. Hoy en día ya es un hecho común para los científicos de distintas ramas utilizar los conceptos cuánticos para la explicación de relación entre la mente y la materia.¹

¹ Entre ellos pueden mencionarse el promotor de los estudios cuánticos de la mente, el médico anesthesiólogo Stuart Hameroff de la Universidad de Arizona; filósofos como David Chalmers de la misma universidad, Henry Stapp y los especialistas dentro de la IA Scott Hogan y Michael Conrad de la Universidad de California, el biólogo Jonjoe McFadden de la Universidad de Surrey (Inglaterra), el físico Giuseppe Vitiello de la Universidad de Salerno (Italia), el historiador de la ciencia Paavo Pyrkänen de la Universitet og Skövde (Suecia) y el neurobiólogo Matti Pitkänen de la Universitaat for Helsinki (Finlandia). Ellos trabajan sostenidos por generosos subsidios ofrecidos por instituciones reconocidas; sin embargo en todo el mundo existen investigadores aislados que estudian la mente a partir del enfoque de la física cuántica. En Argentina, quizás la única investigadora que se desempeña en este campo es la Dra. Mariela Szirko del Laboratorio de Estudios Electrobiológicos del Hospital "Dr. José Tiburcio Borda" de la ciudad de Buenos Aires.



4. Lo que impulsó a los científicos a estudiar sistemáticamente los procesos psíquicos desde la perspectiva cuántica fue la presentación del primer modelo teórico de la computadora cuántica por David Deutsch en la Royal Society of Science en Londres (1985).² A lo largo de la historia de la ciencia los estudiosos de la mente recurrieron a distintas analogías y metáforas para la explicación de la naturaleza de lo mental. Es probable que en el futuro se presenten modelos psicológicos de la mente que comparen el funcionamiento de las computadoras cuánticas con el funcionamiento de la mente. Ejemplo de esto es una serie de hipótesis propuestas por algunos científicos (Roger Penrose, Stuart Hameroff, y David Deutsch) acerca de la forma de procesamiento y almacenamiento de información en el cerebro humano: “sí” y “no”, o “0” y “1” (que funcionaría de acuerdo con el principio de la superposición de estados de la física cuántica), a diferencia del modelo conexionista del código binario “sí” o “no”, o “0” o “1”. Tanto los escépticos como los optimistas de la posible aparición de las computadoras cuánticas están convencidos de que la computadora cuántica será una realidad; la diferencia entre ambos grupos es en los plazos dentro de los cuales estas máquinas serán diseñadas: los primeros lo prevén para dentro de unos 50 a 100 años, mientras que los segundos lo prometen para los próximos 5 años.

5. Los físicos que se desempeñan dentro del campo de la mecánica cuántica, junto con el resto de los físicos, se encuentran trabajando en la

² Está expuesto en su libro *Quantum computational networks* (1989). En el capítulo VI se presentará el resumen de este modelo.

unificación de las teorías en lo que se llama la Teoría del Todo, para lograr una visión integral del mundo y el Universo en el que vivimos.

La física, a semejanza con la psicología, vive problemas de índole ontológica, epistemológica y metodológica, y el esfuerzo de los físicos para crear la Teoría del Todo es un buen ejemplo para la psicología como ciencia de una posibilidad de crear una unificación teórica con el fin de encontrar una explicación más eficiente (o mejor) del psiquismo.

Para resolver todos estos problemas los físicos hoy en día trabajan en la creación de la Teoría del Todo. Semejantes problemas, pero de otra índole, se experimentan en el campo de psicología. Es importante saber en que medida una experiencia psíquica parece ser un fenómeno biológico, químico o físico y a la inversa. Es decir, un pensamiento puede ser descrito en código semántico como una oración, como cambio en el metabolismo químico instantáneo o como una superposición y secuencia de descargas eléctricas dentro de la red neuronal del cerebro. Otro ejemplo sería la nosología de las enfermedades psicosomáticas: ¿en que medida el pensamiento influye sobre el cuerpo o el cuerpo influye sobre la vida psíquica? De lo dicho hasta ahora surge una necesidad de la creación de una teoría psicológica con mayor poder explicativo de las que ya existen para que pueda abarcar los distintos dominios de la vida humana semejante a la Teoría del Todo en la física.

II. TEMAS DE INTERÉS EN EL ESTUDIO DE LA MENTE DESDE LA PERSPECTIVA CUANTICA.

Los estudios de la mente desde la perspectiva cuántica en los últimos quince años se concentraron principalmente en los países de Norteamérica y Europa con un fuerte aval de instituciones científicas principalmente en los EE.UU., Reino Unido, Suecia, Finlandia y, en menor medida, en el resto de Europa (ver el capítulo I).

La existencia de un gran número de rasgos enigmáticos tanto en la mente de los seres humanos como en la mecánica cuántica llevaron a múltiples propuestas que tratan de relacionar el psiquismo humano con las leyes de la física cuántica. El advenimiento de las tecnologías informáticas (computación cuántica, criptografía cuántica, etc.) presenta un interés cada vez mayor en el estudio de la mente desde el enfoque cuántico. Este interés proviene de una tendencia histórica de los científicos de comparar el funcionamiento de la mente humana o, por lo menos una parte de esta, con distintos tipos de artefactos (el reloj, la máquina de Turing, la computadora clásica, etc.).

Los temas de interés en el estudio cuántico de la mente se dividen en diez puntos básicos que abarcan una temática amplia. Estos puntos son:

1. Fenómenos psíquicos que hasta ahora no han encontrado una explicación desde la visión clásica (experiencia subjetiva, "qualia", pasaje del estado preconciente al estado conciente, no computabilidad, voluntad libre, anomalías no locales, percepción subjetiva del tiempo etc.).

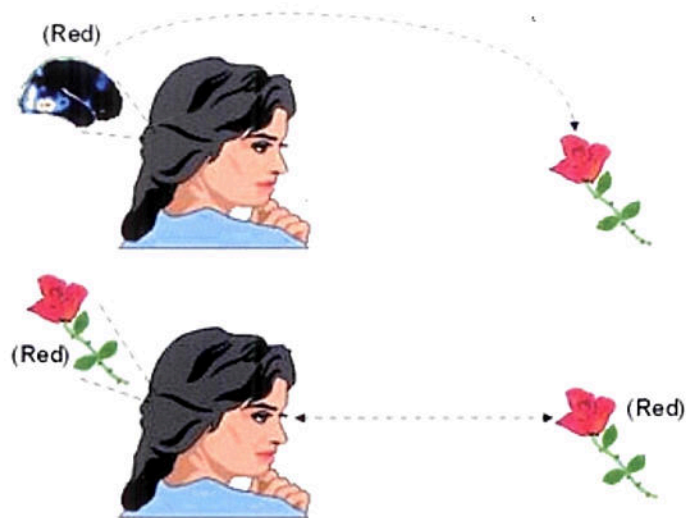


Fig.1 Los "qualia" como el color rojo de la rosa ¿son patrones de la actividad mental o rasgos fundamentales de la naturaleza?

2. Interpretaciones de la física cuántica y de la naturaleza vista desde las leyes cuánticas (problema de medición, interpretación de Copenhague, interpretación de Everett, interpretaciones de Bohm, teoría de von Neumann y Wigner, colapso de función de onda, gato de Schrödinger, teorema de Bell, percepción del observador, gravedad cuántica, teoría de campo, etc.).
3. Posibles ubicaciones macroscópicas y microscópicas cerebrales de los efectos cuánticos relevantes para la mente (lazos tálamo-corticales, redes dendríticas, proteínas membránicas, las sinapsis, flujos de iones, microtúbulos, hendiduras presinápticas vesiculares, agua, células de glia, hendiduras ínter neuronales, etc.).
4. Mecanismos cuánticos potenciales relevantes para el funcionamiento del cerebro (coherencia cuántica, superposición, fotones evanescentes,

efecto de túnel, condensados de Bose-Einstein, colapso incluyendo la reducción objetiva, decoherencia, etc.).

5. Bioenergética, aislamiento y plausibilidad biológica (ruido térmico/decoherencia, mecanismo de Fröhlich, agua ordenada, gel de actino, regulación conformacional proteínica, sacos hidrofóbicos, efectos anestésicos, etc.).
6. Enfoques filosóficos dedicados a la física fundamental (idealismo, monismo, dualismo, panexperencialismo).
7. Modelos biológicos específicos de la mente cuántica (Beck/Eccles, Bohm/Hiley, Jibu/Yasue, Marshall, Penrose/Hameroff, Stapp, Vitiello, Walker, Wolf, etc.).

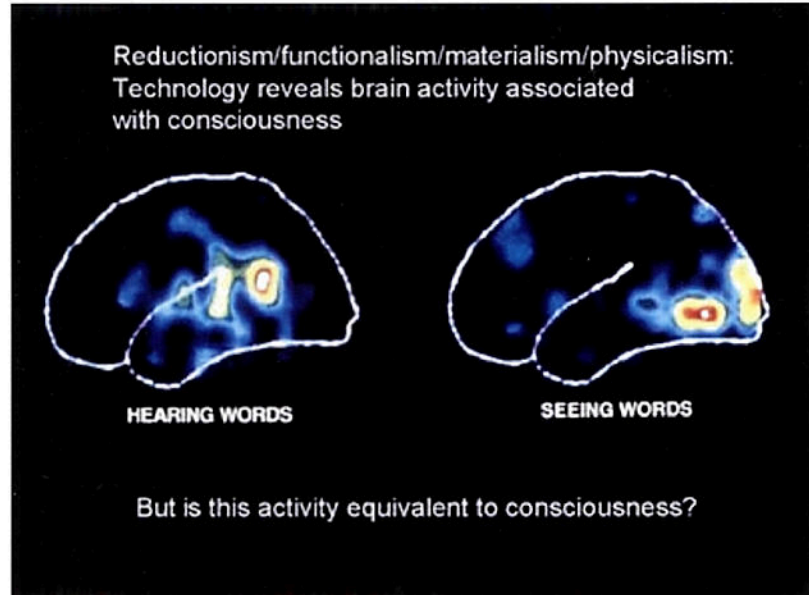
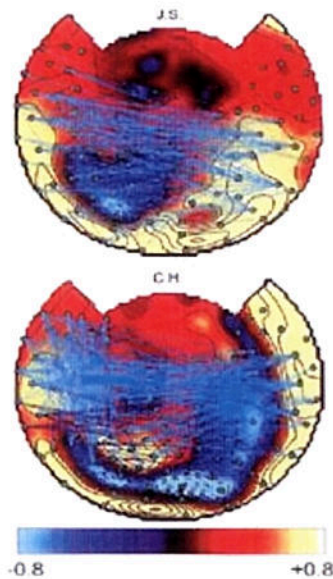


Fig.2. En la gráfica se muestra la actividad cerebral en las áreas del lenguaje y visual, pero esta actividad ¿puede ser sinónimo de lo mental?

8. Tecnologías informáticas cuánticas y la teoría de información (computación cuántica, criptografía cuántica, teleportación cuántica, computación líquida N.M.R. etc.)



Does consciousness occur at a critical level of complexity?

"Consciousness and Complexity",
Giulio Tononi &
Gerald M. Edelman.
Science 1998 December 4;
282:1846-1851.

Fig.3. La conciencia o lo mental ¿ocurren en algún momento crítico de la complejidad?

9. Intentos experimentales de registrar los procesos cuánticos que hipotéticamente tendrían lugar en el cerebro (no-localidad, anomalías temporales, correlatos cuánticos y coherencia en los sistemas biológicos, efectos anestésicos, colapso / reducción etc.).
10. Discusiones cuánticas relacionadas con el estado viviente (vitalismo cuántico, efectos cuánticos en la evolución, genética cuántica etc.).

Todas estas temáticas pertenecen a distintas disciplinas y tienen poca utilidad para la comprensión del problema mente-materia desde el enfoque cuántico si se estudian aisladamente. Sin embargo, cada estudio

desde su disciplina aporta datos que configuran un campo integral para una mejor comprensión de la mente humana. Son valiosos tanto los aportes de los científicos de las neurociencias, inteligencia artificial, como los de físicos, biólogos, filósofos, psicólogos, etc.

Temas relacionados con la fundamentación filosófica de los posibles efectos cuánticos en la mente humana expuestos en el punto 1 fueron ampliamente estudiados por David Chalmers y están discutidos en su obra *The Conscious Mind: In Search of a Fundamental Theory* (1996). También están consideradas por el físico inglés Sir Roger Penrose en sus obras *La mente nueva del emperador. En torno de la cibernética, la mente y las leyes de la física* (1996) y *Las sombras de la mente* (1994). En los mismos trabajos Penrose dedica un amplio espacio a los problemas dentro de la física cuántica contemplados en los puntos 2, 4 y 6.³ Temas relacionados con la computación cuántica (punto 8) están presentes en la obra de David Deutsch *Quantum Computational Networks* (1989).⁴

En su obra maestra *Ultimate Computing: Biomolecular Consciousness and Nanotechnology* editada en el 1987 y actualizada en el 2003, Stuart Hameroff minuciosamente describe los temas filosóficos, neurobiológicos, físicos y

³ En Argentina es destacada la obra del físico marplatense Alberto De la Torre *Física cuántica para filósofos*, (1992) quien describe los problemas de la física cuántica en un lenguaje comprensible para la gente inexperta dentro del campo de la mecánica cuántica. Por último, el ingeniero argentino Eduardo Yborra diseñó una página de internet donde (www.geocities.com/fisica_que). Su material será utilizado ampliamente en este trabajo.

⁴ Todo el material relacionado con la investigación dentro del campo de la computación cuántica está publicado en la página de internet www.qubit.org auspiciada por la Universidad de Oxford.

otros relacionados con la inteligencia artificial expuestos en los puntos 3, 5, 7, 9 y 10.⁵

Dada la vasta temática acerca del tema este trabajo se concentrará en la introducción de los términos de la física cuántica a nivel básico que conciernen principalmente a los puntos 1, 2, 6 y 8 con una descripción superficial de los restantes puntos.

Hay que tener en cuenta la ambigüedad de la terminología que se usa por distintos autores refiriéndose a los procesos mentales. A pesar de que en la filosofía de la mente y la psicología teórica se distingue claramente entre lo mental y la conciencia, en los países anglosajones se usa a menudo el término “conciencia” como sinónimo de lo mental: “...la vida “interior” - una serie de experiencias multimodales integradas...” (Hameroff, 1996).

En este trabajo los términos “mente”, “procesos mentales”, “procesos psíquicos”, “psique” se usan como sinónimos definiendo la conciencia como el estado de vigilia y de darse cuenta; el inconsciente- estado de sueño y procesamiento involuntario de información. La definición de la mente abarca estos dos últimos términos.

⁵ Toda la información integral referente a los estudios de la mente humana desde el enfoque cuántico está publicada en las páginas de internet www.consciousness.arizona.edu auspiciada por la Universidad de Arizona y la empresa the Intuition Network, así como la divulga el saber de la física cuántica sin recurrir al lenguaje matemático página www.nonlocal.com, un espacio científico interdisciplinario dedicado a la discusión de los problemas relacionados con la explicación de la naturaleza mental desde la perspectiva cuántica.

III. MECANICA CUANTICA: ANTECEDENTES, HISTORIA, POSTULADOS BASICOS.

A partir de los descubrimientos de Isaac Newton en el siglo XVII la física clásica resultó ser un conjunto de teorías que exitosamente explicaron los fenómenos del mundo físico y causaron una revolución científica comparable con la revolución que se produjo con el advenimiento de la física cuántica en el siglo XX. Hasta fines del siglo XIX se creía que el universo era determinista y se parecía a un enorme mecanismo donde reinan los principios de causa y efecto. Se consideraba que el mundo estaba compuesto por fenómenos medibles por valores fijos y absolutos de causa y efecto tales como los conocemos en nuestra vida cotidiana, p. Ej.: la velocidad del sonido es 300m/s , todo cuerpo cae con la velocidad de $9,8\text{m/s}^2$ etc. En el ambiente científico reinaba una fuerte convicción de que con el tiempo y un suficiente empeño científico todos los enigmas del universo serán resueltos y que la ciencia progresaba de un modo acumulativo del conocimiento.

Fueron dos hechos que influyeron en la desilusión de los físicos clásicos respecto de sus creencias: el experimento de Michelson-Morley (1878) y los experimentos de Rayleigh-Jeans con la radiación del cuerpo negro.

El experimento de Michelson-Morley refutó la hipótesis ampliamente aceptada acerca de la variabilidad de la velocidad de luz en distintos medios físicos. Esta paradoja fue resuelta por Einstein (1905) quien formuló las leyes de la relatividad especial para adecuar la física de los

macrofenómenos a las descripciones clásicas. Einstein comprobó varios hechos principales:

- No existe objeto cuya velocidad pueda superar la velocidad de la luz. Dicha velocidad es constante en todos los medios físicos.
- El tiempo y el espacio dejan de ser invariantes al cambiar de sistemas de referencia, pasando ser dependiente de las velocidades relativas de los sistemas de referencia de los observadores: dos eventos que ocurren simultáneamente en diferentes lugares para un sistema de referencia, pueden ocurrir en tiempos diferentes en otro sistema de referencia.
- Los intervalos temporales entre sucesos dependen del sistema de referencia en que se miden. Las distancias entre sucesos también.

La radiación del cuerpo negro presentó a los físicos un enigma acerca del intercambio energético de las ondas electromagnéticas: hasta entonces se creía que las ondas electromagnéticas tenían la naturaleza ondulatoria semejante a las ondas de un estanque de agua hasta que Max Planck (1900) realizó una serie de cálculos que determinaron que las partículas microscópicas intercambian la energía a través de ciertas porciones mínimas y discretas de ella, expresadas en cuantos de energía- de allí proviene el nombre de la física cuántica. Poco más tarde De Broglie propuso la doble naturaleza de partículas subatómicas de onda - partícula, es decir, la luz se comporta a veces como onda, a veces como partícula. Esta afirmación absurda para el sentido común resultó ser veraz, y debido a los esfuerzos de un grupo de físicos talentosos que vivieron en la misma época

(Bohr, Heisenberg , Schrödinger, Dirac, etc.) se formularon las leyes básicas de la teoría cuántica estándar (Conferencia de Solvey, 1927).

La mecánica cuántica es la parte de la física que estudia el movimiento de las partículas muy pequeñas. El concepto de partícula “muy pequeña” hace referencia al tamaño en el cual comienzan a notarse efectos como la imposibilidad de conocer con exactitud infinita y a la vez la posición y la velocidad de una partícula (Principio de Incertidumbre o Indeterminación de Heisenberg), la doble naturaleza de las ondas electromagnéticas que cobran propiedades de onda y partícula en momentos indeterminados (función partícula - onda- Principio de Complementariedad) entre otros. A tales efectos suele denominárseles “efectos cuánticos”. Así, la Mecánica Cuántica es la que rige el movimiento de sistemas en los cuales los efectos cuánticos sean relevantes. Se ha documentado que tales efectos son importantes en materiales mesoscópicos (unos 1000 átomos).

