

Mente-Materia y Mecánica Cuántica

Se aborda la relación mente-cerebro, desde la perspectiva de la física cuántica, para llegar a las funciones mentales más esenciales, la conciencia y el pensamiento. Las teorías que explican el mecanismo responsable de la conciencia en los seres humanos, aún está en sus inicios, aunque en un vertiginoso desarrollo. Siendo éste un campo idóneo para proponer nuevas teorías, con diferente grado de respaldo teórico y/o experimental. En los últimos años, se han expuesto diversos modelos que pretenden explicar el fenómeno de la conciencia usando como herramienta fundamental la mecánica cuántica. Se estudia el Modelo Microtubular de Hameroff-Penrose, estando presente en el Microtúbulo la transmisión de las señales eléctricas, estudiadas a partir de la Mecánica Cuántica. Es así, que las leyes físicas explicarían cómo el cerebro programa y procesa la información para la interpretación y correspondiente toma de decisiones (coherencia neuronal), o para mantener el funcionamiento de los sistemas metabólicos esenciales, necesarios asegurar la supervivencia y desarrollo del ser humano.



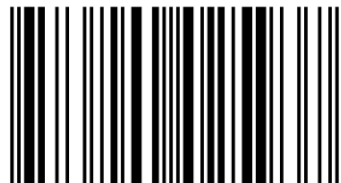
Licenciado en Física de la UNT, Perú. Magíster en Ciencias Físicas en la Línea de Cosmología y Gravitación de la Universidad del Bío-Bío (UBB), Concepción-Chile. Docente - Investigador del Grupo de Inv. Cosmología y Partículas Elementales de la UBB (2017-2018). Doctorando en Física en la UNI-Perú, subvencionado por la Beca Banco Mundial-Concytec.



Carlos Edgardo Rodríguez Benites

Mente-Materia y Mecánica Cuántica

La relación entre la mente, la materia y el pensamiento, con la mecánica cuántica



978-620-0-02593-7

editorial académica española

Carlos Edgardo Rodríguez Benites

Mente-Materia y Mecánica Cuántica

FOR AUTHOR USE ONLY

Carlos Edgardo Rodriguez Benites

Mente-Materia y Mecánica Cuántica

La relación entre la mente, la materia y el pensamiento, con la mecánica cuántica

FOR AUTHOR USE ONLY

Editorial Académica Española

Imprint

Any brand names and product names mentioned in this book are subject to trademark, brand or patent protection and are trademarks or registered trademarks of their respective holders. The use of brand names, product names, common names, trade names, product descriptions etc. even without a particular marking in this work is in no way to be construed to mean that such names may be regarded as unrestricted in respect of trademark and brand protection legislation and could thus be used by anyone.

Cover image: www.ingimage.com

Publisher:

Editorial Académica Española

is a trademark of

International Book Market Service Ltd., member of OmniScriptum Publishing Group

17 Meldrum Street, Beau Bassin 71504, Mauritius

Printed at: see last page

ISBN: 978-620-0-02593-7

Copyright © Carlos Edgardo Rodríguez Benites

Copyright © 2019 International Book Market Service Ltd., member of
OmniScriptum Publishing Group

FOR AUTHOR USE ONLY

DEDICATORIA

A mi familia, por todo el apoyo y la confianza que depositaron en mí durante todo el periodo de mi formación académica profesional, a pesar de la distancia.

En especial, quisiera dedicarle este arduo trabajo de investigación a mi madre Mirta Benites Reyes, siempre me motivó a seguir adelante y cumplir mis metas a pesar de las adversidades.

Gracias.

AGRADECIMIENTO

A todas aquellas personas que con su ayuda colaboraron a la realización del presente trabajo de investigación, en especial a mi asesor y amigo Mg. Gustavo Roberto Rojas Alegría, por su orientación, seguimiento y supervisión continua, deseo destacar su inmensa motivación y apoyo recibido a lo largo del desarrollo del presente. Así mismo deseo dar las gracias al Dr. Johann Heinz Martínez Huartos, por su invaluable apoyo y asesoría en la obtención de los resultados del presente trabajo.

Es propicio el momento para dar las gracias a mi familia y amigos, por su incondicional apoyo en todo momento.

A todos ellos, mi gratitud siempre.

Carlos E. Rodríguez

ABREVIATURAS

MTs: Microtúbulos

IA: Inteligencia Artificial

RM: Resonancia Magnética

RMf: Resonancia Magnética Funcional

RHD: Respuesta Hemodinámica

EEG: Electroencefalografía

MEG: Magnetoencefalografía

NIRS: Espectrografía en el Infrarrojo Cercano (near-infrared spectroscopy)

EMT: Estimulación Magnética Transcraneal

PET: Tomografía por Emisión de Positrones (Positron Emission Tomography)

EMN: Eventos Mentales y Neurales

CBE: Condensación de Bose - Einstein

MC: Mecánica Cuántica

GTP: Guanosina Trifosfato

GDP: Guanosina Difosfato

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Los cuatro lóbulos de la neocorteza cerebral se encargan de funciones distintas, aunque relacionadas.

Figura 2. Uniones sinápticas que incluyen espinas dendríticas.

Figura 3. Diagrama de una neurona.

Figura 4. Proceso de relajación longitudinal o T1

Figura 5. Proceso de relajación transversal o T2

Figura 6. Magnetoencefalografía (MEG)

Figura 7. Representaciones esquemáticas de los componentes generales de una onda de un haz de luz señalando su amplitud y su longitud (A) y de la localización del espectro cercano al infrarrojo (NIRS) dentro del espectro general de la luz (B).

Figura 8. Representación de las propiedades de absorción (línea amarilla), transmitancia (línea roja) y reflectancia (línea verde) que pueden tener los componentes moleculares de un objeto que es incidido por un haz de luz del espectro cercano al infrarrojo. La transfectancia es un efecto combinado del análisis de la reflectancia y la transmitancia.

Figura 9. Diagrama esquemático de un estimulador magnético estándar (pulsos simples).

Figura 10. Aplicación del EMT

Figura 11. Distribución de los campos eléctricos inducidos por una bobina de estimulación circular (superior) y una bobina en forma de 8 (inferior)

Figura 12. Imágenes de PET, en secciones axiales o transversales, que muestran la activación en algunas áreas cerebrales, marcadas de color rojo-amarillo.

Figura 13: esquema de desintegración

Figura 14: Esquema de un escáner PET

Figura 15. Fisiología del Microtúbulo. Se muestran las dimensiones de los diámetros y de los Dímeros.

Figura 16. Doble pozo cuadrado donde se muestran las tubulinas y el electrón libre en el sistema.