Algunas consecuencias importantes de esta teoría son las siguientes:

- La energía no se intercambia de la forma continua, sino que en todo intercambio energético hay una cantidad mínima y discreta involucrada.
- Al ser imposible fijar a la vez la posición y la velocidad de una partícula se renuncia al concepto de trayectoria, vital en la Mecánica Clásica. En vez de eso, el movimiento de una partícula queda regido por una función matemática que asigna a cada punto del espacio y a cada instante la probabilidad de que la partícula descrita se halle en tal posición en ese momento (al menos, en la interpretación de la Mecánica Cuántica más usual,- la probabilística o “de Copenhague”). A partir de esa función o

función de onda se extraen teóricamente todas las magnitudes del movimiento necesarias.

Aunque la estructura formal de la teoría está bien desarrollada, no sucede lo mismo con su interpretación, que sigue siendo objeto de controversias. El hecho de que la energía se intercambia de forma discreta se puso de relieve por hechos experimentales como los siguientes:

- El espectro de la radiación del cuerpo negro, resuelto por Max Planck con la cuantización de la energía.
- La explicación del efecto fotoeléctrico dada por Albert Einstein, en la que volvió a aparecer la necesidad de cuantizar la energía.
- El efecto de Compton.

Entre 1925 y 1926 se publicaron tres trabajos independientes que resultaron ser desarrollos equivalentes de una teoría cuántica completa:

- La mecánica matricial de Werner Heisenberg.
- La mecánica ondulatoria de Erwin Schroedinger.
- El Álgebra cuántica de Paul Dirac.

Heisenberg, un físico de 20 años, expresó que su carrera comenzó en un encuentro con Bohr, donde éste le dijo que los átomos no eran cosas. Entonces Heisenberg se preguntaba: ¿de qué sirve hablar de trayectorias invisibles para electrones que se desplazan dentro de átomos también invisibles? Así, intentó diseñar una suerte de código que relacionara los números cuánticos de Bohr y los estados de energía de un átomo con las frecuencias y los brillos de los espectros de luz que se determinaban experimentalmente. Al igual que Planck, Heisenberg consideró el átomo

como un oscilador (un resorte) virtual capaz de producir a través de las oscilaciones todas las frecuencias del espectro, y desechó así la imagen de un átomo como un pequeño sistema solar. A partir de un desarrollo de álgebra matricial bastante complejo, Heisenberg desarrolló una teoría cuántica completa, incorporando también su famoso Principio de Incertidumbre. Como ya se ha mencionado, este principio establece que para pares de valores determinados conjugados, tales como el momento y la posición, las entidades cuánticas (electrón, fotón, átomos) no pueden tener valores determinados precisos de dichas variables conjugadas simultáneamente. Es decir, cuando se detecta con precisión la ubicación de un electrón, en ese instante este electrón no tiene una velocidad determinada. Esto no es un resultado de deficiencias o errores en las mediciones, sino una característica intrínseca, una imposibilidad propia de las denominadas identidades cuánticas (según la interpretación de Copenhague). De su desarrollo matricial Heisenberg determinó un valor numérico para su Principio de Incertidumbre, diciendo que la incertidumbre de una variable conjugada, por ejemplo la posición, multiplicada por la incertidumbre en la otra variable conjugada- el momento, será siempre mayor que una constante. Físicamente esto se puede entender como que a medida que se reduce la incertidumbre en la determinación de la posición, el momento de la entidad cuántica será mas incierto de manera tal que la desigualdad que expresa el Principio de incertidumbre se mantenga.

Paralelamente a los desarrollos de Heisenberg, otro físico, Erwin Schroedinger, prefería basar sus investigaciones a partir de las conclusiones



de De Broglie, sobre todo porque la teoría de Heisenberg le resultaba extremadamente compleja, carente de figuras y muchas complicaciones matemáticas. Así y todo su concepción - tampoco sencilla - fue una ecuación diferencial (cuya solución es una función y no un valor numérico), denominada la ecuación de Schroedinger. La solución de esta ecuación resulta ser una onda que describe los aspectos cuánticos del sistema. La interpretación física de esta onda fue uno de los grandes problemas de la mecánica cuántica. Fue Max Born quien finalmente le dio a la función de onda el concepto de probabilidad, estableciendo que la intensidad de la función de onda mide la probabilidad de encontrar a la entidad cuántica descrita por la onda en una posición determinada del espacio, la onda y determina la factibilidad de que el electrón esté en una posición determinada, a diferencia del campo electromagnético y no se corresponde con una realidad física. Este concepto es realmente complejo, dado que establece que una entidad cuántica tal como un electrón existe en una superposición de estados cuánticos, cada uno de ellos con una probabilidad de ocurrencia determinada a través de la función de onda correspondiente. Esta idea de superposición es la que Schroedinger no aceptara por parecerle absurda y que tratara de rebatirla con su famoso experimento de pensamiento (*thought experiment*) conocido como "el gato de Schroedinger".

En 1925 Heisenberg dio una conferencia en Cambridge donde mencionó sus trabajos acerca de la teoría cuántica. Una copia de sus borradores acerca de la mecánica matricial llegó a manos del joven Paul Dirac. Este, a partir de ellos, desarrolló su propia versión de la teoría

cuántica, que resultó ser más amplia que las versiones de Heisenberg y Schroedinger; en realidad estas resultaban casos particulares incorporados en el desarrollo de Dirac, conocido como Teoría del Operador o Álgebra Cuántica. Los tres desarrollos considerados como una teoría cuántica completa producían los mismos resultados, por caminos diferentes. Más adelante, Dirac logra incorporar a los conceptos de la teoría cuántica los requerimientos de la Teoría Especial de la Relatividad para así llegar a dar una descripción completa del electrón. En estos trabajos, la solución matemática de sus ecuaciones llevaba a la conclusión de la necesidad de la existencia de una nueva partícula, de iguales características que el electrón, pero con carga positiva. Fue así como Dirac predijo así la existencia de la antimateria a pesar de que no tenía claro su significado físico. Finalmente, en 1932 Carl Anderson descubre el positrón o anti-electrón confirmando los resultados teóricos de Dirac.

Paul Dirac también trabajó en las reglas estadísticas que describen los comportamientos de grandes números de partículas cuyos valores de spin son valores medios de números enteros (el electrón tiene $s=1/2$). Investigaciones similares fueron llevadas a cabo en forma independiente por el físico Enrico Fermi, de allí que estas reglas estadísticas que explican el comportamiento de cierto tipo de partículas se denomina estadísticas de Fermi-Dirac, y a las partículas se las denomina genéricamente fermiones.

Estos desarrollos teóricos de Heisenberg, Schrodinger y Dirac, si bien proporcionaron una perfecta descripción matemática de los fenómenos atómicos, no iluminaban el cuadro físico. ¿Cuál era el significado de las

ondas y las matrices? ¿Cómo están relacionadas con nuestras nociones de sentido común acerca de la materia y el mundo en el cual vivimos? Heisenberg nos proporciona ciertas respuestas. En un trabajo publicado en 1927, comienza su argumentación haciendo referencia a la teoría de la relatividad de Einstein, la cual cuando fue publicada, era considerada como contradictoria para el sentido común por muchos físicos. Luego, en un dialogo imaginario con Kant, Heisenberg continúa diciendo: ¿qué es el sentido común? Sentido común para Kant es la manera en que las cosas tienen que ser. Pero entonces ¿qué significa esta manera de ser de las cosas?, sencillamente, como siempre fueron.

Einstein fue probablemente el primero en darse cuenta de la importancia de saber que las nociones básicas y las leyes de la naturaleza, a pesar de estar bien establecidas, eran válidas sólo dentro de los límites de la observación, y que no necesariamente seguirían siendo validas fuera de estos límites. Para las personas de la antigüedad, la tierra era plana, pero no para Magallanes o para los astronautas. Las nociones físicas básicas de espacio, tiempo y movimiento, estaban bien establecidas y sujetas al sentido común hasta que la ciencia avanzó mas allá de los confines en los que trabajaron los científicos del pasado.

Entonces surgió una contradicción drástica que forzó a Einstein a abandonar las ideas del "viejo sentido común" respecto al tiempo, la medida de las distancias y la mecánica, y dirigirse hacia la creación de la teoría de la relatividad fuera del "sentido común". Resultó entonces que para muy altas

velocidades, distancias muy grandes y largos periodos de tiempo, las cosas no eran lo que “deberían ser” porque “siempre habían sido así”.

Heisenberg sostiene que la misma situación es la que existe en el campo de la teoría cuántica. Procedió a averiguar que era lo que fallaba con la mecánica clásica de las partículas materiales cuando la introducimos en el campo de los fenómenos atómicos. Así como Einstein comenzó el análisis crítico del fracaso de la física clásica en el campo relativista, Heisenberg hizo lo propio con la mecánica clásica atacando la noción básica de la trayectoria de un cuerpo en movimiento.

Durante tiempos inmemoriales, la trayectoria había sido definida como el camino a lo largo del cual un cuerpo se mueve a través del espacio. En el caso límite, el cuerpo era un punto matemático sin dimensión. De acuerdo con la definición euclidiana, el camino o trayectoria era una línea matemática, también sin dimensión. Nadie dudaba que esta era la mejor descripción de movimiento y que mediante la reducción de los errores experimentales de medición de las coordenadas y la velocidad de la partícula que se mueve, podríamos llegar a una descripción exacta del movimiento. Heisenberg dijo que esto sólo es cierto en un mundo donde gobiernan las leyes de la física clásica, pero no en un mundo cuántico. Es por esta razón que en el mundo cuántico es necesario desarrollar otro método para describir el movimiento de las partículas diferente a la trayectoria que utilizamos en la física clásica. Aquí es donde la función de onda viene en nuestra ayuda. Esta función de onda no representa una realidad física y no es más material que las trayectorias lineales de la

mecánica clásica. La función de onda puede ser descripta como una línea matemática ampliada. Ella guía el movimiento de las partículas en mecánica cuántica, en el mismo sentido que las trayectorias lineales guían el movimiento de las partículas en la mecánica clásica. Así como no consideramos que las órbitas de los planetas son como rieles que obligan a los mismos a seguir trayectorias elípticas, no debemos considerar a las funciones de ondas como un campo de fuerza que influencia el movimiento de los electrones. La función de onda de Broglie-Schroedinger o mejor dicho el cuadrado de su valor absoluto $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{2}2$, solo determina la probabilidad de que la partícula sea encontrada en uno u otro lugar del espacio y que se moverá con una u otra velocidad.

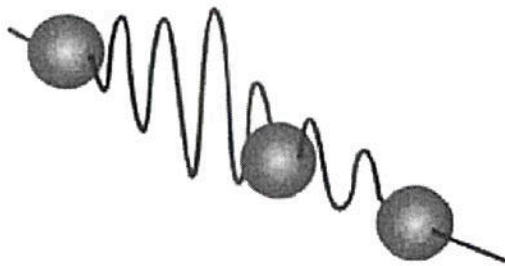


Fig.4. La función onda partícula: el estado de la partícula es cuando es medida por un observador, el estado de onda se refiere a su probabilidad de localización

Cuando se habla sobre entender o describir los fenómenos, no nos referimos a una descripción en términos generales en una forma cualitativa.

Por el contrario, la Física Cuántica permite realizar cálculos con una precisión asombrosa. El triunfo más grande de la física cuántica teórica es la teoría que describe la interacción entre la luz (cualquier radiación electromagnética) y la materia (materia representada por electrones que son uno de los componentes básicos de la misma). Esta teoría se llama Electrodinámica Cuántica (QED) y fue desarrollada por numerosos físicos, entre los que se destaca Richard Feynman. La misma explica cualquier tipo de interacción que pueda ocurrir entre ondas electromagnéticas y electrones de la materia con una precisión de cuatro partes en 100.000 millones. Es la teoría científica más precisa jamás desarrollada, juzgándola de acuerdo con el criterio de cuan certeramente la teoría permite predecir los resultados experimentales. Para darse una idea, es tan precisa como si se calculara la distancia entre Mar del Plata y Ushuaia con un error máximo igual al diámetro de un cabello.

Utilizando el mismo esquema de razonamiento de esta teoría se construyó otra teoría similar, intentando explicar lo que ocurre dentro de los protones y neutrones, partículas que son componentes fundamentales en el núcleo de cualquier átomo. Esta nueva teoría fue denominada Cromodinámica Cuántica (QCD).

Actualmente, la mayoría de los físicos no usan la teoría cuántica estándar en su trabajo, ya que esta, en su forma inicial, no permite hacer predicciones prácticas aplicadas en nuestro mundo clásico y no existe un consenso general acerca de la interpretación de la realidad cuántica. Por eso, para achicar la distancia que separa la teoría del experimento, los

científicos formularon las Teorías Cuánticas de Campos, la QED y la QCD entre ellas, las que se diferencian con la teoría estándar en varios aspectos.

Las teorías de campo en general (existen tanto teorías clásicas de campo, como teorías cuánticas de campo) representan el número de grados de libertad elevados al infinito. Los objetos de las descripciones ordinarias cuánticas o clásicas se relacionan con un número finito de grados de libertad, digamos, sus posiciones y momentos. En la Mecánica Cuántica estos valores no pueden ser definidos con precisión debido a su infinidad descrita por el Principio de Incertidumbre, sin embargo ellos constituyen un número definido de grados de libertad, pero a medida en que se trate de describir el sistema del campo este número se hace infinito. Este número infinito de grados de libertad corresponde al hecho de que "el campo" debe ser tomado como un valor posible en cada punto del espacio. Pasando de la Mecánica Cuántica a la Teoría Cuántica de Campo, las coordenadas del momento y la posición cobran valores definidos. En la Mecánica Cuántica estas coordenadas actúan como localizadores de un objeto (sea la posición o el momento) y son indefinidos. En la teoría del campo ellos actúan sólo como coordenadas y pueden ser definidos con precisión.

Otra distinción entre la MC y la TC es que en la MC existe solamente un solo vacuum, una conclusión extraída del teorema de equivalencias. En contraste, la TC puede tomar cualquier número de vacuum. La relevancia de esto es que la TC puede describir varios tipos de interacción dinámica dependiendo de las condiciones físicas en las que se encuentra el objeto.

Utilizando una mayor cantidad de perfeccionamientos, además de los descritos arriba, las teorías de campo como la QED y la QCD mejoraron notablemente sus poder predictivo, lo que sería imposible si la Mecánica Cuántica fuese el único medio accesible. Sin embargo, la TC no puede aportar mucho en la interpretación de la teoría cuántica: mientras su formulación permitió muchas predicciones precisas, su evolución no pudo elucidar significativamente los problemas fundamentales de interpretación de la Mecánica Cuántica. Sin embargo, es una herramienta práctica que incluso se utiliza en algunas teorías cuánticas de la mente y será mencionada varias veces en este trabajo.

Hasta ahora, fueron presentados tres términos claves de la Mecánica Cuántica que son: función partícula-onda, el Principio de incertidumbre y la superposición de estados. Estos términos se usan ampliamente en las teorías cuánticas de la mente y, más adelante, ellos serán desarrollados con mas detalle a la luz de la búsqueda de la explicación de la mente desde la teoría cuántica. También a ellos se les sumarán otros términos de gran importancia en la explicación de la mente desde la perspectiva de la teoría cuántica.

IV. INTERPRETACIONES DE LA FÍSICA CUÁNTICA.

Es asombroso el hecho de que los científicos hayan logrado formular una teoría tan precisa y la utilizan para la descripción y la predicción de los fenómenos sin poder explicar porque estos fenómenos funcionan de tal manera. A pesar de que la Mecánica Cuántica revolucionó la tecnología

moderna existe una gran variedad de posturas y teorías acerca de la realidad (ontología) la que subyace a los fenómenos cuánticos- son las interpretaciones que intentan dar una explicación eficiente para las leyes del mundo cuántico. Los problemas más serios que tratan estas interpretaciones son:

- a) La influencia posible del observador sobre los fenómenos cuánticos- interacción del observador y los fenómenos cuánticos los que se influyen recíprocamente.
- b) No hay influencia del observador sobre estos fenómenos, sino que los fenómenos cuánticos son propios de la naturaleza intrínseca. El hecho de que el hombre, debido a su constitución específica, no es capaz de comprenderlos es la insuficiencia de capacidades de este para captar el verdadero orden de las cosas.
- c) Existe una serie de variables ocultas (*hidden variables*) que el hombre desconoce para poder explicar la esencia de la naturaleza cuántica. Entonces se debe emprender una nueva y perseverante búsqueda para detectar estas variables.
- d) La naturaleza tiene múltiples realidades las que coexisten paralelamente entre sí y no existe una interacción entre estas realidades.

Cada uno de estos puntos tiene un grupo de partidarios dentro de la comunidad científica los que actualmente debaten estos temas. En su turno, también existen subgrupos dentro de cada uno de estos grupos que divergen entre sí en los acuerdos acerca de los temas más específicos. Cada interpretación es teóricamente fundamentada de acuerdo con los

cánones científicos y es descrita por formalismos matemáticos los que avalan dichas interpretaciones. Cada interpretación es una teoría que posee la consistencia interna.⁶

En este trabajo se describirán las principales interpretaciones que tratan la ontología cuántica. Estas son:

1. La interpretación determinista con el representante principal como Albert Einstein.
2. La interpretación probabilista o "de Copenhague" con Niels Bohr como la principal figura.
3. La interpretación de David Bohm quien propuso una serie de propuestas interesantes con el intento de reconciliar las dos posturas anteriores. Según Bohm, el determinismo y el probabilismo no son excluyentes, sino-complementarios.
4. La interpretación de Everett de "los universos múltiples". Actualmente, son pocos los físicos los que consideran seriamente a esta teoría. En el mundo anglosajón se la bautizaron de "exótica".⁷

La divergencia entre las interpretaciones de la Física Cuántica concierne a cuatro puntos fundamentales que son:

- a) El problema de la medición de los fenómenos cuánticos.
- b) La no localidad versus la localidad de los mismos fenómenos.

⁶ No obstante, como expresó Alberto De la Torre, la consistencia de una teoría no garantiza que esta teoría corresponda a la verdad (comunicación personal).

⁷ De la Torre la bautizó como "poética" (comunicación personal).

c) La interpretación de la función onda- partícula, ya que hasta ahora no existe una explicación esclarecedora acerca de este comportamiento de entidades cuánticas.

d) La naturaleza de los fenómenos cuánticos en sí.

El grupo mayoritario de los físicos se adhiere a la interpretación probabilística desarrollada por Niels Bohr y otros, que también lleva el nombre de "interpretación de Copenhague". Esta interpretación no tiene más soporte empírico que las otras. Lo que pasa es que esta interpretación, de corte netamente positivista, se limita a hacer afirmaciones sobre los hechos observados y no presupone la existencia objetiva de los sistemas físicos. De esta manera la interpretación de Copenhague es una interpretación que concierne a la observación de la naturaleza y no a la naturaleza misma. Se puede decir que la interpretación de Copenhague es una "anti-interpretación" porque se niega a relacionar la realidad objetiva con la teoría cuántica. El hecho de que esta "interpretación" sea la que tiene más adherentes se debe a dos causas: primero, según argumenta J. T. Cushing, es una contingencia histórica. Simplemente fue la primera en llegar. Segundo, es consecuencia del analfabetismo filosófico de la mayoría de los físicos que desconocen el parentesco de la interpretación con el positivismo e idealismo; más aún, desconocen lo que es el positivismo (es probable que si lo conociesen no lo aceptarían). Esto es, dicen adherir a la interpretación de Copenhague, pero no saben a qué están adhiriendo. La mayoría de los físicos quedan satisfechos con una postura instrumentalista en que los resultados de los experimentos son correctamente predichos por la teoría.

IV. I. INTERPRETACIÓN DE COPENHAGUE.

Desde sus inicios y hasta el presente la teoría cuántica presenta problemas serios de interpretación, y la resolución de este problema abriría un enorme campo para la comprensión de la naturaleza. Mientras tanto, la explicación de los fenómenos cuánticos es tratada por diferentes grupos teóricos que estudian este problema desde distintos enfoques.

Una de las dificultades que aparecen en la Mecánica Cuántica es el problema de la medición, ya que el proceso y el resultado de ésta es distinto que la medición en los sistemas clásicos. En los sistemas clásicos el observador, a través de los instrumentos, extrae la información sobre el objeto de estudio y el esquema básico de esta medición es el sujeto- objeto= información sobre el objeto. En los sistemas cuánticos se tiene en cuenta que todo el camino entre el sujeto y el objeto de estudio es mediado por los aparatos de medición incluyendo los órganos de sentido del observador. En este caso, el sistema de medición se toma como un todo, o sea, el observador y los artefactos de medición están incorporados en el sistema global junto con el objeto de estudio. Se dice que, literalmente, el sujeto del experimento influye sobre el objeto del experimento hasta tal punto que sin conocer las condiciones iniciales de este objeto cuántico (un electrón, un fotón, etc), este objeto cuántico al momento de la medición se escinde (split) o se reduce a un estado final definido. La esencia de este fenómeno es que no es posible predecir el resultado de la medición, sino a través de cálculo de probabilidades, es decir, que aparentemente no existe una causa

determinada que produzca un efecto inmediato como suele ser en los sistemas clásicos, sino que existe una infinidad de probabilidades de que surja tal o cual efecto en la partícula medida. La probabilidad de los sistemas cuánticos individuales es infinita y solo se puede hablar de cierto grado de precisión en la predicción a medida que se complejice o aumente la cantidad de las partículas involucradas.

En la física clásica medir significa revelar o poner de manifiesto propiedades que estaban en el sistema desde antes de que midamos. En mecánica cuántica el proceso de medición altera en forma incontrolada la evolución del sistema. Constituye un error pensar dentro del marco de la física cuántica que medir es revelar propiedades que estaban en el sistema con anterioridad. La información que nos provee la función de onda es la distribución de probabilidades con la cual se podrá medir tal valor de tal cantidad. Cuando medimos ponemos en marcha un proceso en el cual no está ajeno el azar, ya que habrá distintas probabilidades de medir distintos resultados.

Esta interpretación fue fundamentada por Bohr al realizarse el experimento de la doble rendija (*double-slot experiment*) la descripción resumida del cual es la siguiente.

Entre un espacio muy estrecho (dos rendijas puestas una atrás de otra) diseñado de tal manera que deje pasar solo partículas de un determinado tamaño mínimo (fotón) se hace pasar un paquete de luz que al pasar por la rendija se refleja en una pantalla del extremo opuesto al de donde salió la partícula como una serie de franjas claras y oscuras. Esto

puede ser explicado como áreas en las cuales las ondas de luz se refuerzan o se cancelan. No obstante, se hizo claro que la luz posee unas propiedades de partículas y las entidades como los electrones alternativamente poseen unas propiedades de ondas y mutuamente producen efectos de interferencia. Ahora, suponiendo que se realice el experimento reduciendo el paquete de fotones a un solo fotón (o electrón) que pase por ambas rendijas simultáneamente, al observar el experimento se podrá ver que el fotón o el electrón impacta de una sola vez. Sin embargo, cuando se observe una serie de impactos sucesivos de un paquete de fotones se verán ciertos patrones que parecen ser el resultado de interferencia de ondas, aunque las partículas habían sido lanzadas una por turno (–una tras la otra). Las explicaciones que siguen esta observación conducen a pensar que las leyes de la Física Cuántica dicen estadísticamente en que lugar de la pantalla las partículas impactaran, e identificarán las franjas claras donde muchas partículas tienen la probabilidad de impactar y las franjas oscuras donde solo pocas partículas impactaran. No obstante, las leyes de la Mecánica Cuántica no pueden predecir donde una sola partícula será observada exactamente.

¿Cuáles son las reglas para determinar donde una partícula determinada podrá ser observada? ¿Qué sucede a una partícula durante el lapso entre ser emitida y ser observada? La partícula aparenta interactuar con ambas rendijas lo que es inconsistente con el comportamiento de una partícula clásica (un punto visible); es invisible, pero cuando esta partícula es observada se ve como un objeto clásico (un punto visible). ¿Qué

determina que la partícula cambie entre el comportamiento estadístico y el no estadístico? Cuando una partícula se mueve entre las rendijas su comportamiento es descrito por una función de onda no local (el concepto de la no localidad versus la localidad será desarrollado mas adelante) la que viaja por ambas rendijas simultáneamente. Sin embargo, cuando la partícula es observada jamás aparece como un paquete de ondas no local y difuso, sino es observada como un punto localizable.

La interpretación de Copenhague explica estas paradojas con los siguientes argumentos.

Las afirmaciones probabilísticas efectuadas por la Mecánica Cuántica son irreducibles en el sentido de que ellas no reflejan nuestra limitación del conocimiento acerca de unas variables ocultas que subyacen a los fenómenos cuánticos. En la Física Clásica las probabilidades eran utilizadas como un azar a la manera del juego de dados, pero el proceso siempre fue pensado como determinista la probabilidad era como un sustituto de la falta de conocimiento acerca de un fenómeno-. En contraste, la interpretación de Copenhague sostiene que en la Mecánica Cuántica los resultados de la medición son puramente indeterminados como la esencia propia e intrínseca de la observación de la naturaleza cuántica, la física es la ciencia de los resultados de la medición. El mismo Bohr para sostener esta tesis dijo que a lo que se dedica la ciencia no es conocer la realidad, sino hablar acerca de esta realidad. Sin embargo, mas allá de la especulación lo último no puede ser verificado.

La interpretación de Copenhague considera que cuestiones tales como "¿dónde estaba la partícula antes de que midiera su posición?" no tienen sentido alguno. El acto de medición provoca el colapso de la función de onda espontáneo. Esto significa que el proceso de medición elige azarosamente una de infinitas probabilidades de la partícula de revelar su estado.

El oponente mas feroz a esta postura, Albert Einstein, expresó al respecto que "Dios no juega a los dados con el universo", a lo cual Niels Bohr contestó "Einstein no debe decir lo que Dios tiene que hacer". Estos argumentos contrarios poseen una lógica, al igual que la de Stephen Hawking (1975) diciendo que Dios no solo juega a los dados, sino que los tira en lugares donde menos se ven (haciendo alusión a la no localidad defendida por la interpretación probabilista).

IV.II. INTERPRETACIÓN DETERMINISTA.

Einstein nunca aceptó la interpretación de Copenhague y hasta su muerte trabajó para descartar las teorizaciones probabilistas. La síntesis de su postura la expresó con las siguientes palabras:

La mecánica cuántica es algo muy serio. Pero una voz interior me dice que, de todos modos, no es ése el camino. La teoría dice mucho, pero en realidad no nos acerca demasiado al secreto del Viejo. En todo caso estoy convencido de que El no juega a los dados. (respuesta a las cartas de Max Born en 1926, París, 1982, p. 443)

Los argumentos principales ofrecidos por Einstein para probar la falsedad de la interpretación probabilista fueron que: o es falsa la lógica clásica la que usamos para obtener el conocimiento científico, o es falso el formalismo

cuántico, o la teoría cuántica es incompleta, o los sistemas físicos no son siempre separables. Einstein trató con escepticismo la afirmación de Bohr de que el comportamiento extraño de los fenómenos cuánticos es debido a la naturaleza intrínseca del mundo cuántico. Suponía que debían existir ciertas variables ocultas que no son accesibles a la observación humana y para fundamentar su tesis ideó con sus colaboradores un experimento de pensamiento que actualmente es conocido como “la paradoja de ERP” (Einstein, Rosen, Podolsky). Este experimento fue utilizado para explicar la imposibilidad de las acciones a distancia y también que el concepto de realidad local era correcto dentro del mundo cuántico. En 1980 un grupo científico encabezado por Alan Aspect logró realizar este experimento en la práctica y se arribó a la conclusión la que indica que, contra el sentido común, a nivel cuántico la realidad es no local, esto es, que existen conexiones misteriosas entre las partículas, o bien que entre ellas intercambian información a velocidades superiores a la de la luz, lo que viola las leyes de la Relatividad Especial.

En el experimento de Aspect se mide una propiedad que cuentan los fotones de la luz denominada polarización. Para explicarlo esquemáticamente, es que la polarización de cada fotón se la presenta como una pequeña flecha que, saliendo el fotón, apunta en una dirección determinada: arriba (\uparrow), abajo (\downarrow) o en diagonal (\diagup). La polarización de dos fotones emitidos desde el mismo átomo está correlacionada en sentido cuántico de manera tal que si, por ejemplo, en uno apunta hacia arriba, en el otro apuntara para abajo, pero no hay nada que permita decir que fotón

tendrá polarización en uno u otro sentido. Cuando dos fotones son emitidos desde un átomo, existen en estados superpuestos hasta que alguien mida la polarización de uno de ellos. En este momento la función de onda del fotón medido colapsa en uno de los estados de polarización posible, supongamos, en este caso, hacia arriba. En dicho momento la función de onda del otro fotón también colapsa en el otro estado de polarización para abajo. Nadie ha mirado a este segundo fotón y, en realidad, en el momento que se realiza la medición sobre el primero podría ser que ambos fotones estén en los extremos opuestos del universo, así cuando la función de onda de uno colapsa, la del otro hace lo mismo en el mismo momento. Es como si las dos entidades cuánticas permanecieran en una conexión misteriosa para siempre. Esto es lo que se llama la acción a distancia o la no localidad y contra la cual Einstein se oponía.

Después de Aspect trabajos semejantes, tanto teóricos como experimentales, se realizaron una y otra vez por científicos de distintos países (Kochen y Specker; Greenberg, Horne y Zeilinger (GHZ); Mermin, etc) y el último conocido hasta el momento de la redacción de este trabajo fue realizado por el equipo del Instituto Nuclear en Suiza (CERN) en agosto de 2003. Todos ellos confirmaron los resultados del experimento de Aspect poniendo en duda la validez de los argumentos de Einstein. También se comprobó la violación de las desigualdades de Bell que se mencionan abajo. El argumento de EPR y el de Bell tienen los mismos ingredientes, pero el primero no es contrastable empíricamente y el segundo sí.

Otro argumento para demostrar que la Mecánica Cuántica es incompatible con las variables ocultas ligadas a la realidad cuántica local fue un teorema desarrollado por John Bell. Para demostrar esto Bell parte del mismo experimento de pensamiento de EPR con la modificación de que la polarización tanto del electrón como del positrón (la partícula antimateria del electrón) puede ser medida en cualquier dirección específica. En este caso, el teorema de Bell sería una constatación acerca del valor promedio que se obtiene cuando ambas mediciones, tanto del electrón, como el positrón, están multiplicadas. En casos particulares esta constatación contrastada con el supuesto de que las variables ocultas de EPR son reales y locales al mismo tiempo demuestra que este supuesto está en contradicción con las predicciones de la Mecánica Cuántica. La cosmovisión de Einstein está basada en el realismo local y la violación de las desigualdades de Bell sugieren que debemos abandonar la localidad si queremos permanecer realistas. En la interpretación de Copenhague se desecha al realismo (para ser más preciso, se lo considera "sin sentido") y por lo tanto la cuestión de la localidad se hace irrelevante. Entonces, o bien la Mecánica Cuántica es incorrecta, o no hay razón para hablar sobre las variables ocultas sugeridas por Einstein.

Sin incurrir más en los tecnicismos de la teoría cuántica y para sintetizar lo dicho hasta ahora hay que destacar que la interpretación defendida por Einstein tiene una desventaja principal, a diferencia de la interpretación probabilista: hay problemas para confirmar sus supuestos experimentalmente y por más que la interpretación determinista es más



coherente con nuestro sentido común, la interpretación de Copenhague es más aceptada porque ofrece resultados prácticos muy precisos.

IV. III. INTERPRETACIÓN DE BOHM.

David Bohm fue quien trató de reconciliar las interpretaciones rivales probabilista y determinista. El escribió el libro "Quantum Theory"(1951) en el cual intentó en lo posible dar una formulación física para la teoría cuántica permaneciendo dentro de la postura probabilista. Muchos físicos como Pauli y Einstein consideraron que él había hecho un buen trabajo; sin embargo, Bohm decía que en realidad él no podía entender la teoría. Uno de los rompecabezas para Bohm fue que la teoría cuántica no provee una ontología clara y es aquí donde dirigió sus esfuerzos hasta su muerte en el 1992.

David Bohm se destacó por una enorme erudición y el intento de llevar la teoría cuántica mas allá de la física para aprovecharla en el estudio de las ciencias sociales. Siempre soñó con construir una sociedad mejor y con iguales oportunidades para todos. Esto le generó una encarnizada persecución ideológica en los Estados Unidos. A pesar de la intervención de Einstein, le negaron lugar de trabajo y fue forzado a emigrar de USA a México y Brasil. Bohm, quizás, fue uno de los pioneros dentro de la ciencia quien trató de llevar la Física Cuántica al terreno del problema mente-materia. A lo largo de su vida permaneció en idas y venidas acerca de la interpretación de la teoría cuántica e hizo un aporte que no es comprobable a nivel empírico; sin embargo, a nivel teórico presenta una seria alternativa a

las dos interpretaciones descritas anteriormente. Es esta mente de filósofo la que hizo a Bohm abstraerse de las rigurosas ecuaciones matemáticas para emplear la creatividad para una mejor explicación de la teoría cuántica y la realidad del universo.

Los primeros acercamientos de Bohm a la interpretación de la teoría cuántica en la década de los cincuenta es la interpretación que postula la existencia de una función de onda no local y universal la que permita a las partículas distantes entre sí interactuar instantáneamente. Su interpretación asume a un universo único e inseparable (a diferencia de la interpretación de múltiples universos de Everett) y es determinista (a diferencia de la interpretación de Copenhague). Dice que el universo evoluciona paulatinamente a través del tiempo por el medio del colapso de funciones de onda aceptado por la interpretación de Copenhague. Sin embargo, esto debe estar ocurriendo al introducir una enorme cantidad de las variables ocultas las que nunca podrán ser medidas directamente. Esta interpretación provocó una irritación en el círculo de los físicos por la década de los cincuenta los que consideraron a esta interpretación como un paso atrás en la Física Cuántica y por unos diez años Bohm quedó en un aislamiento de la comunidad científica imperante tratando de modificar su interpretación para que fuera más compatible con el paradigma vigente.

Los desarrollos posteriores de Bohm incorporaron nuevas nociones como “el potencial cuántico” que es producido por un nuevo tipo de ondas y que este potencial acompaña a las partículas en su movimiento. Bohm siguió con sus teorizaciones al explicar que se puede entender los rasgos

básicos de la teoría cuántica no local tomando un electrón como una sustancia que posee dos aspectos: un aspecto de partícula, el cual explica la manifestación de partícula cada vez que el electrón es observado, y el aspecto de onda, el cual actúa sobre esta partícula de un modo sutil. Con esto mismo explica por qué el aspecto de partícula obedece los formalismos del movimiento de onda y por qué los electrones en un conjunto producen patrones de interferencia sin la necesidad de producirse el colapso de la función de onda.

Se retomarán los posteriores desarrollos de Bohm de la Mecánica Cuántica en el capítulo específico relacionado con el problema de mente-materia.

IV. IV. MÚLTIPLES UNIVERSOS. INTERPRETACIÓN DE EVERETT.

La interpretación de la teoría cuántica de Hugh Everett originalmente bautizada como “la metateoría del estado relativo”, a pesar de las acusaciones de pertenecer a la ciencia ficción, fue mal interpretada debido a que los posteriores partidarios de esta teoría impusieron su propia lectura la que difiere de la versión original propuesta por Everett. La frase “múltiples universos” o “múltiples mundos” fue introducida por Bryce DeWitt, quien había escrito un trabajo sobre la teoría original de Everett, hasta tal punto que muchos confunden esta versión particular con el propio trabajo de Everett.

En comparación con el resto de las interpretaciones de la Mecánica Cuántica, la interpretación de los múltiples universos es motivada por los fenómenos ilustrados por el ya mencionado experimento de las rendijas. Cuando las partículas de luz (u otras partículas cuánticas) pasan por las dos rendijas el cálculo sugiere que la luz, comportándose como onda, ofrece una enorme opción de probabilidades acerca de la ubicación concreta de las partículas. Cuando las partículas son observadas, aparecen en forma de objetos clásicos como pequeños puntos y ya no como una onda no local. En algunas interpretaciones de la Mecánica Cuántica, cuando las partículas son observadas, se produce colapso entre su comportamiento como onda y su comportamiento como partícula reduciendo a la onda al aspecto de partículas. La teoría de estado relativo afirma que este colapso aparente es una ilusión. Esta interpretación trae consigo dos consecuencias:

- a) La función de onda no es una simple descripción estadística del estado del objeto, sino que dicha descripción en sí es un objeto real. Esta afirmación es compartida por el resto de las interpretaciones.
- b) La observación no juega ningún rol especial, a diferencia de la interpretación de Copenhague, la que considera que la función de onda colapsa durante la observación. A la luz de la interpretación de múltiples universos, la ecuación de Schroedinger (la que describe la función de onda) rige permanentemente y en cualquier punto del espacio. La observación de la medición de un objeto por el observador es modelada aplicando la ecuación de Schroedinger al sistema entero que abarca tanto al observador, como al objeto. Una de las conclusiones es que cada observación hace que

esta función de onda “bifurca” en dos o mas ramas o “mundos” que no interactúan nunca más entre sí al producirse el colapso de onda. Debido a que muchos actos de observación suceden permanentemente se produce una enorme cantidad de estos mundos que coexisten simultáneamente, pero no interactúan entre sí. Esto se explica a través de que el acto definitivo de medir producido al correr el tiempo es irreversible. Si un sistema físico es compuesto por uno o mas subsistemas el estado de los sistemas resulta ser como superposición de estados de estos subsistemas. Cuando los subsistemas interactúan, estos ya no son independientes. Cada producto de estos estados de los subsistemas que se encuentran en una superposición global evoluciona en el tiempo independientemente de los demás productos. Los subsistemas se encuentran “enlazados” (*entangled*) y ya es imposible considerarlos independientes uno de otro. El termino que empleó Everett para este enlazamiento de estados de los subsistemas es “el estado relativo”, ya que cada subsistema ahora debe considerarse relativo o alternativo al resto de los subsistemas con los cuales ha estado interactuando.