Figura 17. La relación inversa entre el coeficiente de trasmisión y la cantidad de dímeros.

Figura 18. Relación directa entre el coeficiente de reflexión y la cantidad de dímeros.

RESUMEN

En el presente trabajo, se abordó la relación mente-cerebro, desde la perspectiva de la física cuántica, para llegar a las funciones mentales más esenciales, la conciencia y el pensamiento. Las teorías que explican el mecanismo responsable de la conciencia en los seres humanos, aún está en sus inicios, aunque en un vertiginoso desarrollo. Siendo éste un campo idóneo para proponer nuevas teorías, con diferente grado de respaldo teórico y experimental. En los últimos años, se han expuesto diversos modelos que pretenden explicar el fenómeno de la conciencia con la utilización, como herramienta fundamental, de la mecánica cuántica (MC). Siendo así, se discuten las teorías de John Eccles, Dana Zohar y Roger Penrose, cuyo único punto en común es la utilización de la MC. Se introducen algunos conceptos y el funcionamiento de la mente y el cerebro, así como las leyes físicas de la MC. Se desarrollan las tres teorías, según las exponen sus autores, y se discute estas a la luz de los conocimientos actuales de la neurociencia. Posteriormente, se abordó ampliamente el Modelo Microtubular de Hameroff-Penrose, estando presente en el Microtúbulo la transmisión de las señales eléctricas, estudiadas a partir de la Mecánica Cuántica. Finalmente, se concluye que si es posible estudiar la relación mente- cerebro y pensamiento, vista desde la mecánica cuántica, esto es, las leyes físicas explicarían cómo el cerebro programa y procesa la información para la interpretación y correspondiente toma de decisiones (coherencia neuronal), o para mantener el funcionamiento de los sistemas metabólicos esenciales, necesarios asegurar la supervivencia del ser humano.

Palabras clave: mente-cerebro, mecánica cuántica, microtúbulo, coherencia neuronal, neurociencia.

ABSTRAC

In the present work, the mind-brain relationship, from the perspective of quantum physics, was approached to reach the most essential mental functions, consciousness and thought. Theories that explain the responsible mechanism of consciousness in humans, is still in its infancy, although in a vertiginous development. This being a suitable field to propose new theories, with different degree of theoretical and experimental support. In recent years, several models have been exposed that attempt to explain the phenomenon of consciousness with the use, as a fundamental tool, of quantum mechanics (MC). Thus, the theories of John Eccles, Dana Zohar and Roger Penrose, whose only common point is the use of MC, are discussed. It introduces some concepts and functioning of mind and brain, as well as the physical laws of CM. The three theories are developed, as exposed by their authors, and are discussed in the light of current knowledge of neuroscience. Subsequently, the Hameroff-Penrose Microtubular Model was extensively discussed, with the transmission of the electrical signals, studied from Quantum Mechanics, present in the Microtubule. Finally, it is concluded that if it is possible to study the relation mind-brain and thought, seen from quantum mechanics, that is, physical laws would explain how the brain programs and processes information for interpretation and corresponding decision making (neuronal coherence) , Or to maintain the functioning of the essential metabolic systems, necessary to ensure the survival of the human being.

Key words: mind-brain, quantum mechanics, microtubules, neuronal coherence, neuroscience.

INDICE

	PP
Portada	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Abreviaturas	iv
Lista de Figuras	v
Resumen	vi
Abstrac	vii
Índice	viii
Introducción	x

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1. El mundo ¿creación del cerebro?	1
1.1. ¿Qué es la mente?	1
1.1.1. La conciencia y el pensamiento	2
1.2. El cerebro	2
1.2.1. Fisiología y funciones del cerebro	2
1.2.2. La física del cerebro	4
1.2.3. Plasticidad cerebral	6
1.2.4. ¿Cómo funcionan las señales nerviosas?	8
1.3. ¿Dónde se ubica la conciencia?	9
1.3.1. Las bases físicas de la conciencia	12
2. La física de la mente	15
2.1. La mente vista desde los principios físicos	15
2.1.1. David Bohm. Una nueva teoría de la relación de mente y materia.	15
2.1.2. Bertrand Russell. El conocimiento humano: Mente y materia.	16
2.1.3. El modelo cuántico de la conciencia de Penrose y Hameroff.	16
2.1.4. Steven Weinberg. Explicar el nuevo mundo	16
3. Tecnología y técnicas de investigación del funcionamiento del cerebro.	17
3.1. Resonancia Magnética Funcional	17
3.2. Magnetoencefalografía (MEG)	22
3.3. Espectrografía en el Infrarrojo cercano (NIRS)	26
3.4. Estimulación magnética transcraneal (EMT)	29

3.5. Tomografía por Emisión de Positrones (PET)	35
4. Teorías Mecanocuánticas de la Conciencia	39
4.1. Interacción dualista entre el alma y el cuerpo (John Eccles)	40
4.2. Teoría de la conciencia como condensación de Bose – Einstein (Dana Zohar)	42
4.3. Teoría de la conciencia como coherencia microtubular (Roger Penrose)	44
5. Microtúbulos y Mecánica Cuántica	45
5.1. Coherencia Neural	45
5.2. Microtúbulos (MTs)	48
5.3. Un modelamiento cuántico	50
5.3.1. Propiedades Semiconductoras	50
5.4. Transporte de Señales Eléctricas en MTs	53
CAÍTULO II. MATERIAL Y MÉTODO	55
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	56
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
4.1. Conclusiones	66
4.2. Recomendaciones	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

INTRODUCCIÓN

En la mayor parte de la historia fuimos incapaces de describir y explicar el funcionamiento de nuestra mente. Los antiguos egipcios, a pesar de todos sus grandes logros en las artes y las ciencias, creían que el cerebro era un órgano inútil y se deshacían de él cuando embalsamaban a sus faraones. Aristóteles estaba convencido de que el alma residía en el corazón, no en el cerebro, cuya única función era la de refrigerar el sistema cardiovascular. Otros, como Descartes, creían que el alma entraba en el cuerpo a través de la minúscula glándula pineal del cerebro. Pero, como carecían de toda evidencia sólida, ninguna de estas teorías se podía demostrar. Esta “época oscura” se prolongó durante miles de años.

El cerebro pesa únicamente alrededor de kilo y medio, sin embargo es el objeto más complejo del sistema solar. Aunque supone tan solo el 2 por ciento del peso corporal, su apetito es insaciable y consume un 20 por ciento de nuestra energía total (en los recién nacidos, el cerebro consume un pasmoso 65 por ciento de su energía total), mientras que un 80 por ciento de nuestros genes codifican características del cerebro. Se calcula que dentro de la cavidad craneal existen cien mil millones de neuronas, y un número exponencialmente mayor de conexiones neuronales y vías nerviosas. El estudio del cerebro ha sido y es abordado desde diferentes puntos de vista, por psicólogos, neurólogos, fisiólogos, y los físicos no son ajenos al estudio de este fascinante objeto de la naturaleza. Así, **Schrödinger** en su libro **Mente y Materia**, plantea: “...El mundo es una construcción de nuestras sensaciones, percepciones y recuerdos. Conviene considerar que existe objetivamente por sí mismo. Pero no se manifiesta, ciertamente, por su mera existencia. Su manifestación está condicionada por acontecimientos especiales que se desarrollan en lugares especiales de este mundo nuestro, es decir por ciertos hechos que tienen lugar en un cerebro. Se trata de un tipo muy peculiar de implicación, que sugiere la siguiente pregunta: ¿qué propiedades específicas distinguen estos procesos cerebrales y los capacita para producir esta manifestación? ¿Podemos averiguar qué procesos materiales tienen esa capacidad y cuáles no? O más simplemente: ¿qué clase de procesos materiales están directamente relacionados con la conciencia?” [1]

El gran **Físico Teórico Michio Kaku**, en su libro **El futuro de nuestra mente**, plantea: “... Me gustaría hacer hincapié en que no soy neurocientífico. Soy un físico teórico

interesado desde siempre por la mente. Espero que el punto de vista de un físico pueda contribuir a enriquecer nuestro conocimiento y ofrezca una nueva perspectiva sobre el objeto más familiar y más ajeno del universo: nuestra mente. Teniendo en cuenta el ritmo vertiginoso al que se desarrollan las nuevas perspectivas, es importante que entendamos bien cómo está estructurado el cerebro. Empecemos, pues, por estudiar los orígenes de la neurociencia moderna, que, según algunos historiadores, comenzó cuando una barra de hierro atravesó el cerebro de un tal Phineas Gage. Este acontecimiento fundacional dio lugar a una reacción en cadena que contribuyó a la investigación científica rigurosa del cerebro. Aunque para el señor Gage fue una desafortunada circunstancia, marcó el camino para la ciencia moderna.” [2]

Así mismo, respecto al dominio de la mente, **Michio Kaku**, en su mismo libro, manifiesta que la exploración de la mente aún sigue siendo un misterio, puesto que “... cuando nos piden que la describamos y la expliquemos, con frecuencia nos faltan las palabras”. [2]

Otro gran físico teórico, David Bohm, en su artículo **Una nueva teoría de la relación de mente y materia**, nos dice: “... La analogía entre la mente y la materia esta por tanto muy cercana. Esta analogía conduce a la propuesta de las líneas generales de una nueva teoría de la mente, la materia y su relación, en la que la idea básica es la participación en lugar de interacción. Aunque la teoría se puede desarrollar matemáticamente con más detalle, el énfasis principal aquí es mostrar cualitativamente cómo proporciona una forma de pensar que no divide la mente de la materia, y por lo tanto conduce a una comprensión más coherente de estas cuestiones que es posible en los enfoques comunes dualistas y reduccionistas.”[3]

La relación entre los procesos mentales y físicos de la realidad, es un problema trascendente. Descartes hacia una distinción muy clara, la materia ocupa un espacio, mientras que la mente no ocupaba espacio. Al parecer la naturaleza de la mente y de la materia son tan distintos, que no existe relación alguna, sin embargo, la experiencia demuestra que están estrechamente relacionados.

En la actualidad, existen dos problemas esenciales dentro de la física, el conocimiento del universo y el dominio de la mente, en este último han incursionado científicos de todas las áreas, entre estos los físicos teóricos más importantes así como las instituciones

mundiales, sobre la posibilidad de controlar y manipular el cerebro para combatir enfermedades como la depresión, el párkinson o el alzhéimer, entre otras muchas. Entre estas tenemos el proyecto Investigación del Cerebro Mediante la Mejora de Neurotecnologías Innovadoras (BRAIN, por las siglas en inglés: Brain Research Through Advancing Innovative Neurotechnologies), anunciado por el presidente Obama, y el Proyecto Cerebro Humano de la Unión Europea, que tienen previsto dedicar miles de millones de dólares a la descodificación de las vías nerviosas en el cerebro hasta llegar a la escala neuronal. Sin duda, estos dos programas abrirán áreas de investigación completamente nuevas, que nos proporcionarán maneras novedosas de tratar las enfermedades mentales y revelarán también los secretos más profundos de la conciencia.

Al respecto, el divulgador científico **Tomás Unger**, el 09 de Agosto de 2016, en la sección Ciencias del Diario **El Comercio**, nos dice: "... En el 2009, el Gobierno de EE.UU. decidió financiar junto con varias universidades, como las de Harvard, California, Oxford y el Hospital de Massachusetts, un estudio del cerebro llamado el Conectoma Humano. El proyecto se inició en el 2010. Fue definido como la elaboración de un mapa basado en las funciones, conectividad y –sobre todo– en la especialización de las zonas del cerebro. El mapa, que fue entregado el mes pasado por el grupo de trabajo, representa un hito en la neurociencia. Según los expertos, **es espectacular**, ya que contiene casi 100 regiones previamente desconocidas y permite una nueva visión de la forma en que trabaja el cerebro". [4]

El artículo periodístico de Tomás Unger, nos manifiesta que se logró un primer mapa, aunque no describe el cerebro en su totalidad (en realidad un pequeño porcentaje), esto representa un gran avance en la explicación del funcionamiento de diversas regiones del cerebro. Este avance ha sido gracias a los principios físicos aplicados en la tecnología y técnicas en la investigación del funcionamiento del cerebro, como la resonancia magnética, que permite observar el cerebro mientras está funcionando. Frente a este gran avance, se generan muchas expectativas a futuro en la determinación total de un mapa funcional del cerebro. [4]

Este trabajo de investigación tiene como objetivo el desarrollo de un enfoque, que permite describir y explicar una relación inteligible entre la mente y la materia. Este estudio se realizará desde la teoría cuántica, que es actualmente la fundamental teoría de

la naturaleza de la materia. A pesar de que la mente tiene una base material en el cerebro, algunos filósofos de la mente, consideran a la física no relevante para ella. Tales críticas se inspiran, en gran parte, por la creencia que la física se limita a una forma clásica newtoniana, que en esencia última se reduce todo a un mecanismo de algún tipo. Sin embargo, como se explicará, las partículas de la física tienen ciertas cualidades mentales, que no son posibles en términos de los conceptos newtonianos (aunque, por supuesto, ellos no tienen conciencia).