En cuanto a sus descripciones matemáticas y físicas, la interpretación de múltiples universos resulta ser más sencilla que la interpretación de Copenhague. El acto de observación o medición no es mágico y la interpretación de probabilidades como la amplitud en el cuadrado de la función de onda es más bien una consecuencia directa de la teoría que una simple axioma necesaria para fundamentar esta teoría. Sin embargo, muchos científicos se sienten incómodos con la implicación de que existe un

número infinito de universos alternativos e inobservables. Digamos que el mayor problema de la interpretación de Everett es que es imposible confirmarla experimentalmente. Hasta 2003 no han existido experimentos los que pudiesen contrastar la interpretación de los múltiples universos y la interpretación de Copenhague. En ausencia de los datos observacionales cada uno puede optar por cualquiera de estas interpretaciones según las preferencias de cada uno. No obstante, existe un área activa de investigación en la que se trata de diseñar experimentos que podrían contrastar varias interpretaciones de la Mecánica Cuántica. Se ha propuesto que en un mundo con universos alternativos uno de los universos que colapsan podría permanecer un tiempo más corto que los universos que se expanden y esto podría causar las diferencias de probabilidad detectables entre la interpretación de múltiples universos y la de Copenhague. Existe una propuesta debatida la que sugiere un experimento interesante, pero peligroso el cual claramente contrastaría la interpretación de múltiples universos y otras interpretaciones. Este experimento involucra una máquina cuántica suicida y un físico quien está dispuesto a perder su vida en pos de este experimento, en el peor de los casos.

La interpretación de Everett acerca de los universos múltiples no debe confundirse con la interpretación de la múltiples mentes, la cual fue desarrollada a partir de la primera y que postula que lo que se escinde es la mente del observador en lugar de la escisión del mundo entero.

V. SINTESIS CONCEPTUAL.

Es común el hecho de que al hablar sobre los conceptos de la Física Cuántica uno, habitualmente, imagina los fenómenos cuánticos asociando sus aspectos fenomenológicos con los objetos del mundo clásico (un electrón como una bolita, una onda electromagnética como una ola de un estanque etc). Esta asociación de imágenes es aceptable y necesaria para entender los fenómenos cuánticos para las mentes que están insertadas en el mundo clásico. Sin embargo, hay que tener en cuenta que en la realidad las descripciones fenomenológicas cuánticas y las descripciones clásicas de los microelementos no tienen nada en común: los átomos vistos a través de los microscopios parecen a unas manchas borrosas y multiformes, los electrones aparecen como líneas nubosas (parecidas a las luces de automóviles en las fotografías hace 20-30 años atrás).

Lo mismo ocurre con los conceptos, que no deben tomarse a pie de letra como una analogía directa con los fenómenos observados en el mundo clásico.

Existen varios conceptos claves de la Física Cuántica necesarios para poder describir y explicar la mente humana en términos cuánticos. Estos son:

- Función de onda: un estado estadístico de una partícula cuántica, cuando no es posible observarla. Esta propiedad de los microelementos es la piedra angular para los físicos los que tratan de entender la naturaleza cuántica.

- Función de partícula: un estado definido de una partícula cuántica donde se puede observar la posición de esta. Función de onda- partícula es una propiedad global de los elementos cuánticos con la imposibilidad de calcular simultáneamente el momento y la posición de una partícula.
- Colapso de onda: la reducción de infinitos estados posibles de una partícula cuántica a uno solo- es donde puede ser observada y descrita y donde pueden ser observados cambios cuanti- y cualitativos del sistema cuántico en medición.
- Superposición de estados: una propiedad probabilística de las partículas cuánticas descritos por la función de onda en la cual existen muchos estados posibles de una partícula para ser revelados que coexisten instantáneamente antes de la medición. El colapso de onda hace que la cantidad infinita de estos estados superpuestos se reduce a uno solo observado experimentalmente.
- Salto cuántico: una operación discreta dentro del sistema cuántico en la que entre un estado anterior y posterior hay un cambio cuanti- y cualitativo. Cuando a un átomo se le agrega o se le quita un electrón el átomo cambia de propiedad.
- Localidad: una propiedad hipotética del mundo cuántico defendida por la interpretación determinista en la que no existen comunicación sincrónica de varios elementos cuánticos. Para imaginarlo, según este concepto las partículas para transmitir el impulso (la energía) lo hacen transmitiéndola de uno a otro como se transmite la barrita entre los atletas en una estafeta.

- No localidad: la propiedad del mundo cuántico defendida por la interpretación probabilista y confirmada experimentalmente. Según la interpretación de Copenhague, dos o más partículas cuánticas del mismo sistema no pueden coexistir en un solo estado idéntico, sino que cobran valores alternativos uno a otro: si un electrón tiene el spin cargado para arriba, el otro al mismo instante es cargado para abajo. La paradoja de esta propiedad es que se revela a pesar de cualquier distancia entre los elementos de un sistema cuántico.

- Variables ocultas: una serie de hipótesis ad-hoc ofrecida por Einstein y Bohm para defender la tesis de la localidad y otras paradojas de los fenómenos cuánticos para defender el carácter determinista del mundo cuántico. Según estas hipótesis, deben de haber ciertas variables desconocidas por la física hasta ahora que hacen funcionar a los fenómenos cuánticos como lo hacen en realidad.⁸

- Decoherencia (la definición hecha por De la Torre como respuesta a pedido del autor de este trabajo): “es el proceso en el que un sistema físico de muchas partículas hace la transición entre un estado cuántico (en el que aparecen correlaciones fuertes entre sus observables de posición, impulso etc, y contextualidad) y un estado clásico cuyas correlaciones son “explicables” por medio de interacciones conocidas. Esta decoherencia se

⁸ “Es importante resaltar que estas variables ocultas deben caracterizar propiedades de los sistemas físicos diferentes de otras que estuvieron alguna vez ocultas pero fueron descubiertas (por ejemplo, el espín de las partículas, o sus cargas leptónicas, o los quarks, etc). Las variables ocultas que requiere la mecánica cuántica para ser determinista deben permanecer siempre ocultas. Esto es, deben ser indiscubribles en el sentido que ningún experimento las debe poder fijar en un valor. Para muchos físicos (me incluyo) este es un precio demasiado alto a pagar para poder mantener el determinismo.

produce rápidamente cuando ponemos en contacto un sistema en un estado cuántico con otro sistema "clásico" suficientemente grande..."

- Enlazamiento (entanglement), (se cita la explicación de De la Torre de este fenómeno por su claridad): "... esto es una manifestación de la no localidad en la mecánica cuántica... considérese dos observables A y B de un sistema físico que requiera ser tratado con la mecánica cuántica. Supongamos que A y B sean compatibles e independientes y no se perturban mutuamente de forma tal que es posible imaginar al sistema con cualquier par de valores respecto de A y B. Por ejemplo, A puede ser la velocidad de un electrón en Mar del Plata y B la velocidad de otro electrón en Moscú. Con respecto al observable A, el sistema puede tener la propiedad "A=a", o bien "A=no a" que escribo simbólicamente "A= -a", donde a y -a son posibles resultados, que se excluyen mutuamente, de la observación experimental de A. Similarmente, con respecto al observable B, el sistema puede tener "B=b" o "B= -b". Un estado "entangled" es un estado del sistema en el que coexisten dos estados con correlación entre A y B. Por ejemplo, (A=a; B= -b) y (A= -a; B=b). El interés de estos estados reside en esa correlación. Si la medición de A resulta en A=a, entonces el sistema tiene, después de la medición de A, la propiedad B= -b, y viceversa, si mido A= -a el sistema tiene B=b. Lo asombroso de esto es que la medición hecha en Mar del Plata tiene como efecto fijar instantáneamente el estado de una partícula en Moscú.

Personalmente no me place que existan en la naturaleza propiedades inconocibles. Esto me resulta más difícil que aceptar una aleatoriedad esencial." (Alberto de la Torre, comunicación personal).

- Interferencia: supone que la salida (o el resultado) de un proceso cuántico en general depende de todas las posibles historias del proceso. Esta propiedad supone que en teoría las computadoras cuánticas serían más poderosas cualitativamente que las clásicas.

VI. COMPUTACIÓN CUÁNTICA.

A lo largo de su historia el hombre buscó medios cada vez más eficaces para almacenar y transmitir la información. Esta búsqueda tuvo su inicio a partir de la aparición del lenguaje, continuándose con la aparición de la escritura, y a través de milenios culminó en los dispositivos más avanzados conocidos hasta ahora el diseño y la fabricación de las computadoras de última generación de nuestros días, que son capaces de procesar una enorme cantidad de información en cuestión de segundos.

El término "información", tan usado en nuestros días, sin embargo, es muy difícil de definir sino describiendo sus características. En la teoría clásica de información desarrollada por Turing y Shannon este término es considerado como abstracto y no resulta ser sinónimo ni de materia, ni de energía. De aquí proviene la distinción conceptual dentro de la ciencia informática entre el "software" y el "hardware". La teoría cuántica de información (que tuvo su inicio a partir de los aportes de la inteligencia artificial, la física cuántica y la teoría clásica de información) trata de "materializar" la naturaleza de la información. El especialista en la inteligencia artificial Andrew M. Steane en su artículo "Quantum Computing" (1998) describe dos características principales de la información. La primera es la independencia entre las formas y el contenido de como se expresa la información. Por ejemplo, las expresiones "la computadora cuántica es interesante" y "kvantovy kompiuter ochen interesen" tienen algo en común aunque tienen una forma diferente. Lo que tienen en común es su contenido. La misma información se puede transmitir oralmente, por escrito,

a través del lenguaje de señas de los sordomudos, por el código Morse, etc. Es posible expresarla sustituyendo letras por números donde la letra "a" correspondería a la combinación "110".

Es significativo que la información pueda existir en diferentes formas sin perder su esencia, lo que posibilita tratamiento automático de ella: una máquina requiere de la manipulación de algoritmos (instrucciones) para procesar dicha información, sea un simple documento o una preparación de distintos cálculos hasta la traducción de distintas lenguas humanas. Hoy en día pocos son los que se sorprenden por estas operaciones realizadas por las computadoras,- a diferencia de lo que ocurría 50 o 60 años atrás.

Otro rasgo referente a la naturaleza de información es que cualquier modo de tratamiento informático requiere de entidades reales físicas,-trátese de una fluctuación de aire al hablar, de un trazo de tinta en un papel o una descarga eléctrica de un circuito nervioso. En síntesis, no existe información sin su representación física.

Las dos propiedades de información mencionadas hasta ahora: (la representación física y la variabilidad de las formas sin afectar el contenido de información) juegan un papel fundamental para la física cuántica y la teoría cuántica de información.

Si la información es insensible a la forma en la que es transmitida y almacenada y es asociada a los entes reales físicos (no es un ente abstracto como es considerado en la teoría clásica de información), entonces los principios de la física cuántica permiten su manipulación

precisamente de acuerdo con las leyes de la física cuántica (Principio de incertidumbre, superposición de estados, coherencia- decoherencia, etc.).

Lo expuesto hasta ahora en este capítulo sería una especie de aproximación muy general concerniente a la teoría cuántica de información; y la mayoría de los postulados e hipótesis de esta teoría caen fuera del propósito de este trabajo. Por eso, se propone pasar a los principios de la teoría cuántica de información que puedan ser de utilidad en su aplicación en el campo de la problemática mente-materia estudiada desde el enfoque cuántico.

¿Qué es lo que podría aportar la teoría cuántica de información en las investigaciones de la problemática mente-materia?

El modelo cognitivista de la mente propone una analogía del funcionamiento de la mente humana con el funcionamiento de una computadora. El esquema general de este funcionamiento es el siguiente. La entrada o "input" de una porción de información medida en trozos (chunks), cuyos análogos en los programas de computación son los bits, es procesada por un ordenador (la mente). Un bit es una unidad básica de información que puede tener dos diferentes estados representando dos valores lógicos: "sí" o "no", "verdadero" o "falso" o, simplemente, "0" o "1". El resultado de este procesamiento se presenta a través de la salida o el "output" (toma de decisiones, comportamiento).

¿Qué es lo que hace a los principios de la computación cuántica distintos del procesamiento de la computadora clásica? Son precisamente los principios de la física cuántica los que hacen que la operación

informática cuántica sea diferente del procesamiento clásico. Es decir, si tomamos, por ejemplo, un átomo como un bit físico, según las leyes de la física cuántica, además de los dos distintos estados ("sí" o "no") el átomo también puede estar en una superposición de estos dos estados, lo que significa que el átomo puede estar en los dos estados a la vez ("sí" y "no"). Esta distinción entre la computación clásica y la computación cuántica sugiere varias ventajas para el procesamiento de información: una enorme capacidad de almacenamiento y una velocidad altamente superior de procesamiento.

Considérese un registro compuesto por tres bits físicos. Cualquier registro clásico puede almacenar a la vez solamente uno de ocho diferentes números posibles de la combinación, i. e., el registro puede estar en una de las ocho posibles configuraciones como 000, 001, 010, ...111. Un registro cuántico compuesto por tres qubits (quantum bit o bit cuántico) puede almacenar a la vez los ocho números puestos en superposición cuántica. Si agregamos más qubits al registro la capacidad de almacenamiento aumenta progresivamente, i. e., tres qubits pueden almacenar 8 diferentes números, cuatro qubits pueden hacer lo mismo con 16 diferentes números a la vez etc. En general, x qubits pueden almacenar 2^x números a la vez. Una vez que el registro está puesto en superposición de diferentes números es posible realizar una cantidad infinita de operaciones con ellos. Por ejemplo, si los qubits hubieran sido átomos sintonizados adecuadamente por un rayo láser que afecta estados electrónicos de los átomos y sus superposiciones iniciales, los números almacenados evolucionarían en diferentes

superposiciones posteriores. Durante esta evolución cada número en superposición es afectado y como resultado se genera una masiva computación en paralelo en una sola unidad del hardware cuántico. Esto significa que una computadora cuántica, en un paso computacional, puede presentar en una sola operación matemática con $2x$ inputs diferentes de los números codificados en superposiciones coherentes de x qubits. Para completar esta tarea cualquier computadora clásica debe repetir la misma computación $2x$ veces o debe utilizar $2x$ distintos procesadores que trabajasen en paralelo. En otras palabras, una computadora cuántica ofrece una enorme ventaja en cuanto al uso de los recursos computacionales como el tiempo y la memoria.

En teoría, el funcionamiento de una computadora cuántica suena muy eficaz y posee varias ventajas frente a las computadoras clásicas. El problema es que esta computadora cuántica solo ha sido diseñada en el papel. Para su diseño real existen serios impedimentos que se verán a continuación.

En principio, se sabe como construir una computadora cuántica- se puede partir de una simple entrada lógica cuántica (*quantum logic gate*) y tratar de integrarlas en circuitos cuánticos. Una entrada lógica cuántica, al igual que la entrada clásica, es un sencillo artefacto computacional que realiza una operación cuántica elemental (habitualmente con dos qubits) en un lapso de tiempo determinado. Sin embargo, si las entradas cuánticas se cierran en circuitos se llega a ciertos problemas prácticos. Cuanta más interacción hay entre los qubits de información tanto más difícil resulta

detectar el grado de esta interacción. Un problema aparte es la dificultad en impedir que el ambiente interactúe e influya sobre las superposiciones cuánticas. Cuantos más componentes estén involucrados en el sistema tanto más probable resulta que la información cuántica se disperse por el ambiente fuera del dispositivo computacional: es el fenómeno cuántico de decoherencia que permite que un sistema cuántico al interactuar con un sistema clásico disipe la información útil por el ambiente. Por lo tanto, el principal objetivo es diseñar un sistema microscópico en el cual los qubits interactúen exclusivamente entre sí y no con el ambiente.

La teoría cuántica de información y el modelo teórico de la computadora cuántica podrían ser útiles para construir un modelo cuántico del funcionamiento mental. De hecho, algunos principios de la computación cuántica están presentados en el modelo neuronal de Stuart Hameroff denominada la orquestación de la reducción objetiva (OrchOR). La cuestión es si existe una necesidad de trazar analogías entre el funcionamiento de la computadora cuántica y el funcionamiento de la mente humana. A simple vista la existencia de un modelo cuántico de la mente no presenta mayores ventajas en comparación con los modelos computacionales ya existentes. El cerebro humano es muy lento en el procesamiento de información, posee una memoria limitada y al tratarse de un sistema biológico funciona de manera muy distinta de cualquier computadora. Sin embargo, la aplicación de los conceptos usados en la teoría cuántica de información como la superposición de estados, el enlazamiento (entanglement), la decoherencia, el colapso de la función de onda podría ser útil para suponer que la mente



humana, en cierto grado, funciona de acuerdo con las leyes de la física cuántica. Suponiendo que el cerebro, como la supuesta sede de la mente, almacena la información en qubits que se encuentran en superposición de estados interactuando de la manera no-local a través de la coherencia cuántica o el enlazamiento (entanglement) pueden implementar casi infinito paralelismo cuántico. Estas interacciones representan operaciones de cómputos y en cierto momento colapsan o se reducen a un única combinación de los bits clásicos o lo que sería la "solución".

El término "decoherencia" supondría la dispersión de la información mental en el medio después de la muerte física del organismo. Las analogías podrían ser muchas. El punto es que hasta ahora no existe teoría psicológica alguna que introduzca los términos cuánticos en la explicación del funcionamiento mental.

VII. FÍSICA CUÁNTICA Y LA REALIDAD FUNDAMENTAL.

Las preguntas acerca del origen y la esencia del Universo existen desde los tiempos antiguos. Veamos la evolución de las nociones científicas acerca del espacio y el tiempo. Desde la Grecia Antigua se creía que el espacio es un vacío total por el que viaja la materia. Esta postura fue defendida por Demócrito. Por otro lado, Aristóteles creía que el espacio vacío tenía un patrón de trasfondo el que denominó "el plenum". En el siglo XIX la consideración de como las ondas electromagnéticas viajan por el vacuum llevó a Maxwell a suponer la existencia de un "éter luminoso". Sin embargo, el famoso experimento de Michelson- Morley refutó esta idea y se volvió a la noción del espacio como un vacío total. A partir de la teoría de la relatividad especial, que no prevé ningún marco de referencia entre los objetos, también se llegó a la conclusión de la existencia del vacío (el vacuum). Sin embargo, la teoría de la relatividad general dice que los objetos grandes (como las estrellas y/o planetas) producen una leve curvatura en la dimensión espacio—temporal. Esta curvatura sugiere la existencia de un patrón de trasfondo denominado "métrica". Basándose en esta hipótesis han aparecido algunas ideas que intentan describir la geometría espacio—temporal. Una rama de la teoría cuántica de campo conocida como la electrodinámica cuántica (QED) predice que las partículas y ondas virtuales se sumergen en y emergen desde la existencia continuamente. Estas son las fluctuaciones cuánticas que dan al vacuum una estructura dinámica y en suma hacen la energía cero del vacuum.