Es por ello, que se plantea el siguiente problema de Investigación: **¿Es posible relacionar los procesos que ocurren en la mente, la materia y el pensamiento, con la mecánica cuántica?**

Frente a esta interrogante se manifiesta la siguiente hipótesis:

Si es posible relacionar los procesos de la mente, la materia y el pensamiento con la mecánica cuántica, puesto que hay una básica similitud entre el comportamiento cuántico de un sistema complejo de electrones y el comportamiento de la mente y sus procesos.

Esta investigación muestra un grupo de teorías que han sobresalido entre otras en los últimos años, estas tienen como base la mecánica cuántica (MC) para explicar la aparición de la Conciencia así como los procesos mentales. Las teorías no comparten un fondo filosófico común, partiremos del dualismo religioso de Eccles, luego el modelo del condensado Bose Einstein, para finalizar abordando el fisicalismo de Penrose. En este trabajo se intenta esclarecer qué grado de coherencia mantienen con el conjunto de conocimiento establecido a este respecto por la Neurociencia. Se van a considerar las teorías de los tres autores siguientes: John Eccles, Dana Zohar, y Roger Penrose, aunque por supuesto no son las únicas posibles. [5]

Para finalmente abordar ampliamente el modelo teórico de Roger Penrose, siendo el objeto cuántico, los microtúbulos (MTs) por sus dimensiones (del orden de los nm), responsables del transporte de las señales eléctricas en el cerebro, demostrándose esta afirmación en este trabajo. [6]

El presente trabajo está organizado de la siguiente manera: en el Capítulo I, se muestra todo el enfoque conceptual y marco teórico necesario para abordar el problema de la relación materia y mente a través de la mecánica cuántica, con el formalismo matemático para este estudio. En el Capítulo II, se hace mención al material y método empleado para la resolución de este problema de investigación. En el Capítulo III, se han colocado todos los resultados obtenidos, haciendo una discusión de estos con lo obtenido por especialistas en esta disciplina; esto es, se obtuvo el coeficiente de transmisión de señales eléctricas en el Microtúbulo, a través del método de la matriz transferencia. Finalmente en el Capítulo IV, se ofrecen las conclusiones y recomendaciones de este trabajo.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

La Relación entre la mente, la materia y el pensamiento, con la mecánica cuántica

1. El mundo ¿creación del cerebro?

1.1. ¿Qué es la mente?

La naturaleza del cerebro es esencialmente eléctrica. El gran Astrónomo y divulgador científico, Carl Sagan, al respecto, en su libro **Los dragones del edén: Especulaciones sobre la evolución de la inteligencia humana**, nos manifiesta: "... mi premisa fundamental sobre el cerebro es que su funcionamiento – eso que a veces denominamos mente – es consecuencia de su anatomía y fisiología, y de nada más." [7]

En su libro *Los dragones del Edén*, Carl Sagan, resumió a grandes rasgos lo que se sabía sobre el cerebro por aquel entonces. El libro trata de presentar el conocimiento puntero en neurociencia, lo cual en la época implicaba tener que basarse principalmente en tres métodos. El primero consistía en comparar nuestro cerebro con el de otras especies. Esta era una tarea laboriosa y difícil, porque implicaba diseccionar los cerebros de miles de animales. El segundo era igualmente indirecto: el análisis de víctimas de derrames cerebrales y otras enfermedades que, por ello mismo, a menudo exhibían comportamientos extraños. Solo una autopsia podía revelar cuál era la zona del cerebro dañada. Mediante el tercero los científicos podían utilizar electrodos para sondear el cerebro y, lenta y trabajosamente, establecer la relación entre las distintas partes del cerebro y los comportamientos. [7]

Sin embargo, la neurociencia no permitía analizar el cerebro de manera sistemática. No era posible seleccionar a una persona que hubiese sufrido un derrame en la zona específica que se quería estudiar. Puesto que el cerebro es un sistema vivo y dinámico, con frecuencia las autopsias no permitían revelar las características más interesantes, como la manera en que las distintas partes del cerebro interactúan entre sí y, menos aún, cómo producen pensamientos tan diversos como el amor, el odio, los celos o la curiosidad.

1.1.1. La conciencia y el pensamiento

El físico **Michio Kaku**, en su libro **El futuro de nuestra mente**, nos afirma "... conciencia es el proceso de crear un modelo del mundo a partir de múltiples bucles de retroalimentación basados en distintos parámetros (por ejemplo, la temperatura, el espacio, el tiempo o la relación con los demás), para lograr un objetivo (por ejemplo, encontrar pareja, comida o refugio). La llamo **teoría espaciotemporal de la conciencia**, porque hace hincapié en la idea de que los animales crean un modelo del mundo principalmente en relación con el espacio y con los demás individuos, mientras que los humanos van más allá y crean un modelo del mundo en relación con el tiempo, tanto hacia delante como hacia atrás". [2]

1.2. El cerebro

El neurocientífico **Miguel Nicolelis**, en su libro **Más allá de nuestros límites: los avances en la conexión de cerebros y máquinas**, nos define el universo orgánico en el que el cerebro funciona:

- Miles de millones de neuronas producen corrientes eléctricas que son capaces de extenderse a través del espacio continuo, salino y, por tanto, muy buen conductor, que se extiende entre – y alrededor – de las células densamente apiñadas del cerebro, y genera campos electromagnéticos extensos que, pese a ser muy diminutos en magnitudes absolutas, influyen aun así en las neuronas vecinas.
- Una red, enormemente compleja, formada por decenas de miles de conexiones potenciales de largo alcance anterógradas y de retorno, que incluyen múltiples lazos multisinápticos corticales y subcorticales, proporciona miles o incluso millones de maneras a través de las cuales las neuronas de un área cortical determinada pueden fácilmente comunicarse con otras neuronas situadas a una distancia relativamente grande, muy lejos en el cerebro (conexiones neurona a neurona). [8]

1.2.1. Fisiología y funciones del cerebro

En la figura 1 se puede ver la neocorteza, la capa más externa del cerebro, dividida en cuatro lóbulos, estos se dedican a procesar las

señales procedentes de los sentidos, excepto uno: el lóbulo frontal, localizado detrás de la frente. En la corteza prefrontal, la parte delantera del lóbulo frontal, es donde se procesa la mayor parte del pensamiento racional.

La información que leemos se procesa en la corteza prefrontal. Si esa zona sufre daños, estos pueden afectar a nuestra capacidad para hacer planes o proyectar en el futuro. Esta es la región donde se evalúa la información procedente de los sentidos y se determina las acciones futuras.