En lo que coinciden los físicos es que en la escala de Planck (10^{-33}cm , 10^{-43}seg - el tamaño espacio- temporal de un cuánta de energía) el espacio- tiempo ya no es "liso", sino "cuantizado". Para ilustrar esta afirmación cabe aquí presentar la teoría de cuerdas- una teoría física que intenta explicar los fundamentos del espacio y tiempo la que fue desarrollada por John Schwarz del California Institute of Technology y Michael Green del Queen Mary College de Londres en los años 80. La teoría combina la relatividad general y la mecánica cuántica y también describe unas entidades exóticas que forman el Universo.

La teoría de cuerdas dice que los quarks, los electrones y otras partículas que forman la materia, en vez de ser puntiformes, parecen más bien a minúsculas líneas llamadas "cuerdas". Cada una de estas cuerdas es aproximadamente del tamaño mínimo existente de acuerdo con la escala de Planck (10^{-33}cm), es decir, una parte del billón de un billón del radio de un electrón. Así como las cuerdas de violín pueden vibrar de distintas maneras para producir diferentes tonos musicales, las pequeñas cuerdas en la dimensión espacio-temporal pueden vibrar de distintas maneras para crear diferentes tipos de partículas elementales. La teoría de cuerdas predice que las cuerdas pueden existir en dos formas básicas: abiertas y cerradas. Las cuerdas interactúan escindiéndose y uniéndose una a otra y el movimiento vibrante determina la naturaleza de partículas y fuerzas que forman el Universo. La aceptación de la teoría de cuerdas enfrenta dos problemas: 1) actualmente no es comprobable; 2) la teoría requiere de 10 u 11

dimensiones. ¿Existen realmente estas dimensiones o son solamente abstracciones matemáticas sin ninguna base en la realidad?

Existe una propuesta interesante, pero muy controversial por parte del físico inglés Roger Penrose quien trabaja en un intento de unir la teoría de relatividad general y la mecánica cuántica. El enfoque de Penrose para explicar la naturaleza fundamental de la realidad requiere solo de 4 dimensiones espacio-temporales y tiene que ver con la geometría cuántica. En detalle la teoría de Penrose es bastante compleja y difícil de transmitir sin caer en malas interpretaciones, sin embargo, a grandes rasgos dice lo siguiente.

Es de fundamental importancia el papel que juega la fuerza de gravedad sobre cualquier objeto que existe en el Universo. La gravedad no es un fenómeno emergente, secundario a otros efectos físicos, sino es un componente fundamental de la realidad física. Esta afirmación posee dos argumentos a su favor: 1) La gravedad es la única cualidad física que influye sobre las relaciones causales entre los eventos espacio-temporales. 2) La fuerza gravitacional no tiene ubicación local- está presente en cualquier punto del espacio y los efectos del flujo gravitacional crean una curvatura para el espacio-tiempo (que contiene las 4 dimensiones en las que están sumergidas toda la materia y las fuerzas físicas). Pese a estos dos argumentos, los físicos que se empeñan en el trabajo con la teoría de la relatividad general no toman en cuenta que a nivel cuántico la gravedad también actúa sobre la materia de tal manera que las partículas, al igual que los objetos "grandes", adquieren una curvatura en su forma. Esto quiere

decir que sin importar el tamaño de un objeto todos obedecen a la acción de la fuerza gravitatoria. Esta fuerza gravitatoria en los objetos cuánticos produce la superposición de estados la que es muy inestable y tiene un tiempo de vida limitado al cabo del cual el estado de la superposición decae o colapsa y se reduce de una probabilidad a un sólo estado definido en términos de la física clásica (reducción objetiva). Para ilustrar lo anterior imagínese una persona que está leyendo el menú en un restaurant y piensa en elegir su cena. La cantidad de combinaciones para elegir platos y bebidas son enormes aún para una persona con gustos y preferencias muy limitadas y predeterminadas. Sin embargo, al tomar una decisión la búsqueda entre tantas probabilidades se reduce a una sola combinación.

A partir de esta teoría Penrose, con la asistencia de Stuart Hameroff, elaboró un modelo de la mente denominado la reducción objetiva de estados cuánticos, la que será presentada en el capítulo que corresponde a las teorías de la mente.

Las propuestas de Penrose son muy discutidas en el mundo científico, pero a pesar de que sus ideas a menudo son calificadas como descabelladas, hoy en día son una de las pocas alternativas que tratan de encontrar una explicación a la naturaleza de las fuerzas y fenómenos que forman el Universo. En peor de los casos es una alternativa más.

Los problemas que presenta la física cuántica (el rol del observador de los fenómenos cuánticos, determinismo versus indeterminismo, el acto de medición, etc) de forma directa o indirecta llevan a pensar sobre la relación entre la materia y la mente, y el funcionamiento de los fenómenos

cuánticos que va contra el sentido común indujo a un grupo de científicos modernos al intento de crear una teoría de la mente que incluya las leyes de la física cuántica. Este intento es expresado en calidad de lema: “La física cuántica es un misterio, la mente es un misterio: quizás sea el mismo misterio”. (Chalmers, 1996)

Existen numerosos enfoques filosóficos que intentan esclarecer el problema mente- materia. Los filósofos de la mente diferenciaron estos enfoques en dos posturas principales: el monismo y el dualismo que, a su vez, tienen sus variantes como el monismo anómalo, idealismo, funcionalismo, emergentismo, paralelismo, etc. Entre los científicos algunas de dichas posturas son más aceptadas que otras. En el campo de la física cuántica, al igual que en la física en general, es de gran importancia la búsqueda de una explicación acerca de lo que yace por debajo de los fenómenos físicos. La Física no es un compendio de formulas y axiomas que permiten un frío calculo de los hechos que ocurren. A menudo, los físicos recurren a la filosofía para obtener respuestas a ciertas preguntas que no están en las formulas. Para formular hipótesis acerca de algún hecho los físicos deben tener una teoría filosófica acerca de ciertos fenómenos y los científicos que tienen relación con la física cuántica muy a menudo plantean el siguiente interrogante: ¿Cuál es la realidad última que hace que el mundo funcione de la manera en que lo hace?

El problema de la relación mente-cuerpo es muy anterior a la física cuántica. Sin embargo, a partir de las dificultades que surgieron en las interpretaciones de los principios de la física cuántica (el significado del

observador, la existencia o no existencia de la interacción entre éste y los fenómenos observados, etc.) para los físicos que trabajan en esta rama volvió a aparecer la necesidad de dilucidar los conceptos "mente" y "materia" y el grado en que se relacionan entre sí. Desde el punto de vista de esta teoría es muy difícil formular o definir lo que en sí presenta la materia. A partir de esta dificultad un numeroso grupo de científicos (entre ellos Whitehead, Russell, Chalmers, Bohm, etc.) vieron como una alternativa contemplar ciertas posturas filosóficas no muy aceptadas por la comunidad científica que tratan el problema mente–materia. Estas posturas son el panpsiquismo y el panexperencialismo. La vertiente extrema del panpsiquismo afirma que la conciencia o la mentalidad (en el sentido de que algo posea inteligencia e intencionalidad) es la cualidad de toda la materia. Por ejemplo, es probable que los átomos y sus componentes subatómicos posean elementos de conciencia. Los "mentalistas" como Leibniz (1768) y Whitehead (1929) argumentaron que los sistemas considerados físicos están compuestos por una serie de entidades mentales. Leibniz veía el Universo como un número infinito de entes fundamentales ("mónadas") cada uno de cuales poseía una primitiva existencia psíquica. Whitehead describió a esas mónadas con una mayor espontaneidad y creatividad considerándolas como entidades cercanas a las mentales de una duración limitada ("instantes de experiencia" cuya cualidad es cercana al sentimiento). Bertrand Russell (1954) describió su postura a la que bautizó de monismo neutral según la cual existe una entidad subyacente tanto a lo físico como a lo mental que da existencia a ambas sin ser ninguna de ellas.

Más recientemente Wheeler (1990) propuso una teoría "pre-geométrica" de la realidad fundamental, la que es constituida por información, es decir, toda unidad elemental del Universo es una unidad informativa. Chalmers (1996) propone que la información fundamental contiene "formas de experiencia" (*experiential aspects*) que apuntan a la naturaleza del ser como un ser consciente. Chalmers propuso un término "panprotopsiquismo" en alusión a que podría existir una interacción entre el cerebro y unas entidades fundamentales y estas últimas serían las que forjan la conciencia o la mente. De esta manera la mente podría resultar ser como producto de interacción entre el cerebro y la realidad fundamental. Lo último sugiere suponer que por debajo de la existencia de los fenómenos físicos hay una realidad fundamental impalpable e invisible a los artefactos científicos de observación- "la mente universal"- término prestado del budismo bhavata (Goswani, 1993). La existencia de esta mente universal es compartida entre el pansiquismo y el panexperencialismo.

Dichas corrientes filosóficas aluden a la existencia de unidades básicas mentales "qualias" las que serían homologables a lo que se denomina en física cuántica como un cuanto de energía. La cuestión es si realmente existen estas entidades mentales y si poseen lo que para un electrón sería "spin" o "carga". Y si existen: ¿de que manera podrían estar ligadas a las sustancias físicas? Estos interrogantes se encuentran en medio de la discusión científica.

VIII. TEORÍAS DE LA MENTE DESDE EL ENFOQUE CUÁNTICO.

La mente cuántica o la conciencia cuántica (las expresiones que se usan en el mundo de habla inglesa, aparentemente, como una síntesis de ambos dominios (*la mente* y la física *cuántica*) es un conjunto de hipótesis protocientíficas que buscan una conexión entre el estudio de la mente, la neurobiología y la mecánica cuántica. En la filosofía de la ciencia, una protociencia es una rama de la ciencia que se encuentra en el estadio de formulaciones especulativas, las que en el futuro pueden establecerse como un saber científico o un conjunto de teorías que expliquen mejor el funcionamiento mental. Con el término de protociencia se hace referencia a un conjunto de hipótesis que todavía no están probadas por el método científico, pero que se adecuan a los criterios de dicho método. Aunque la protociencia es, a menudo, especulativa, se diferencia de la pseudociencia por su parcial adhesión al método científico aceptando la falsabilidad de las teorías y estando a la expectativa de convertirse en una/as teoría/s científicas operantes y predictivas.

El interés en el estudio de la mente y del problema mente–materia en términos de la física cuántica surgió a partir de la insatisfacción de un determinado grupo de científicos por aportes hechos por las distintas corrientes teóricas existentes actualmente. Si se toma cualquier modelo teórico de la mente existente hoy en día, se verá que la descripción y la explicación de lo mental dan por sentado que la mente permanece en el

mundo físico descrito en términos de la mecánica clásica (newtoniana) cuántica. Este fisicalismo "clásico" utiliza la terminología que describe los fenómenos mentales en términos de las dicotomías (la subjetividad versus la objetividad, mente versus cerebro, la razón versus el afecto, determinismo versus indeterminismo, etc.), de la separabilidad de dichos fenómenos o sustratos (voluntad, intelecto, afecto; funciones superiores e inferiores; conciente, preconciente, inconciente, etc.). La introducción de las nociones cuánticas dentro del campo la filosofía de la mente pone en duda la existencia de estas dicotomías, hasta la definición tradicional de la materia está sujeta a una revisión conceptual. El ya mencionado Principio de la Complementariedad (la función onda-partícula) y descrito por las teorías cuánticas no encaja en la definición clásica de la materia como algo compuesto de unas partículas diminutas que se comunican entre sí por la proximidad y las que, en suma, llenan el espacio. David Bohm (1980), cuya teoría de la mente se expondrá en este capítulo, rehusó considerar el problema de mente-materia como problema siquiera afirmando que no existe una división neta entre ambos entes. Su opinión fue que de lo que se trata es de niveles de sutileza de la materia pasando por los niveles psíquico, biológico, químico, físico, cuántico, sub-cuántico y otros (hipotéticos) y a cada nivel le atribuyó ciertas propiedades mentales (aquí lo mental no es el sinónimo de la conciencia).

Según la denominación de Stapp (1993) y Hameroff (1999) los fenómenos que conciernen el funcionamiento mental y que siguen siendo inexplicables desde los modelos "clásicos" de la mente son:

- La naturaleza de la experiencia subjetiva o *qualia*- nuestra vida interior (a partir de la propuesta de Chalmers (1993) es conocido como "problema duro"- "hard problem").
- El funcionamiento unitario, holístico y sincronizado de distintas funciones mentales, así como la actividad unitaria del cerebro dividido en distintos substratos (tálamo, cerebelo, hipocampo, áreas cerebrales). Dicho funcionamiento provoca tanto la sensación subjetiva de la unidad [*oneness*] mental, como una percepción objetiva (observamos al organismo funcionando como una unidad).
- La transición del estado inconciente al estado conciente y viceversa.
- La no- computabilidad o la noción de que lo mental involucra un factor que no es azaroso, pero tampoco algorítmico y que la actividad mental no puede ser simulada (Penrose 1989, 1994, 1997).
- El libre albedrío.
- La percepción subjetiva del tiempo.

A estos puntos se puede agregar otros tantos agregado por Hameroff (1999). Este científico busca la sede de la mente en el cerebro y hace hincapié en el estudio de los substratos fisiológicos de la mente:

- El aparente azar en todos los niveles de los procesos neuronales: ¿ se trata de un ruido de hecho o lo subyacen distintos niveles de complejidad?
- Células gliales que componen el 80% del cerebro y hasta ahora no se conoce con certeza su función.

- Procesamiento dendrita–dendrita (como se sabe, la conexión entre las neuronas se realiza de axón a dendrita).
- Conjunción electrotónica de las hendiduras sinápticas.
- Actividades citoplásmicas y citoesqueléticas.

La explicación de la mente en términos de la física cuántica es un campo muy controversial, y las discusiones acerca de la viabilidad o de la necesidad de una teoría cuántica de la mente supera en mucho los objetivos de este trabajo. Por ahora, se expondrán algunas teorías de la mente desde el enfoque cuántico seguidas por un espacio dedicado a la discusión de estas teorías.

VIII.I. DAVID BOHM.

Como ya se mencionó anteriormente, David Bohm a lo largo de su carrera científica intentó esclarecer el problema mente-materia utilizando las teorías cuánticas para su explicación. En el intento de reconciliar las interpretaciones indeterminista y determinista elaboró varias teorías, que aplicó en el estudio de la ontología de la mente y la materia. Dichas teorías son: 1) la teoría de las variables ocultas, que atrajo fuertes críticas por los partidarios de la interpretación indeterminista; 2) la teoría del orden implicado; 3) la teoría de información activa. Respecto a la explicación de la ontología de la mente y la materia trató de evitar tanto el reduccionismo, como el dualismo cartesiano considerando que ambos, la mente y la materia son aspectos distintos pero, al mismo tiempo, irreductibles de una realidad

única. Cabe recordar que la teoría de las variables ocultas fue propuesta para explicar la naturaleza enigmática de los fenómenos cuánticos como la dualidad partícula- onda, la no- localidad, el entrelazamiento, etc. En pocas palabras, la teoría de las variables ocultas sugiere que por debajo de los fenómenos observables existirían otros fenómenos que hacen que dichos fenómenos manifiestos ocurran. Para fundamentar la teoría de las variables ocultas Bohm introdujo la teoría del orden implicado. En su trabajo *Wholeness and Implicate Order* (1980), originalmente destinado a la búsqueda de la base común para las teorías cuánticas y las teorías de la relatividad, surge la idea del orden implicado, lo que quiere decir que de alguna manera y en cierto grado todo en el Universo envuelve (*enfolds*) o implica todo. Sin embargo, esto ocurre de tal manera que bajo ciertas condiciones típicas de la experiencia común existe la relativa independencia de los fenómenos entre el nivel implicado y explicado. Este orden de las cosas no es meramente pasivo o superficial, sino es activo y esencial para cada cosa que existe. Entonces, cada fenómeno natural es internamente relacionado con todo. El orden manifiesto o explicado de las cosas que domina la experiencia corriente aparece como autónomamente dado a cierto nivel. No obstante, este orden no puede ser apropiadamente comprendido sin su base en la realidad primaria del orden implicado. Para explicar esto cabe la analogía con el iceberg cuya masa principal está sumergida en el agua y en la superficie solo se percibe la cima de esta masa flotante. Como el orden implicado no es estático, sino esencialmente dinámico y se encuentra en constante proceso de cambio y desarrollo, representa una



forma general del movimiento global:- el holomovimiento (*holomovement*). Todos los fenómenos que se encuentran en el orden explicado emergen del holomovimiento, en el cual estuvieron permaneciendo como potencialidades y, al final, vuelven a este orden. Estos fenómenos solo perduran un tiempo limitado y, mientras duran, su existencia es sustentada por un constante proceso de reestructuración y cambio que da lugar a las formas relativamente estables e independientes dentro del orden explicado. Por el contrario, reconociendo la existencia del orden implicado, la división cartesiana entre la mente y la materia sería innecesaria. Sin embargo, la noción del orden implicado solo es un marco general que merece ser desarrollado con más detalle. Lo que interesa aquí aclarar es como lo material y lo mental están relacionados.

Bohm, al sugerir que la ontología enigmática de los fenómenos cuánticos puede ser explicada a través de las variables ocultas que pertenecerían al orden implicado, introdujo la interpretación causal de la teoría cuántica. El primer paso en esta interpretación es asumir que, por ejemplo, un electrón es una partícula que se mueve por una trayectoria definida, pero lo hace acompañado por una especie de campo cuántico-cuya fuerza actúa a través del espacio. La noción del campo es fundamental en la física clásica como el campo electro-magnético, por ejemplo. Sin embargo, la noción del campo cuántico no es una vuelta al concepto clásico del campo;- posee rasgos cualitativamente distintos. El aspecto clave en la noción del campo es que matemáticamente se representa por ciertas expresiones llamadas potenciales. En física un potencial describe un campo

en términos de posibilidad o potencialidad presente en cada punto del espacio para realizar cierta acción sobre una partícula que se encuentra en este punto. Lo que es característico en la física clásica es que el efecto de este potencial sobre una partícula es siempre proporcional a la intensidad del campo, que es semejante a la magnitud de las olas de un estanque a medida que se alejan del centro donde haya caído una piedra.. A diferencia del concepto clásico del campo, el potencial cuántico depende solamente de la forma y no de la intensidad del campo. Esta diferencia es fundamentalmente distinta de la noción clásica del campo y sugiere que aun los objetos muy lejanos entre sí pueden mutuamente afectar su comportamiento. Es lo que explica el fenómeno de la no-localidad, el entrelazamiento y el Principio de la incertidumbre. Ahora, Bohm hace hincapié en el término de información tomándolo en el sentido literal. El potencial cuántico del campo es lo que le da forma a la trayectoria de una partícula en el sentido etimológico del latín (*-informare-* dar forma). Hay muchas analogías en este sentido: el movimiento de un buque en el mar es determinado por los señales de radar que le da forma a su trayectoria y no la fuerza bruta de sus motores. Se dice que la molécula del ADN actúa para dar forma y dirección a la síntesis de las proteínas (transferidas a las moléculas del ARN). La música de la radio proviene de la fuerza eléctrica, pero su contenido depende de la forma de la onda del transmisor.