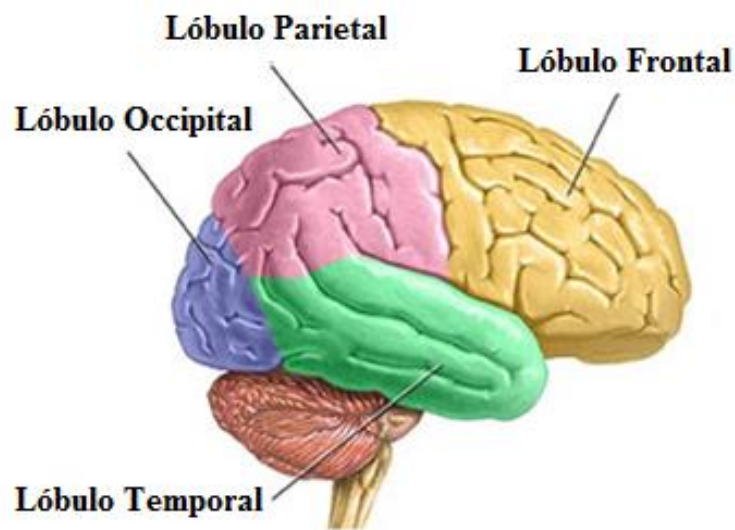


Figura 1. *Los cuatro lóbulos de la neocorteza cerebral se encargan de funciones distintas, aunque relacionadas.* [2]

El lóbulo parietal está situado en la parte superior del cerebro. El hemisferio derecho controla la atención sensorial y la representación de nuestro propio cuerpo. Las lesiones en esta área pueden provocar muchos problemas, tales como dificultades para localizar partes de nuestro cuerpo.

El lóbulo occipital se encuentra en la parte posterior del cerebro y procesa la información visual procedente de los ojos. Las lesiones en esta área pueden provocar ceguera o problemas visuales.

El lóbulo temporal controla el lenguaje (únicamente la parte izquierda), así como el reconocimiento visual de los rostros y determinados sentimientos emocionales. Una lesión en este lóbulo puede hacer que perdamos la capacidad de hablar o que seamos incapaces de reconocer los rostros conocidos.

1.2.2. La Física del cerebro

Desde el punto de vista evolutivo y biológico, la evolución ya no selecciona a las personas más inteligentes, al menos no tan rápido como lo hacían miles de años atrás.

También existen indicios, procedentes de las leyes de la física, de que hemos alcanzado el límite máximo natural de inteligencia, por lo que cualquier mejora tendrá que producirse mediante medios externos. Los físicos que han estudiado la neurología del cerebro concluyen que hay ciertos equilibrios que impiden que seamos mucho más listos. Cada vez que imaginamos un cerebro más grande, más denso o más complejo, nos encontramos con que un incremento de alguno de estos parámetros conlleva una disminución de los otros.

El primer principio de la física que podemos aplicar al cerebro es el de la conservación de la materia y la energía, es decir, la ley según la cual la cantidad total de materia y energía en un sistema permanece constante. En particular, para poder realizar sus fantásticas proezas de gimnasia mental, el cerebro debe conservar la energía, para lo cual recurre a muchas estrategias. Sería necesario consumir mucho tiempo y energía para realizar un análisis racional de cualquier crisis, así que el cerebro ahorra energía haciendo valoraciones rápidas en forma de emociones. Olvidar es una manera alternativa de ahorrar energía. El cerebro consciente solo tiene acceso a una pequeña porción de recuerdos que tienen impacto sobre el cerebro. [2]

Así pues, la pregunta es: ¿aumentar el tamaño del cerebro o la densidad de neuronas nos proporcionaría más inteligencia? Probablemente no. “Las neuronas de la materia gris cortical trabajan con axones que están muy próximos al límite físico”, dice el doctor Simon Laughlin, de la Universidad de Cambridge. Existen varias maneras de incrementar la inteligencia del cerebro utilizando las leyes de la física, pero cada una tiene sus propios inconvenientes:

- Se puede aumentar el tamaño del cerebro y ampliar la longitud de las neuronas. El problema en este caso es que ahora el cerebro consume más energía y genera más calor al hacerlo, lo cual es perjudicial para

nuestra supervivencia. Si el cerebro utiliza más energía, se calienta más, y si la temperatura corporal sube demasiado, pueden producirse muchos daños en los tejidos. (Las reacciones químicas del cuerpo humano y nuestro metabolismo que la temperatura esté dentro de un rango bien preciso.) Además, el hecho de que las neuronas sean más largas implica que las señales tardan más tiempo en atravesar el cerebro, lo que ralentiza el proceso de pensamiento.

- Se pueden concentrar más neuronas en el mismo espacio haciéndolas más finas. Pero si las neuronas son cada vez más finas, las complejas relaciones químico-eléctricas que deben producirse en el interior del axón empieza a fallar, lo que acaba afectando al funcionamiento de toda la neurona. Douglas Fox, en un artículo publicado en la revista Discovery, escribe: “La podríamos llamar la madre de todas las limitaciones: las proteínas que las neuronas utilizan para generar los pulsos eléctricos, los llamados canales iónicos, son intrínsecamente inestables”. [2]
- Se puede aumentar la velocidad de la señal haciendo que aumente el grosor de las neuronas. Pero esto provoca que se incremente también el consumo de energía, lo que genera más calor. También aumenta el tamaño del cerebro, lo que amplía el tiempo que tardan las señales en llegar a su destino.
- Se pueden añadir más conexiones entre neuronas. Pero, de nuevo, esto hace aumentar el consumo de energía, lo que a su vez hace que el cerebro más grande y lento.

Así que, cada vez que modificamos el cerebro acabamos en un callejón sin salida. Las leyes de la física parecen indicar que hemos alcanzado el límite máximo de inteligencia que los humanos podemos tener de esta manera. A menos que podamos aumentar de repente el tamaño de nuestro cráneo o alterar la propia naturaleza de las neuronas, parece que ya hemos llegado a nuestro máximo nivel de inteligencia. Si deseamos que aumente, tendremos que incrementar la eficiencia del cerebro (mediante drogas, genes y posiblemente máquinas del estilo de la estimulación magnética transcraneal).

1.2.3. Plasticidad cerebral

La actividad del cerebro y la acción que realiza una computadora se diferencian principalmente por esta característica.

Las interconexiones entre neuronas no son fijas, estas cambian continuamente. No se dice que cambien las localizaciones de los axones o las dendritas; gran parte de su complejo "cableado" está establecido en líneas generales desde el nacimiento. Sino a las uniones sinápticas en las que tiene lugar realmente la comunicación entre neuronas diferentes. A menudo estas ocurren en lugares llamados espinas dendríticas, que son minúsculas protuberancias en las dendritas con las cuales pueden tomar contacto los botones sinápticos (figura 2). Aquí, "contacto" ya no significa simplemente tocar sino dejar una separación (espacio sináptico) de la distancia justa, alrededor de cuarenta milésimas de milímetro. En ciertas condiciones, estas espinas dendríticas pueden contraerse y romper el contacto, o pueden (ellas u otras nuevas) crecer y hacer nuevos contactos.