Bohm desarrolla la noción de la información pasándola al terreno de la física cuántica. La información a nivel cuántico es potencialmente activa en todas partes, pero actúa efectivamente en el lugar donde se encuentra la

partícula (por ejemplo, la onda de la radio se activa donde se encuentra el receptor).

Las nociones del campo cuántico, del potencial cuántico y la información activa sugieren la posibilidad de cierto tipo de integridad de las partículas a nivel cuántico con los objetos muy distantes y esto concierne no solamente a una sola partícula tomada como ejemplo, sino a un sistema grande de partículas. Esto merece dos observaciones. Una es la ya mencionada acerca de que debido a esta integridad se puede explicar el fenómeno de la no-localidad. Es decir, cuando dos partículas cuánticas se influyen mutuamente a pesar de la distancia. La segunda es que en un sistema con muchas partículas la interacción entre ellas puede ser pensada como dependiente de la base de información compartida dentro del sistema como un todo. Uno de ejemplos es el fenómeno de la superconductividad. En las temperaturas normales los electrones están esparcidos azarosamente por distintos obstáculos e irregularidades del metal. Sin embargo, en las temperaturas bajas los electrones se mueven de la manera organizada como un flujo íntegro. Un análisis más detallado demuestra que el potencial cuántico para todo el sistema constituye una conexión no-local, la que produce un patrón de orden y organización en el movimiento de los electrones. Se puede trazar una analogía con un grupo de ballet, donde los bailarines, compartiendo la misma información en común, son capaces de efectuar movimientos sincrónicos y organizados. Se podría concluir que el comportamiento básico de la materia involucra tales rasgos como la no-

localidad y la organización de movimiento a través de la información compartida.

Entonces, ¿por qué ocurre que no lo observamos en condiciones normales de nuestra experiencia? Podría decirse que en temperaturas normales el potencial cuántico tiende a cobrar forma de las partes independientes, lo que implica que las partículas se mueven con la independencia correspondiente: es semejante a que en vez de un grupo de ballet las personas empiezan a moverse independientemente, cada uno con la información separada de otros, lo que ya constituye una multitud caótica. Para sintetizar lo expuesto hasta aquí, se puede decir que las posibilidades para la integridad de la materia en la teoría cuántica posee una significación objetiva. En contraste, en la física clásica el concepto de integridad y la totalidad es una manera conveniente de pensar acerca de lo que en realidad es una colección de partes independientes que interactúan mutuamente. En lo relativo a la cuestión de la naturaleza de lo mental la entera noción de la información activa sugiere un comportamiento rudimentario protomental de la materia, ya que una de las esenciales cualidades de la mente es la actividad de la forma y no de la sustancia. Como ejemplo, considérese que cuando leemos una página escrita nosotros no asimilamos la sustancia del papel o tinta, sino la forma de las letras y es esta forma la que da la existencia de contenido de la información de lector. Igualmente, la cualidad mental de la materia se revela a nivel cuántico cuando la forma de la función la onda se manifiesta en el movimiento de las partículas. Esta cualidad tiene su trascendencia a nivel clásico. Contemplando el lado mental y

considerando algunos aspectos de la naturaleza de pensamiento la mayor parte del significado de pensamiento es la actividad de cierta estructura informativa. Imagínese que se percibe una sombra mientras pasea en la oscuridad. Si poseemos la información de que ha habido asaltos en el barrio últimamente esto nos da una sensación de peligro con un abanico de respuestas posibles (–huir, pelear, pedir auxilio, etc.). No es un proceso meramente mental, sino involucra una serie de procesos autónomos del sistema nervioso: el funcionamiento hormonal del sistema endocrino, al igual que la actividad del sistema de esqueleto y el musculatorio. La información activa se presenta simultáneamente como física y como mental. Entonces la información puede servir como una especie de puente entre ambos lados de la realidad como un todo. Aquí se ve que de lo que se trata es de los niveles de sutilidad a través de los cuales la información es transmitida. Esta noción de la sutileza de la materia es importante considerando la misma raíz del término prestado del latín (sub- texere- tejido finamente). Así, los niveles menos sutiles de la materia que involucran la actividad muscular o neuroquímica envuelven o se desenvuelven en los niveles más sutiles como la actividad psíquica. A partir de aquí se podría concluir que lo mental es relativo y corresponde a cierto nivel de sutilidad de la materia y toda actividad mental es expresada en relación a nivel físico en orden de mayor sutilidad. Podría decirse que lo mental y lo material es esencialmente lo mismo. Esto significa que lo que nosotros percibimos y consideramos como la mente a partir de la transición a través de varios niveles mueve al cuerpo logrando el nivel de potencial cuántico y el “baile” de las partículas. No existe

un hueco intransitable entre cualquiera de los niveles, sino que en cada nivel la información es la puente. Esto implica que el potencial cuántico actuando sobre las partículas como ejemplo representa solo un estadio en un proceso global y este proceso forma nuestro contenido mental.

¿Como comprender esta teoría si la sutilidad de los niveles fuese elevada al infinito? ¿Se malogrará nuestra comprensión de nuestros pensamientos cada vez que tratamos de hacerlo? Paavo Pylikkanen, el comentarista de los trabajos de Bohm de origen finlandés, señala la fuerte dependencia en el razonamiento humano de su lenguaje, el que suele poner mucho énfasis en el lado analítico del razonamiento. Para explicarlo se refiere al ejemplo de un imán cuyos polos opuestos (norte- sur) son solo abstracciones lingüísticas y no hay nada en el imán que indique donde están uno u otro polo. Es un imán cuyos polos están ahí- solapados inseparablemente uno de otro participando en la misma estructura y en el mismo proceso global. Lo mismo ocurre al tratar de explicar la oposición de mente- materia: el polo mental está sumergido en lo físico y el polo físico se encuentra en lo mental.

Sin embargo, el mismo Bohm critica su teoría del orden implicado donde destaca tres problemas: 1) Como la teoría acerca de lo físico el orden implicado no explica como se forma la materia a partir de este orden. 2) No explica como las potencialidades de lo mental actualizan o ponen en acción lo corporal. 3) El orden implicado no provee ningún marco explicativo acerca de cómo los aspectos mentales y materiales están relacionados.

Además de estos puntos existen otras dificultades con la aplicación de las teorías bohmianas de carácter práctico:

1. No es claro si la materia en el cerebro es sensible a los efectos cuánticos debidos a condiciones como la temperatura, el ruido térmico, etc.
2. La interpretación ontológica carece de una explicación de cómo la partículas podrían afectar el campo cuántico.
3. Además del trabajo de Frohlich (1986) por el momento no existe ninguna propuesta concreta de cómo el tipo cuántico de organización podría manifestarse en los organismos biológicos. Por lo tanto, para sostener la plausibilidad de los procesos cuánticos en lo organismos biológicos requiere la postulación de una teoría que involucre niveles intermedios de los campos de la información activa entre los niveles cuántico y el mental (Sheldrake, 1988).

Las dificultades con la aplicación de la teoría cuántica en los organismos biológicos es el talón de Aquiles de los científicos dedicados al tema. Se volverá a este tema en capítulos posteriores.

Los primeros comentarios acerca de la relación entre la teoría cuántica y los procesos mentales publicados por Bohm pueden encontrarse en su libro "*Quantum Theory*" (-1951, pp. 168- 172). Aquí se citan algunas de sus ideas al respecto de tema. Bohm Menciona tres diferentes analogías acerca del funcionamiento mental de acuerdo con las leyes cuánticas.

1. Si una persona trata de observar lo que está pensando sobre un objeto en particular y trata a su vez describir al pensamiento en curso generalmente ocurriría que esta persona introduce cambios impredecibles e incontrolables

que influyen a la manera en la que el pensamiento procederá después de dicha observación.

Esto es semejante a lo que ocurre con la observación a nivel cuántico donde la observación de la posición de una partícula introduce cambios impredecibles e incontrolables en el movimiento de ella. Por ejemplo, al preguntar a una persona acerca de lo que está pensando esta, en efecto, ya no está pensando en el objeto original, sino está pensando acerca de la descripción del pensamiento previo. La idea es que el proceso del pensamiento no deja ser observado hasta cierto punto sin tener un cambio significativo. Es donde la dirección ("el momento") del pensamiento es perturbado por el intento de definir el contenido ("la posición") de este.

2. Si una persona intenta aplicar a su pensamiento elementos con más y más precisión definida, al cabo llega a un estado donde al análisis posterior no se puede otorgar ni siquiera sentido alguno.

Una parte del significado de cada elemento del proceso de pensamiento se produce en sus conexiones indivisibles e incontrolables con los demás elementos (asociacionismo). Esto es equivalente a decir que algunas propiedades esenciales del sistema cuántico (sean éstas una onda o una partícula) dependen de las conexiones indivisibles e incontrolables con los objetos rodeantes (enlazamiento). Aquí cabe homologar el término de asociacionismo en psicología con el término de enlazamiento en el dominio de la física cuántica. Esta afirmación se basa en el siguiente ejemplo citado por Bohm: "Parte de la connotación de una palabra depende de las palabras con las que está asociada y con las que no y, en la

práctica, es completamente predecible y controlable (especialmente en el habla). De hecho, el análisis de la lengua como se utiliza actualmente, en elementos distintos con relaciones definidas con precisión entre ellos es probablemente imposible”.

3. Leyes de la lógica, descubrimiento ilógico y el salto cuántico.

El proceso de pensamiento es análogo al límite clásico de la teoría cuántica. El proceso lógico corresponde al tipo general del proceso de pensamiento de la misma manera que el límite clásico corresponde al proceso cuántico, ya que según Bohm, las reglas de la lógica serían análogas a las leyes causales de la física cuántica. No obstante, el proceso básico de pensamiento probablemente no puede ser descrito como lógico. El surgimiento de una idea es análoga al salto cuántico.

Aquí cabe hacer varios comentarios. Lo esencial de lo dicho en este punto es que la estructura y la operación de la mente humana refleja la doble naturaleza de la realidad de la que surge la mente. Según Bohm el mundo clásico de los objetos separados y los fenómenos gobernados por las leyes de la física clásica es un aspecto real, pero no el más importante del mundo físico. El nivel mas fundamental es el nivel cuántico donde los fenómenos como el salto cuántico son centrales. Igual que el mundo físico dentro de los límites a nivel clásico, el nivel de razonamiento lógico consiste en los conceptos gobernados por leyes de la lógica. Sin embargo, en el mundo físico a nivel cuántico la noción clásica de objetos separados no es aplicable. En cambio, las propiedades esenciales de un sistema cuántico dependen de unas conexiones indivisibles e incontrolables con los objetos



rodeantes. La idea tradicional de un objeto separable no tiene lugar a nivel cuántico y los procesos cuánticos son radicalmente distintos de los procesos a nivel clásico. Asimismo para Bohm el proceso de pensamiento general o global no puede ser descrito como lógico y sería natural sugerir que los conceptos definidos lógicamente no son aplicables al proceso básico del pensamiento.

VIII.II. HENRY P. STAPP Y LA TEORÍA DE VON NEUMANN Y WIGNER.

Henry Stapp es un matemático norteamericano que actualmente trabaja en la Lawrence Berkeley National Laboratory de la Universidad de California. Es uno de propulsores más activos del estudio de la mente y su relación con la materia a través del enfoque cuántico. Sus trabajos son avalados por la Oficina de Alta Energía de Estado de los Estados Unidos de América.

En sus estudios Stapp, lanza sus críticas contra los enfoques contruidos en términos de la física clásica para la solución del problema mente–cerebro (equivalente de la materia en los organismos vivos) y resalta la necesidad de la búsqueda de una nueva teoría para resolver dicha problemática. Sus esfuerzos se han dirigido para desarrollar esta teoría, la que encuentra sus orígenes en las teorías cuánticas y a las que considera las teorías más exitosas de la actualidad para la explicación y la manipulación de la naturaleza. Stapp también se refiere a la confusión en la comprensión del rol de la mente humana en el universo físico y su relación

con éste –algo que planteó Bohr en su formulación de la interpretación indeterminista-.

Según Stapp, los problemas fundamentales en el estudio de la mente son dos: 1) ontológico –cual es la naturaleza del conocimiento (es necesario aclarar que aquí Stapp usa el término “ontológico” en un sentido distinto del que es aplicado en la filosofía, ya que la ontología se refiere a las características básicas de toda realidad. Quizás, en este contexto, sea apropiado interpretar su aplicación del término ontológico como parte o un segmento de la realidad)-; 2) epistemológico –cual es el método válido para adquirir ese conocimiento-.

Sintéticamente, la crítica de Stapp a los modelos de la mente que se basan en los conceptos de la física clásica apunta a una incapacidad de esta para describir y explicar los fenómenos físicos adecuadamente. La idea central es que los postulados de la física clásica sugieren que el universo es compuesto por diminutos entes “materiales” localizables en determinados puntos del espacio donde la existencia y el movimiento de la materia es determinada por sí misma de acuerdo con las leyes locales y universales. En la física clásica el carácter local de la materia es distintivo. Esto significa que el estado de cada partícula localizada responde solamente a los estados de sus vecinos inmediatos y cada una de ellas “no sabe” nada acerca de las demás fuera de su inmediata vecindad microscópica. Por lo tanto, la evolución del universo y cada sistema físico dentro de él es gobernada por una vasta colección de los procesos locales, cada uno de los

cuales es “miópico” en el sentido de que se comunica solamente con sus vecinos inmediatos.

Entonces, siguiendo los principios de la física clásica y extrapolándolo al campo del problema mente–materia (cerebro) los procesos mentales serían prisioneros de los procesos microscópicos impersonales deterministas reduciendo la mente humana a un robot guiado por mecanismos automáticos. Es decir, se puede fabricar una gran cantidad de computadoras, que estarían compuestas por ciertos materiales químicos estándar, que efectúan con gran precisión numerosas operaciones. Sin embargo, son incapaces proliferarse por sí mismas, ni crear innovaciones dentro de sus propios sistemas,- algo que es distintivo en los seres humanos.

Según la opinión de Stapp, la dificultad de los intentos racionales para comprender el sistema mente–cerebro yace primariamente en las formulaciones físicas inadecuadas, y sólo secundariamente en la filosofía: una vez que estas formulaciones sean rectificadas la filosofía se hará cargo por sí misma. De esto se sigue que la correcta comprensión de la conexión entre la mente y la materia no puede basarse en una concepción equivocada precisamente en el punto crítico: en el papel de la mente en la dinámica de los sistemas físicos.

Como se sabe, el extraño comportamiento de la materia a nivel cuántico generó una confusión en la comunidad científica acerca del papel que juega la mente humana y, más precisamente, su rol en el estudio de la naturaleza. Se debatían muchas versiones de las cuales la más común y la

que encaja en nuestra representación del mundo es que la mente es un observador pasivo de los fenómenos externos en suceso. La otra sería reconocer a la mente del observador como parte del proceso observado donde tanto el sujeto (mente- observadora), como objeto (fenómeno observado) se influyen mutuamente- una versión que es fuertemente criticada y no encaja en el sentido común. Para llegar a un consenso los pioneros de la teoría cuántica ortodoxa (Bohr, Heisenberg, Dirac, Schroedinger, etc.) llegaron a una definición del estatuto de la mente humana en su relación con el universo físico (–Conferencia de Solvey, Dinamarca, 1927). Esta definición en forma de postulado dice lo siguiente: la medición de un sistema físico revela nuestro conocimiento acerca del sistema y no la verdad acerca de su comportamiento real. Asimismo, este postulado se adecua a los criterios epistemológicos de la ciencia, pero no dice nada acerca de la naturaleza real de los fenómenos. Así, la teoría de Copenhague se caracteriza por varios puntos: 1) es un conjunto de reglas estadísticas a nivel teórico que son aplicadas a 2) pequeños sistemas cuánticos desconectados del observador (la mente); 3) son útiles en la aplicación pragmática y dan resultados muy precisos, pero 4) no describen el sistema mediador entre el observador y el fenómeno observado. De hecho, el grupo de Solvey renunció a la explicación ontológica de los fenómenos cuánticos utilizando la teoría cuántica como instrumento-práctico para aplicaciones precisas. Esto causó la mayor molestia a Einstein, quien afirmó: “Lo que no me satisface de la postura de principio es la actitud hacia lo que me parece ser el objetivo programático de todos físicos: la

descripción completa de cualquier situación (individual) real (la que supuestamente existe con prescindencia de cualquier acto de observación o sustancialización).”⁹ Stapp intenta ampliar el horizonte de la comprensión científica ante esta falta de una explicación adecuada no solamente de los fenómenos físicos, sino de la mente humana, la que Stapp cree ser parte de estos fenómenos.

Para desarrollar su teoría dentro del problema mente- materia Stapp toma como punto de partida la Teoría Cuántica de von Neumann y Wigner (The von Neumann/ Wigner Quantum Theory, de aquí en adelante vN/WQT). Según Stapp una adecuada teoría de la mente en términos cuánticos es la teoría de conexión entre “la existencia objetiva” y “el conocimiento subjetivo” del ser humano. Von Neumann y Wigner introdujeron una innovación en la teoría cuántica trayendo al observador humano y su conocimiento subjetivo del mundo en la estructura matemática de la física. Desde el punto de vista filosófico la vN/WQT es más satisfactoria que la visión de Copenhague, la que enfatiza la predicción práctica bajo ciertas condiciones que excluyen la explicación causal de la conexión entre el cerebro y el pensamiento como la actividad mental. Von Neumann y Wigner tratan de explicar lo que ocurre en el cerebro cuando ocurre la reducción o colapso de la función onda- partícula. Para eso introducen dentro del campo de la psicología el ya conocido término de esquema corporal, al que denominan “esquema corporal acerca el mundo”

⁹ “What does not satisfy me from the standpoint of principle, is its attitude toward what seems to me to be the programmatic aim of all physics: the complete description of any (individual)

(*body- world schema*). Sería la representación subjetiva de cada persona de su cuerpo y su relación con el mundo, en el cual su cuerpo permanece como uno de los aspectos de la realidad total; cada ser humano pensante es un sistema tripartito: el sistema cuerpo- cerebro-mente, que consiste en una secuencia de eventos concientes llamados "conocimientos" que son ligados por la estructura física que es cuerpo- cerebro.