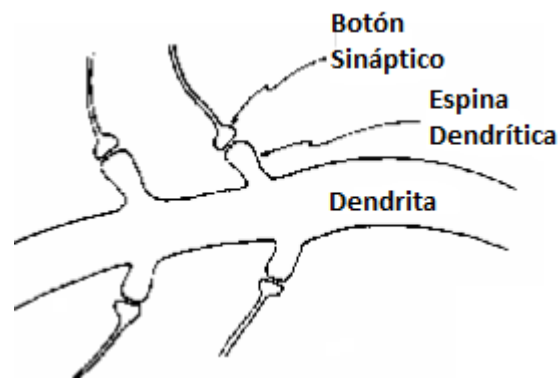


Figura 2. Uniones sinápticas que incluyen espinas dendríticas. La efectividad de la unión queda inmediatamente afectada por el crecimiento o contracción de la espina. [9]

Estos cambios en las conexiones sinápticas son los que proporcionan los medios para almacenar la información necesaria. Siendo así, la plasticidad cerebral no es ya una complicación accidental sino que es una característica esencial de la actividad del cerebro. Los cambios mencionados sólo pueden ocurrir en unos pocos segundos. [9]

En relación con esto existe otro aspecto de la liberación de neurotransmisores por los botones sinápticos. A veces ésta no tiene lugar en los espacios sinápticos sino que los neurotransmisores entran en el fluido intercelular general, quizá para influir a otras neuronas a gran distancia. Muchas sustancias neuroquímicas diferentes parecen emitirse de esta forma, y existen distintas teorías de la memoria, que dependen de las posibles variedades de tales sustancias químicas que puedan estar involucradas. Ciertamente el estado del cerebro puede ser influido de un modo general por la presencia de sustancias químicas que son producidas por otras partes del cerebro. El problema general de la neuroquímica es complicado, y proporcionar una simulación por computadora detallada y fiable de todo lo que pueda ser importante, resulta difícil. [9]

En 1996, el físico **Roger Penrose**, en su libro **La Mente Nueva del Emperador: en torno a la cibernética, la mente y las leyes de la física**, nos menciona que el cerebro se parece a una computadora que está cambiando continuamente. Estos cambios pueden darse aparentemente por la activación o desactivación de sinapsis por medio del crecimiento o contracción de espinas dendríticas (figura 2). Este crecimiento o contracción podría estar gobernado por algo semejante al proceso que interviene en el crecimiento de los cuasicristales. En tal caso, no sólo se ensaya una, sino un inmenso número de posibles configuraciones, todas superpuestas de manera lineal y compleja. Mientras los efectos de estas configuraciones se mantengan por debajo del nivel de un gravitón (o cualquiera que sea) entonces ellas coexistirán (y casi invariablemente deben coexistir según las reglas de la mecánica cuántica). Si se mantienen por debajo de este nivel, pueden empezar a ejecutarse cálculos superpuestos simultáneos, de un modo que está en concordancia con los principios de una computadora cuántica. Sin embargo, parece improbable que estas superposiciones puedan mantenerse durante mucho tiempo, ya que las señales nerviosas producen campos eléctricos que perturbarían considerablemente el material circundante (aunque su vaina de mielina podría ayudar a

aislarlas). Conjeturemos que tales superposiciones de cálculos pueden mantenerse realmente durante al menos el tiempo suficiente para calcular algo que sea de importancia antes de que alcance el nivel de un gravitón (o cualquiera que sea). El resultado acertado de tal cálculo sería el "objetivo" que toma el lugar del "objetivo" de la simple minimización de la energía en el crecimiento del cuasicristal.

1.2.4. ¿Cómo funcionan las señales nerviosas?

La materia gris del cerebro está compuesta por miles de millones de diminutas células cerebrales llamadas “neuronas”. Como una gigantesca red telefónica, reciben mensajes de otras neuronas a través de las dendritas, que son como tentáculos que brotan de un extremo de la neurona. En el extremo opuesto se encuentra una fibra alargada llamada axón, que puede llegar a conectar hasta con diez mil neuronas por medio de sus dendritas. En la unión entre ambas existe un minúsculo espacio llamado “sinapsis”. Las sinapsis actúan como puertas que regulan el flujo de información en el cerebro. Determinados compuestos químicos, llamados “neurotransmisores”, pueden penetrar en la sinapsis y alterar el flujo de las señales. Puesto que los neurotransmisores como la dopamina, la serotonina y la noradrenalina ayudan a controlar el flujo de información que recorre las innumerables vías del cerebro, ejercen un poderoso efecto sobre lo que pensamos y nuestros estados de ánimo (Figura 3).

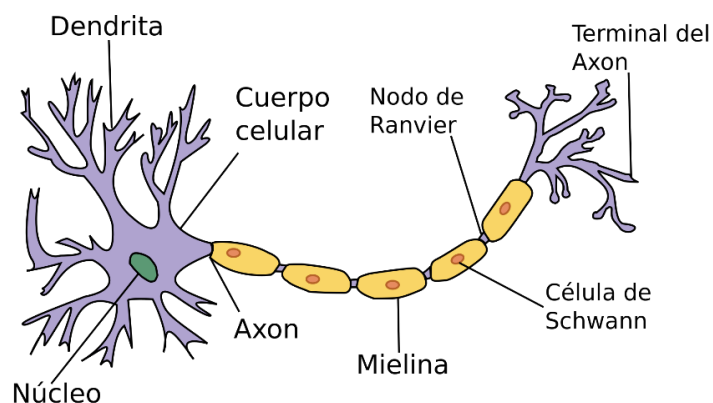


Figura 3. Diagrama de una neurona. Las señales eléctricas recorren el axón de la neurona hasta que llegan a la sinapsis. Los neurotransmisores pueden regular el flujo de señales eléctricas a través de la sinapsis. [2]

1.3. ¿Dónde se ubica la conciencia?

La relación entre el estado del cerebro y el fenómeno de la conciencia, es un fenómeno de suma importancia pero aún de incipiente convergencia. Es evidente, que no todas las partes del cerebro están involucradas por igual en su manifestación. Por ejemplo, el cerebelo parece ser mucho más "autómata" que el cerebro propiamente dicho. Las acciones bajo control cerebelar parecen tener lugar casi de forma "autónoma" sin que tengamos que "reflexionar" sobre ellas. Mientras que podemos decidir conscientemente el andar de un lugar a otro, no tenemos conciencia a menudo de los elaborados planes de movimientos musculares detallados que serán necesarios para el movimiento controlado. Lo mismo puede decirse de las acciones reflejas inconscientes, como la de retirar la mano de una estufa caliente, que podría estar mediada no por el cerebro en general sino por la parte superior de la médula espinal. A partir de esto, podemos estar inclinados, al menos, a inferir que es probable que el fenómeno de la conciencia tenga más que ver con la acción del cerebro propiamente dicho que con la del cerebelo o la médula espinal.

Por otra parte, no es evidente que la actividad del cerebro deba *siempre* incidir sobre nuestra conciencia. Por ejemplo, como se ha descrito antes, en la acción normal de caminar en la que no somos conscientes de la actividad detallada de nuestros músculos y miembros – al ser el control de esta actividad principalmente cerebelar (asistido por otras partes del cerebro y la médula espinal) – parece que *también* las regiones motoras primarias deberían estar involucradas. Además lo mismo sería válido para las regiones sensoriales primarias: podríamos no tener conciencia, en ese momento, de las variaciones de presión en las plantas de nuestros pies cuando caminamos, pero ciertas regiones de nuestra corteza somatosensorial estarían siendo activadas continuamente.

De hecho, el distinguido **neurocirujano canadiense-estadounidense Wilder Penfield** (quien, en los años 40 y 50 fue responsable de detallar gran parte del mapa de las regiones sensorial y motora del cerebro humano) ha argumentado que la conciencia **no** está simplemente asociada a la actividad cerebral. Él sugirió, basado en sus experiencias al realizar numerosas operaciones

cerebrales en sujetos concientes, que cierta región a la que denominó *tronco cerebral superior*, consistente principalmente en el tálamo y el cerebro medio – aunque él tenía en mente sobre todo la formación reticular — debería considerarse, en cierto sentido, como la "sede de la conciencia". El tronco cerebral superior está en comunicación con el cerebro, y Penfield argumentaba que la "atención consciente" o "conciencia de acción voluntaria" aparecería siempre que esta región del tronco cerebral estuviera en comunicación directa con la región apropiada de la corteza cerebral, es decir, la región particular asociada con cualesquiera sensaciones específicas, pensamientos, recuerdos o acciones que sean percibidas o evocadas conscientemente en el momento. Subrayó que aunque él pudiera, por ejemplo, estimular la región de la corteza motora del sujeto que provoca el movimiento del brazo derecho (y el brazo derecho se moviera realmente), esto no provocaría que el sujeto *quisiera* mover el brazo derecho. (De hecho, el sujeto podría incluso reaccionar con el brazo izquierdo y detener el movimiento del brazo derecho). Penfield sugería que el *deseo* del movimiento podría tener más que ver con el tálamo que con la corteza cerebral. Su idea era que la conciencia es una manifestación de la actividad del tronco cerebral superior pero, puesto que se necesita además que haya algo que sea consciente, no es sólo el tronco cerebral el que está implicado sino también alguna región de la corteza cerebral que esté en ese momento en comunicación con el tronco cerebral superior y cuya actividad representa el sujeto (impresión sensorial o recuerdo) o el objeto (acción voluntaria) de dicha conciencia. [9]

Otros neurofisiólogos han argumentado que la formación reticular, en concreto, podría considerarse la "sede" de la conciencia, si en verdad existe tal sede. Después de todo, la formación reticular es responsable del estado general de alerta del cerebro. Si se lesiona, el resultado es la inconciencia. Siempre que el cerebro está en un estado consciente de vigilia, la formación reticular está activa; de lo contrario no lo está. Parece haber así una clara asociación entre la actividad de la formación reticular y el estado de una persona que normalmente denominamos "consciente". Sin embargo, la cuestión se complica por el hecho de que en el estado de ensueño, en el que realmente se tiene "conciencia" (en el sentido de tener conciencia del propio

sueño), las partes normalmente activas de la formación reticular *no* parecen estar activas. Una cosa que también preocupa a algunas personas, es que ésta es, en términos evolutivos, una parte muy *antigua* del cerebro. Si todo lo que se necesita para ser consciente es una formación reticular activa, entonces las ranas, los lagartos e incluso los bacalaos son conscientes.

Otros nos sostienen que es la propia corteza cerebral la responsable de la conciencia. Los algoritmos complicados que ejecuta la corteza cerebral nos confirma a esta región como la más firme candidata a la capacidad de manifestar conciencia.

Muchos filósofos y psicólogos nos afirman la idea de que la conciencia humana está muy ligada al **lenguaje** humano. Por consiguiente, es sólo en virtud de nuestras **capacidades lingüísticas por lo que podemos alcanzar una sutileza de pensamiento**, que es una característica de nuestra humanidad, y la expresión de nuestras propias almas. Es el lenguaje, según este punto de vista, el que nos distingue de los otros animales, y nos proporciona así una excusa para privarles de su libertad y sacrificarlos cuando sentimos que surge dicha necesidad. Es el lenguaje el que nos permite filosofar y describir cómo sentimos, de modo que podamos convencer a los demás de que **nosotros tenemos conciencia del mundo exterior y también tenemos conciencia de nosotros mismos**. Siendo así, nuestro lenguaje se considera como el ingrediente clave de nuestra posesión de conciencia. Debemos recordar que nuestros centros del lenguaje están (en la inmensa mayoría de las personas) solamente en los lados izquierdos de nuestros cerebros (áreas de Broca y de Wernicke). [9]

Damasio, en su libro **Sentir lo que sucede: cuerpo y emoción en la fábrica de la conciencia**, nos afirma: “... es la conciencia el mayor problema para los que estudian la mente y sus soportes biológicos, sin embargo la definición del enigma puede variar de un investigador a otro. Si elucidar la mente es la última frontera de la ciencia, a menudo la conciencia parece ser el postrer misterio en el esclarecimiento de la mente. Algunos lo consideran impenetrable”. [10]

Así mismo, **Dennett**, en su libro **La consciencia explicada**. Nos menciona que: "... la consciencia humana es el último de los grandes misterios. Un misterio es un fenómeno respuestas últimas para todos los problemas de la cosmología y la física de partículas, la genética molecular y la teoría de la evolución, pero sabemos cómo pensar sobre ellos. La consciencia se caracteriza por ser el único tema que todavía puede dejar mudos y perturbados a los más sofisticados pensadores. Y como ya ocurrió en su momento con los demás misterios, hay muchos que insisten y esperan- que nunca llegará la desmitificación de la consciencia." [11]