Stapp compara sintéticamente los dos enfoques (la interpretación de Copenhague y la vN/WQT). Los tres problemas de la interpretación de Copenhague:

1. Una compilación de reglas: en dicha interpretación las leyes cuánticas no representan una descripción con referencia a las entidades reales- se usan como predicciones estadísticas hechas através de los formalismos matemáticos.
2. El sistema cuántico es pequeño y desconectado de los cerebros: los fenómenos cuánticos son objeto de estudio externo al cerebro o la mente del observador- no hay nada en común entre un fenómeno cuántico y la mente que lo observa.
3. No posee un sistema mediador: existe una dicotomía neta entre el objeto de estudio y el observador, cualquier sistema que procesa las características del objeto de estudio está ausente (la retina, estímulo nervioso, conocimiento previo del procesador acerca del sistema etc.).

Para la vN/WQT:

real situation (as it supposedly exists irrespective of any act of observation or substantiation)". (A. Einstein, p. 667, 1951) "

1. El universo físico entero es el sistema cuántico.
2. Cada conocimiento subjetivo es asociado con un cerebro.
3. Cada conocimiento subjetivo reduce el estado asociado del cerebro a una forma compatible con este conocimiento.
4. Esta reducción automáticamente reduce el estado del universo en una forma compatible con ese conocimiento.

Para resumir, para von Neumann y Wigner el mundo no está hecho de una materia en evolución—, sino que parece ser un depósito de información: el mundo físico está hecho de la información,- una acumulación de los bits de conocimiento.

Como se ve, las cuestiones planteadas por Stapp y von Neumann/Wigner quedan muy cerca de los planteos de Bohm.

VIII. III. STUART HAMEROFF.

Stuart Hameroff, un médico anestesiólogo que actualmente trabaja en la Universidad de Arizona, defiende su teoría de la existencia de los procesos cuánticos dentro del cerebro. Ha elaborado esta teoría biomolecular de los procesos cuánticos de la mente basándose en las teorías del matemático británico Sir Roger Penrose. Su teoría es fuertemente criticada por sus opositores; sin embargo, emplea múltiples hipótesis auxiliares para fundamentarla. Hameroff se encuentra insatisfecho con la explicación convencional acerca de cómo funciona el proceso de pensamiento en el cerebro. Según este enfoque la sede de la conciencia



(recuérdese que en el medio anglo—sajón la terminología que denota múltiples significados relacionados con el término “mente” a menudo se desliza hacia el término “conciencia” como su sinónimo) se encuentra distribuida entre el tálamo y la corteza cerebral. El proceso de pensamiento funciona en ellas a través de los circuitos reverberantes, donde la diferencia en el potencial entre el sodio y potasio dentro de las neuronas hace que el axón dispare o no una carga eléctrica hacia una dendrita en una secuencia determinada. Como el cerebro posee alrededor de diez mil millones de neuronas y estas son conectadas entre sí a través de cientos a miles de sinapsis se produce una actividad masiva y compleja donde una determinada función cerebral es asociada a cierta actividad. Por ejemplo, el área de Wernicke corresponde a la comprensión y el área de Broca a la expresión verbal.

Hameroff insiste en que el cerebro funciona como un todo, a pesar que existen en el áreas asociadas a determinadas funciones, permaneciendo en coherencia cuántica y se encuentra en estado de superposición. Quiere decir que durante el funcionamiento cerebral ante múltiples soluciones se encuentra en un estado de indecisión. Al producirse el colapso de la función onda- partícula el estado superpuesto se reduce a un solo estado definido (“la solución”). Esta teoría lleva el nombre de la Teoría De Orquestación de la Reducción Objetiva (OrchOR), que elaboró con la colaboración de Roger Penrose.

Roger Penrose, a su vez, es un matemático polémico quien a través de sus trabajos busca reconciliar la Teoría de la Relatividad General y la

Teoría Cuántica. Este científico propuso que la naturaleza a nivel cuántico no funciona según leyes deterministas, pero tampoco al azar, sino que posee un factor no computable y, por lo tanto, imposible de predecir. Hameroff toma prestada esta idea de Penrose para aplicarla al funcionamiento cerebral. Apunta a los microtúbulos neuronales como sede de los procesos cuánticos dentro del cerebro. Como se sabe, el metabolismo de las neuronas es extremadamente complejo y estas no solo existen como conductores del impulso eléctrico.

En primer lugar, Hameroff llama la atención con que el cerebro está compuesto en 80% por las células gliales, cuya función todavía se desconoce. En segundo lugar, no solo existen las conexiones de axón a dendrita, sino también de dendrita a dendrita, lo que trae otra incertidumbre en la explicación convencional acerca del funcionamiento cerebral. La sustancia gris, la supuesta sede de la conciencia, está compuesta por las neuronas mielínicas y la actividad eléctrica es sumamente lenta allí en comparación con la sustancia blanca, la que se asocia con la actividad autónoma del cerebro y está compuesta por las neuronas amielínicas, cuyo procesamiento del estímulo eléctrico es muy veloz.

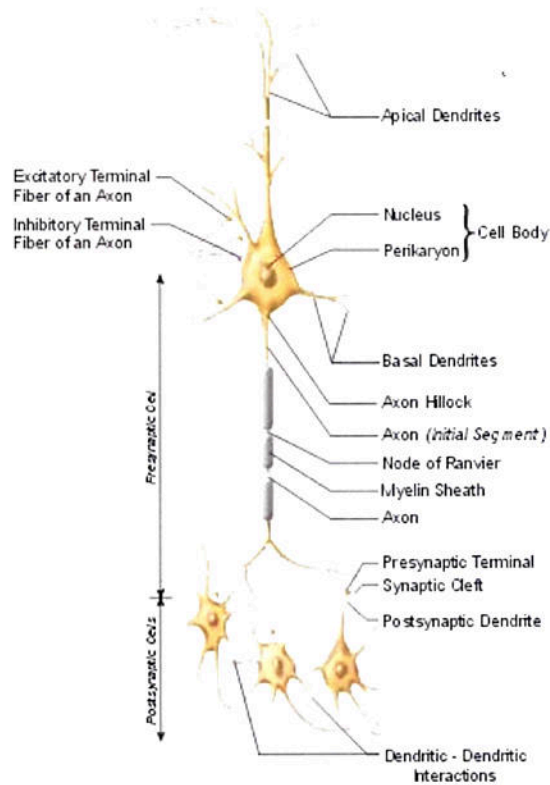


Fig.5. En las células piramidales se ven las conexiones de axón a dendrita. Las conexiones de dendrita a dendrita se ven abajo de la gráfica.

Hameroff propone que las neuronas no se encuentran en un estado antagónico de “excitación- inhibición” equivalente al “0” o “1” o bits en las teorías informáticas, sino en ambos estados a la vez o “0” y “1” lo que corresponde al procesamiento cuántico de información donde la unidad básica informativa es el “qubit” o el estado de “0” y “1” a la vez. Esta composición aumenta significativamente el poder de procesamiento y la capacidad de memoria.

Los Microtúbulos, como indica el término, son formaciones microscópicas distribuidas a lo largo de las neuronas como tubos compuestos de trece filamentos de proteínas llamadas tubulinas. El punto clave para que tenga lugar el proceso cuántico es la “conformación proteínica” que es un proceso de rotación y cambio de forma de cada

proteína. Las proteínas son cadenas complejas de aminoácidos y el proceso de conformación proteínica es impredecible en la práctica, lo que hace que el proceso informativo sea no computable. Este proceso es acompañado por los mecanismos cuánticos como el condensado de Bose- Einstein, el mecanismo de Frohlich y las fuerzas de London cuya explicación queda fuera de la competencia de este trabajo.

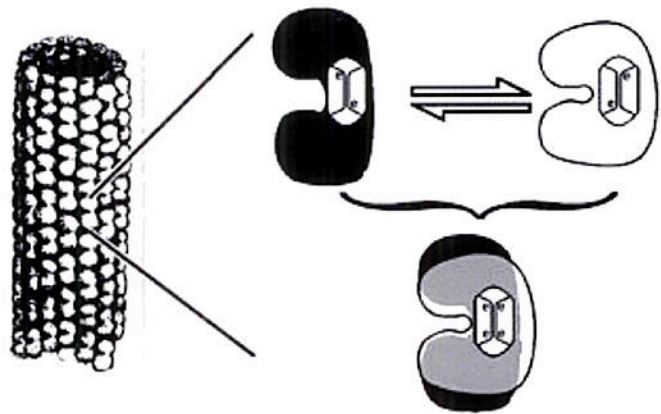


Fig.6. Los Microtúbulos son estructuras intracelulares de las neuronas compuestas de trece filamentos de las proteínas de tubulin (a la derecha).

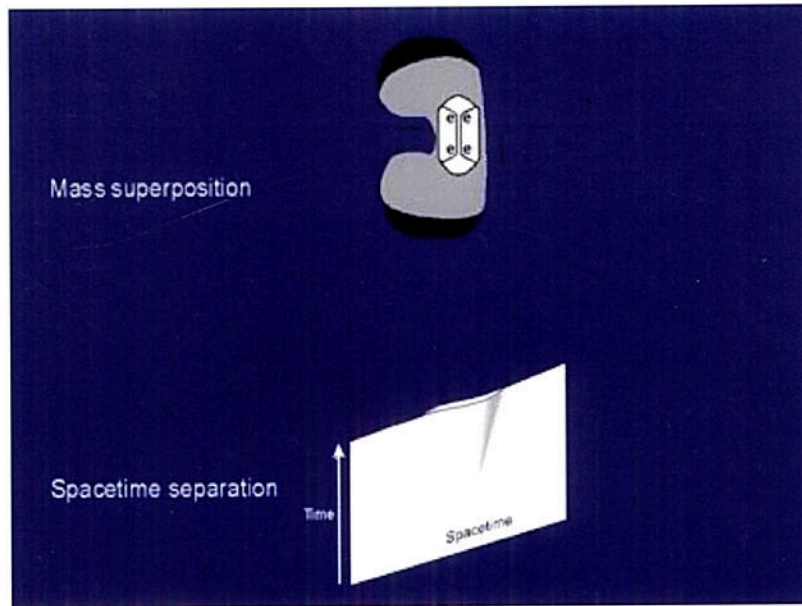


Fig.7. De acuerdo con la teoría de la relatividad general de Einstein la masa es equivalente a la curvatura en la geometría temporoespacial. Penrose la aplica a nivel de la escala de Planck. El movimiento de dos estados conformacionales de un objeto microscópico como tubulin visto arriba se desdobra a la semejanza de dos hojas cóncavas.

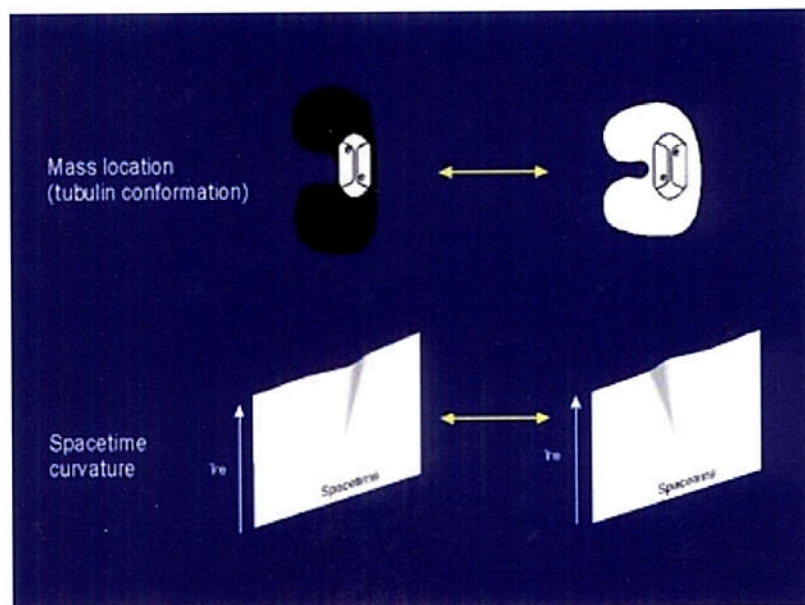


Fig.8. La superposición de la masa. Una proteína ocupando dos estados conformacionales diferentes simultáneamente (arriba) es equivalente, de acuerdo con Penrose, a la curvatura simultánea en direcciones opuestas en el espacio-tiempo- una separación a nivel de la geometría espaciotemporal.

Aquí cabe hacer varios comentarios. Primero, el sistema nervioso central posee la suficiente cantidad de neuronas para explicar la complejidad procesal del cerebro. Segundo, según las críticas a la propuesta de Hameroff la teoría cuántica es innecesaria para explicar el funcionamiento cerebral, ya que este puede deberse precisamente a la complejidad del sistema y no a los supuestos mecanismos cuánticos. Tercero, queda muy comprometida la explicación del funcionamiento cuántico dentro de un ambiente biológico. Como se sabe, los procesos cuánticos requieren de las temperaturas cercanas al cero absoluto, son muy inestables y frágiles y dentro de un medio líquido y ruidoso (las neuronas poseen ruidos: a) ruido de los cambios termales del agua intracelular; b) ruido electrofisiológico-); son sometidos a la decoherencia o la disipación, si lo expresamos en términos de la física clásica.

Hameroff defiende su teoría apelando a un argumento bastante débil: durante cuatro mil millones de años de la evolución de la sustancia biológica deben haber desarrollado unos mecanismos que aislen a los microtúbulos de la influencia del ambiente a la manera que lo hace la cinta aisladora con los cables eléctricos. No especifica que mecanismos son exactamente además de los ya mencionados en los párrafos anteriores. En cuanto al ambiente líquido responde que las células poseen líquidos con espesor de un aceite- no existe como agua pura como nosotros lo imaginamos. Al transportar sustancias e impulsos eléctricos el líquido intracelular se solidifica periódicamente dependiendo de la operación por realizar y alcanza el estado de gel lo que es comprobado experimentalmente. En cuanto al

ruido intracelular, propone que este ruido produce la energía que facilita los procesos cuánticos y el ruido electrofísico se neutraliza promediando las frecuencias de las ondas dentro de las células.

Aquí finaliza el análisis de la teoría de Hameroff, ya que su explicación técnica y detallada cae muy lejos fuera del campo de la psicología. La teoría de Hameroff aporta poco para la psicología en el esclarecimiento de la actividad mental y, en lo referente al campo de la neurofisiología, no queda claro que ventajas posee frente a los conceptos consensuados y tradicionales del funcionamiento cerebral.

IX. ANÁLISIS Y SÍNTESIS DEL MATERIAL.

El estudio del problema mente- materia en términos de la física cuántica es un conjunto de las teorías protocientíficas de data reciente. El interés por este estudio surge de la necesidad de los científicos que habían formulado las primeras teorías cuánticas para esclarecer el rol del observador humano en los fenómenos cuánticos. Como se sabe, el peculiar comportamiento de la materia a nivel microfísico enfrentó a los matemáticos y físicos en dos posturas opuestas: el determinismo y el realismo o indeterminismo. Los reiterados experimentos hicieron la explicación indeterminista más plausible. Aunque los resultados experimentales muestran evidencias a favor de dicha postura, siguen en vigencia preguntas de índole ontológica y epistemológica acerca del funcionamiento de la materia a nivel cuántico. En la práctica, las formulaciones probabilísticas funcionan casi con precisión absoluta; sin embargo, poco se sabe acerca del por qué y cómo a nivel microfísico las cosas se comportan de la manera como lo hacen.

Otro problema es encontrar el punto en común entre las dos grandes teorías contemporáneas que explican el funcionamiento físico en distintos niveles (la Teoría cuántica y la Teoría de la Relatividad General). ¿En que umbral crítico la materia a nivel cuántico comienza a obedecer las leyes descritas por teoría de la relatividad general? Actualmente se trabaja intensivamente para reunir las dos teorías en la Teoría del Todo.

Los primeros en plantear hipótesis acerca del funcionamiento mental en términos cuánticos no fueron los psicólogos, ni filósofos. A lo largo del estudio dedicado al tema el autor de este trabajo no ha encontrado ninguna fuente bibliográfica referente a algún psicólogo o un grupo de psicólogos que se haya dedicado al tema, con la excepción del artículo “La psicología y el Principio de Incertidumbre” publicado en internet por Pablo Cazáu de la Universidad de Buenos Aires. Sin embargo, el estudio del problema mente-materia desde el enfoque cuántico parece ser una alternativa digna de atención científica, a pesar de las muchas teorías ya existentes acerca del tema. De cualquier manera, es legítimo introducirla dentro de las opciones-, ya que la dicotomía mente-materia sigue sin resolverse y no existe ninguna corriente teórica que pueda inducir a conclusiones definitivas.

El problema con la explicación de los fenómenos es que nosotros, debido a nuestro mundo tridimensional y separable en objetos, nos creamos la idea de que el mundo realmente funciona así como lo vemos. Nos fiamos en los cinco sentidos para percibir el mundo que nos rodea, formando un conjunto de juicios expresados en términos que deben encajar en el sentido común. Se podría decir que percibimos y manipulamos al mundo en términos de la fenomenología kantiana donde existe un sujeto (yo) y los objetos externos (mundo). Otro rasgo distintivo es la influencia del dualismo cartesiano de “res cogitans” y “res extensa” la que existió durante mucho tiempo como la filosofía de base de las teorías que se han ocupado de la problemática mente-materia. Ante estas limitaciones la creación de una teoría exitosa corroborada experimentalmente es fundamental. De no ser así

nada sabríamos de las leyes de la gravedad los efectos a nivel ultra- e infravioleta, ultra- y supersónico, el campo electromagnético etc. En consideración de quien esto escribe y de acuerdo con su postura personal, la aplicación de una teoría científica es el objetivo final de la ciencia. Las cuestiones filosóficas solo sirven como una guía en la elaboración de las hipótesis científicas. Aquí cabe reformular la afirmación de Stapp mencionada arriba y expresarla en términos nuevos, por lo menos en lo que concierne al tema de estudio de este trabajo: una vez que se encuentre una evidencia empírica de la existencia de los procesos cuánticos en el cerebro la filosofía se hará cargo de sí misma.

Las teorías cuánticas minaron las creencias establecidas al sugerir que la división mente- materia es forzada y sólo es una cuestión de grado. Así, David Bohm propuso que la materia posee propiedades mentales y la división neta no existe, existen niveles de sutilidad de lo mental o, por el contrario, de lo material, ya que la materia, según él, posee propiedades mentales. Se propuso la existencia de una realidad última donde todos los fenómenos existentes en el Universo a cierta escala son relacionados entre sí. Penrose y Hameroff ven en la matriz o métrica espacio-temporal la realidad -última. Hameroff, en su momento, hizo un comentario acerca de que Dios, del quien hablan todas las religiones universales monoteístas, es la misma métrica espacio-temporal. Von Neumann y Wigner ven el Universo como campo informativo y no sustancial. Asimismo la filosofía de base la que se aplicaría dentro de la corriente cuántica, según la propuesta de

Chalmers, es el panpsiquismo (Spinoza, 1677), panexperencialismo (Whitehead, 1920) o pan- protopsiquismo (Chalmers, 1995).

Según la teoría cuántica, la medida básica ínfima existente en la naturaleza - “el cuanto” o “cuántum” de energía- corresponde a una medida de escala de Planck que es tan pequeña como un trozo de tiza en relación con el tamaño de nuestra galaxia (la Vía Láctea). La mayoría de los científicos que trabajan en el campo de la física cuántica adhiere ya sea a la postura indeterminista o a la realista, lo que quiere decir que reconocen que las paradojas de la materia a nivel cuántico son el comportamiento real de la misma. Este punto de vista fue cuestionado por Einstein con su postura determinista, la que sugiere que no poseemos el conocimiento suficiente para explicar dichos fenómenos y que la teoría cuántica es incompleta.

Trabajando dentro del campo del problema mente- materia aceptemos provisoriamente la postura indeterminista. Aceptemos también que lo mental tiene su manifestación en nuestro mundo regido por leyes de la física newtoniana a través del funcionamiento cerebral que es la estructura gruesa- un soporte o “hardware” de la información que es una estructura fina o “software”. Por fin, se propone una hipótesis según la cual el cerebro entero o en parte funciona según las leyes de la física cuántica y la actividad mental o el procesamiento informativo también funcionan según esas leyes. ¿ Cómo funciona?

La información depositada en el cerebro se basa en las experiencias anteriores, las que adquieren a través de un constante colapso de la función onda- partícula. Los cerebros de los seres humanos permanecen en

constante superposición de estados. Es un proceso de una pregunta constante, aún cuando uno cree que no hace ninguna pregunta. El ser humano en su interacción con el medio permanentemente se plantea preguntas o, más bien, el medioambiente cotidiano obliga a los humanos plantear preguntas y buscar respuestas. La constante observación o permanencia en el mundo hacen que de las múltiples soluciones en potencia a través del colapso de función de onda- partícula surge una única solución o , por lo menos, varias soluciones alternativas, pero definidas y separadas de un conjunto de probabilidad. Sería como en la ruleta donde de treinta siete números probables la bolita “elige” uno solo. La diferencia es que la mente humana, según la hipótesis de Penrose, por lo general no funciona ni al azar, ni de la manera determinista por completo, sino existe un factor no computacional que influye en la toma de las decisiones. Nótese que los seres humanos perfectamente toleran la ambigüedad y los conflictos donde las respuestas “sí” o “no” conviven perfectamente a través de los años. No es así con una computadora clásica la que exige de un “sí” o un “no” unívoco. Las computadoras cuánticas, donde las repuestas antagónicas, como en el ejemplo anterior, son almacenadas en una unidad informativa básica llamada “qubit” están en camino, aunque solo se logró hasta ahora retener escasos qubits de información. Los optimistas dicen que el diseño de la computadora cuántica solo es cuestión de tiempo. Esto implica que en un objeto de un tamaño muy pequeño se podrá almacenar casi infinita cantidad de información. Esto vale para los cerebros humanos: en una porción pequeña del cerebro se almacena una enorme cantidad de



hechos. El problema con el cerebro es que funciona diferente;- es proclive a los titubeos, olvidos, distorsiones. Un psicólogo forense dirá que la memoria de testigos es poco confiable. Aparentemente el cerebro almacena la información que tiene que ver con la necesidad funcional y práctica. Los conocimientos inútiles para la actividad inmediata del sujeto medida en días, semanas, y años se borran. Una persona que antaño hablaba perfectamente inglés puede olvidar en un grado significativo este idioma al pasar diez años sin ejercerlo. Al mismo tiempo esto no quiere decir que los seres humanos son autómatas deterministas (crítica desde la postura indeterminista a los deterministas), que el cerebro está procesando la información constantemente transformándola y elaborando una información nueva. Somos sumamente creativos, a semejanza de la naturaleza, lo que nos hizo salir de las cuevas y subir a una nave espacial.

Otro problema es el correlato biológico de los procesos cuánticos. Stuart Hameroff afirma que los procesos cuánticos ocurren en los microtúbulos de las neuronas hallándose perfectamente aislados de los efectos del medioambiente, lo que impide la decoherencia (la disipación de la energía cuántica al interactuar con el ambiente).

Aunque Jerry Fodor es uno de los opositores de la idea de la plausibilidad de los procesos cuánticos en el cerebro, su modelo modular de la mente encaja perfectamente en esta posibilidad. Se podría igualar los procesos centrales del modelo fodoriano que son isotrópicos y quineanos con un posible funcionamiento mental descrito en términos de las leyes de

la física cuántica. Isotropía: "Se dice que la confirmación científica es isotrópica en tanto en cuanto los datos importantes para la confirmación de una hipótesis científica puedan tomarse de cualquier área del universo de las teorías empíricas (o, por supuesto, demostrativas) previamente establecidas" (Fodor, 1983, p.148). En otras palabras, un sujeto al tratar de buscar una explicación a un fenómeno utiliza todo el conocimiento adquirido durante su experiencia vital. "Se dice que la confirmación científica es quineana en tanto en cuanto el grado de confirmación que se atribuye a una determinada hipótesis es sensible a las propiedades del sistema de creencias en su totalidad." (p.151, 1986). Al adquirir un nuevo conocimiento se cambia el estado global de la estructura cognoscitiva previamente establecida. Por ejemplo, al enterarse que la capital de Bhután es Thiphu no dice solamente al sujeto que se almacenó un dato geográfico nuevo, sino este conocimiento reestructura el marco preestablecido previamente a nivel global (¡Ah, existe, algo llamado Bhután: ¿ que es esto- un gas, un nombre, un país etc.?) La naturaleza isotrópica y quineana de los procesos centrales correspondería a los mecanismos de superposición, enlazamiento y el salto cuántico. Otras de las propiedades del funcionamiento cuántico que se asemejan a las propiedades mentales es el enlazamiento y el salto cuántico.

Enlazamiento. Como se sabe el cerebro funciona fundamentalmente por asociación. Cuando una persona pronuncia una palabra la puede oír, comprender y también visualizar en su imaginación. Es decir, un conjunto total tiene sus representantes en distintas partes de cerebro: se activa el

área de Broca, de Wernicke, el área auditiva y visual de la corteza cerebral simultáneamente.

Salto cuántico. Habitualmente las soluciones no llegan de la manera paulatina o lineal, sino en porciones y repentinamente. Cuando uno se plantea la pregunta la respuesta llega de repente: “¿Qué hora es? ¡Son las cinco de la tarde!” La respuesta no llega de esta manera: “Son las..”, agregando en cinco minutos “...cinco...” y a las tres horas “...de la tarde...” salvo que quien la responda tuviese alguna patología psíquica. Por último, tendría lugar en el cerebro el proceso que respetaría el Principio de Incertidumbre. El pensamiento humano o el tratamiento informativo se desarrolla en cascadas en movimiento constante. La idea deambula, divaga, corre en búsqueda de una solución. Aún cuando uno está concentrado en una tarea específica o cuando piensa que no está pensando en nada el pensamiento fluye, se pasa a otras ideas. Si uno quiere pensar en lo que está pensando ya deja de pensar en el objeto original. Es aquí donde uno puede precisar más o menos cuanto duró el pensamiento en un determinado tema, pero no puede captar el preciso momento cuando tal o cual idea se le ocurrió. Se puede hacerlo poniendo “stand by” en el control remoto de una videograbadora, se puede captar el momento con un aparato de fotos u obtener una imagen fija en la pantalla de una computadora, pero es imposible hacerlo en nuestras mentes.

Para resumir este capítulo se proponen una serie de hipótesis que van a culminar este trabajo.

H1: El Universo posee la realidad última expresada a través de la métrica espacio- temporal (formulaciones de Einstein en su teoría de la Relatividad General).

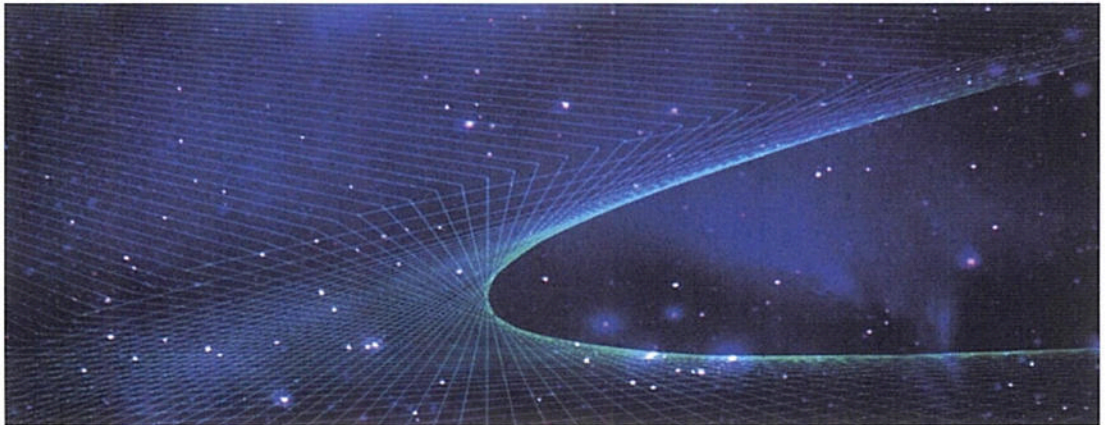


Fig.9. La métrica espacio - temporal de Einstein describe la curvatura del tiempo y espacio a grandes escalas.

H2: A nivel básico de la materia existen porciones de información expresadas en cuántos de energía- una porción mínima de la materia posee la medida en orden de 10^{-33} cm (la escala de Planck).

H3: No existe división neta entre las nociones mente- materia. Estos términos son referentes semánticos de la realidad única.

H4: Existen niveles de sutilidad a través de los cuales la materia se manifiesta (niveles biológico, químico, atómico, cuántico, sub- cuántico etc.).

H5: Los procesos mentales funcionan a nivel relativamente sutil de la materia: menos sutil que el nivel biológico y químico y más grueso que el nivel sub- cuántico.

H6: Los procesos mentales tienen su correlato en el cerebro- el nivel grueso de la materia (nivel biológico).

H7: Los procesos mentales funcionan de acuerdo con las leyes de la física cuántica (coherencia-decoherencia, función onda- partícula (Principio de Complementariedad), Principio de Incertidumbre, enlazamiento, salto cuántico, colapso de función onda- partícula, superposición de estados etc.).

H8: La mente humana no funciona ni al azar, ni según las leyes deterministas, sino que posee un factor no computacional (la propuesta de Penrose).

X. CONCLUSIONES.

El objetivo principal de este trabajo es introducir los conceptos de la física cuántica en el terreno de la psicología con el fin de describir y explicar el funcionamiento mental y su relación con la materia. A lo largo de preparación de este trabajo quien lo escribe no ha encontrado referencia bibliográfica alguna acerca del tema dentro del ámbito de la psicología. Todas las fuentes consultadas provienen de la mano de los científicos que se desempeñan dentro del campo de la filosofía, la cibernética, la física y la biología. Por eso el autor de este trabajo decidió investigar el tema, ya que sintió que este trabajo es necesario para considerarlo dentro del campo de la psicología por la sencilla razón de que el estudio de la mente constituye el objetivo de la psicología. Estos estudios hasta ahora no han contemplado la incorporación de los conceptos de la física cuántica. A lo largo de la historia de la psicología se ha recurrido a múltiples modelos y metáforas de la mente. Este trabajo no ha tenido previsto la elaboración de un modelo más de la mente, sino que sirve de introducción general al problema mente–materia en términos de la física cuántica, con la formulación de una serie de hipótesis. La estructura del trabajo incluye una breve introducción acerca del tema de estudio y los problemas actuales de estudio de la mente en términos de la física cuántica. Se ha hecho una presentación general de las teorías de la física cuántica con el fin de familiarizar con el campo a un lector que desconoce dichas teorías incluyendo un glosario de los términos claves de la física cuántica. Se han mencionado antecedentes históricos y

filosóficos que precedieron el estudio del problema de mente–materia en términos de la física cuántica con la posterior descripción de algunas posturas más influyentes entre los científicos que se están dedicando al tema.

El estudio del problema mente–materia en términos de la física cuántica constituye un conjunto de teorías protocientíficas que han aparecido en el campo de la ciencia hace muy poco tiempo y apenas cuentan con medio siglo de antigüedad. Son cuestionadas por sus opositores, aunque ofrecen una visión alternativa del problema mente–materia. Si bien, son fuertemente cuestionadas, parece que es todavía prematuro celebrar su deceso. En el campo de informática se habla de diseñar las computadoras cuánticas, cuya aparición revolucionaría no solo el mundo científico, sino también nuestra vida cotidiana. La explicación del problema mente–materia desde la postura cuántica podría ser una buena alternativa a las teorías ya existentes, viéndola desde la óptica kuhniana: ante la crisis de un paradigma dominante se busca una propuesta alternativa que lo supere. El tiempo dirá.

BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA

- Bohm, D. (1980), *Wholeness and the Implicate Order*, London, Routledge and Kegan Paul.
- Bohm, D. and Hiley B. J. (1993), *The Undivided Universe*, Routledge, New York, N.Y.
- de la Torre, A. (1992), *Física cuántica para filo - sofos*, Buenos Aires, F.C.E.
- Fodor, J. (1983), *La modularidad de la mente*, Ediciones Morata, Madrid, 1986.
- Hameroff, S. R. (1987), *Ultimate Computing: biomolecular consciousness and nanotechnology*. Elsevier Science Publishers, B.V.
- Hameroff, S. R. (1998), *Funda-mentality: is the conscious mind subtly linked to a basic level of the universe?* Trends in Cognitive Science2(4)119-127.
- Hameroff, S. R., and Penrose, R. (1995), *Orchestrated reduction of quantum coherence in brain microtubules: A model for consciousness*. Neural Network World 5 (5) 793-804.
- Penrose, R. (1989), *La nueva mente del emperador*. Mondadori, Madrid, 1991.
- Penrose, R. (1994), *Las sombras de la mente*. Crítica, 1996.
- Penrose, R. (1993), Gravity and quantum mechanics. In *General Relativity and Gravitation, Proceedings of the Thirteenth International Conference on General Relativity and Gravitation* held at Cordoba, Argentina 28 June-4 July 1992. Part 1: Plenary Lectures., R. J. Gleiser, C. N.

Kozameh and O. M. Moreschi (eds.) Institute of Physics Publications, Bristol.

Stapp, H. P. (1986), Einstein time and process time. In *Physics and the Ultimate Significance of Time*, D. R. Griffin (ed.) State University Press, New York, N.Y.

Stapp, H. P. (1997), Non-local character of quantum theory. *Amer. J. Phys.* 64, 300-304.

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

Bohm, D. (1984), *Causality and Chance in Modern Physics*, London, Routledge and Kegan Paul (new edition of work first published by RKP. in 1957).

Bohm, D. (1980), *Wholeness and the Implicate Order*, London, Routledge and Kegan Paul.

Bohm, D. and Hiley B. J. (1993), *The Undivided Universe*, Routledge, New York, N.Y.

Chalmers, D. J. (1996), *The Conscious Mind*. Oxford University Press, New York, N.Y.

Chalmers, D. (1996), *Toward a Theory of Consciousness*. Berlin, Springer-Verlag.

de la Torre, A. (1992), *Física cuántica para filo-sofos*, Buenos Aires, F.C.E.

- Deutsch, D. (1989), *Quantum computational networks*. Proceedings of the Royal Society of London, Series A (8 Sept.1989) vol.425, no.1868, pp. 73-90.
- Deustch, D. (1997), *The Fabric of Reality*, Ed. Viking Penguin Publishers, London.
- Everett, H. (1957), *Relative state formulation of quantum mechanics*. In *Quantum Theory and Measurement*, J.A. Wheeler and W.H. Zurek (eds.) Princeton University Press, 1983; originally in Rev. Mod. Physics, 29:454-462.
- Everett, H. (1973), The theory of the universal wave function. In *The Many-worlds Interpretation of Quantum Mechanics*, B. S. DeWitt and N. Graham (eds.) Princeton University Press, Princeton, N.J., 64.
- Fodor, J. (1983), *La modularidad de la mente*, Morata, Madrid, 1986.
- Frohlich, H. (1968), *Long-range coherence and energy storage in biological systems*. Int. J. Quantum Chem. 2:641-9.
- Hameroff, S. R. (1987), *Ultimate Computing: biomolecular consciousness and nanotechnology*. Elsevier Science Publishers, B.V.
- Hameroff, S.R.(1998), *Funda-mentality: is the conscious mind subtly linked to a basic level of the universe?* Trends in Cognitive Science2(4), 119-127.
- Hameroff, S. R., and Penrose, R. (1995), *Orchestrated reduction of quantum coherence in brain microtubules: A model for consciousness*. Neural Network World 5 (5) 793-804.

- Heisenberg, W. (1926). *Undecidability Principia of Quantum Materia*.
London.
- Penrose, R. (1989), *La nueva mente del emperador*. Mondadori, Madrid,
1991.
- Penrose, R. (1994), *Las sombras de la mente*. Crítica, 1996
- Penrose, R. (1993), Gravity and quantum mechanics. In *General Relativity
and Gravitation, Proceedings of the Thirteenth International Conference
on General Relativity and Gravitation* held at Cordoba, Argentina 28
June-4 July 1992. Part 1: Plenary Lectures., R. J. Gleiser, C. N.
Kozameh and O. M. Moreschi (eds.) Institute of Physics Publications,
Bristol.
- Planck, M. (1935), Quantum Theory and Measurement. *Princeton University
Press*.
- Pylkkanen P. et. al. eds. (1997), *Brain, Mind and Physics*, IOS Press,
Amsterdam.
- Schrodinger, E. (1935), Die Gegenwärtige Situation in der
Quantenmechanik. *Naturwissenschaften*; 23: 807-812.
- Stapp, H. P. (1986), Einstein time and process time. In *Physics and the
Ultimate Significance of Time*, D. R. Griffin (ed.) State University Press,
New York, N.Y.
- Stapp, H. P. (1997), Non-local character of quantum theory. *Amer. J. Phys.*
64, 300-304.
- Stapp, H. P. (1998), Meaning of counterfactual statements in quantum
physics. *Amer. J. Phys.* 66, 924-926.

- Vitiello, G. (1995), Dissipation and memory capacity in the quantum brain model, *International Journal of Modern Physics B*9, pp. 973-989.
- Von Neumann, J. (1932), *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*, Springer-Verlag, Berlin (Engl. tr. by Princeton University Press, Princeton, N.J., 1955).
- Wheeler, J. A. (1990), Information, physics, quantum: The search for links. In *Complexity, Entropy, and the Physics of Information*, W. Zurek (ed.) Addison-Wesley.
- Wigner, E. (1961), The probability of the existence of a self-reproducing unit, in *The Logic of Personal Knowledge* ed. M. Polyani (London: Routledge & Paul) pp. 231-238.