El Neurocientífico **Manrique Castaño, D.** en su libro **La naturaleza de la consciencia: una visión desde la psicología y la mecánica cuántica**, nos dice: "... la Mecánica Cuántica tiene relación con la consciencia y el comportamiento humano al estar relacionada con las transmisiones iónicas. Hay algunos a quienes nos parece increíble que las investigaciones de las bases biológicas de la consciencia no tengan en cuenta la incertidumbre y la superposición de átomos y moléculas existentes en el cerebro. Solamente este elemento, no siendo el único, deja ver por qué se necesita la cuántica para entender mejor el cerebro y funciones como la consciencia, que para algunos espera por ser el mayor logro de la ciencia." [12]

1.3.1. Las bases físicas de la consciencia

En las últimas décadas se muestra el desarrollo de un **creciente interés por el problema de la consciencia**. A partir de los años cincuenta el desarrollo de viejas y nuevas disciplinas como la etología, las neurociencias, la teoría de la información, las ciencias de la computación, las ciencias cognitivas, entre otras, hizo que los investigadores volvieran la mirada hacia el estudio de los fenómenos psicológicos que habían sido relegados, como la consciencia. Así, actualmente la consciencia ha dejado de ser un problema meramente filosófico para convertirse en uno de los pendientes de la agenda científica de un ejército de investigadores (la mayoría de ellos europeos, australianos y norteamericanos) de los más diversos campos (filósofos, psicólogos, psiquiatras, neurofisiólogos, neuropsicólogos, anesthesiólogos, bioquímicos, biofísicos, biólogos

moleculares, etólogos, antropólogos, lingüistas, expertos en computación e informática, ingenieros y expertos en inteligencia artificial, entre muchos otros), quienes han sido responsables y promotores del creciente interés por el estudio científico y filosófico de la conciencia.

Una serie de modelos teóricos que ha ganado cierta popularidad entre algunos investigadores hace uso de la física cuántica para dar cuenta de la conciencia. Sin embargo, como bien señala el español J. Pastor-Gómez estos modelos no comparten un fondo filosófico común, ya que sus enfoques pueden ir desde un dualismo muy extremo e incluso religioso como el que plantean John Eccles y Amit Goswami, hasta una postura fisicalista como la del modelo cuántico de Penrose y Hameroff del cual se ocupa el presente trabajo.

De acuerdo con Harald Atmanspacher existen al menos tres formas en las cuales estos modelos adoptan la física cuántica para explicar la conciencia. Una primera forma consiste en adoptar las ideas básicas de la física cuántica de un modo puramente metafórico. Términos cuánticos como entrelazamiento, superposición, colapso, complementariedad, entre otros, se usan sin hacer ninguna referencia específica a cómo son definidos y a cómo se aplican a situaciones específicas. Por ejemplo, los actos conscientes simplemente se postulan como análogamente interpretables a los actos físicos de medición, mientras que las correlaciones en los sistemas psicológicos se postulan como análogamente interpretables al entrelazamiento cuántico. Un ejemplo de este tipo de modelos es el que han desarrollado Marshall y Zohar, quienes sugieren que las propiedades holísticas de los condensados Bose-Einstein pueden ser análogas a las propiedades holísticas de la conciencia, por lo cual han propuesto que la conciencia puede surgir de la excitación de los condensados Bose-Einstein en el cerebro.

Por ejemplo, algunos autores han propuesto que la no localidad cuántica puede permitir a la conciencia actuar sobre el mundo físico, lo cual podría dar cuenta de supuestos fenómenos paranormales como la ‘telequinesis’, la ‘actividad poltergeist’, la ‘teletransportación’ y la ‘levitación’ e incluso

cosas tan extremas como la ‘reencarnación’ y la ‘transmigración de las almas’.

Una segunda forma incluye aquellos enfoques que retoman el **status quo** de la teoría física para describir los procesos neurofisiológicos que pueden subyacer a las funciones cognoscitivas como la conciencia. Algunos de las primeras ideas al respecto fueron desarrolladas por el biólogo J. B. S. Haldane, más tarde por Eugene Wigner y más recientemente han sido defendidas por Henry Stapp. Dentro de estos enfoques se cuentan también algunos modelos más desarrollados como el de Ewan Harris Walker, quizá el primer modelo cuántico detallado de la conciencia, de acuerdo con el cual el efecto túnel es el efecto cuántico que está involucrado en el funcionamiento sináptico a través de las hendiduras sinápticas, y por lo tanto parece constituir el mecanismo físico que subyace a la conciencia. Otro destacado ejemplo es el modelo de Beck y Eccles el cual, como el de Walker, retoma el efecto túnel, pero sugiere que está involucrado en la exocitosis (la apertura momentánea de un canal en la membrana presináptica y la liberación de un neurotransmisor en la hendidura sináptica). La mente consciente, según el modelo de Beck y Eccles, se vuelve neuronalmente efectiva al incrementar momentáneamente las probabilidades de la exocitosis.

Finalmente, otro modo de adoptar la física cuántica para dar cuenta de la conciencia, consiste en hacer uso de desarrollos y generalizaciones que van más allá de la física teórica estándar. Algunos candidatos recientes incluyen la posibilidad de ligar la teoría del caos con la no localidad cuántica y aplicarla a las neurociencias para dar cuenta de la conciencia, así como el uso de la teoría de las supercuerdas para explicar la conciencia y la relación mente-cerebro desde un monismo del doble aspecto. Sin embargo, el ejemplo más notable de este tipo de modelos es el de Penrose y Hameroff, cuya propuesta intenta relacionar la conciencia con la reducción de estados cuánticos gravitacionalmente, por lo cual este enfoque requiere el marco de una teoría de la gravedad cuántica, aún por desarrollar.

Se requeriría un trabajo mucho mayor para poder analizar todos estos modelos en profundidad. El modelo cuántico de Roger Penrose se trata, del modelo cuántico más detallado y complejo de la conciencia.

2. La física de la mente

2.1. La mente vista desde los principios físicos

2.1.1. David Bohm. Una nueva teoría de la relación de mente y materia.

La relación de la mente y la materia se aborda de una manera nueva en este artículo. Este enfoque se basa en la interpretación causal de la teoría cuántica, en el que un electrón, por ejemplo, es considerado como una unión inseparable de una partícula y un campo. Este campo tiene, sin embargo, algunas propiedades nuevas que se pueden ver como las principales fuentes de las diferencias entre la teoría cuántica y la teoría clásica (newtoniana). Estas nuevas propiedades sugieren que el campo puede considerarse que contiene información objetiva y activa, y que la actividad de esta información es similar en ciertos aspectos clave para la actividad de información en nuestra experiencia subjetiva ordinaria. La analogía entre la mente y la materia esta por tanto muy cercana. Esta analogía conduce a la propuesta de las líneas generales de una nueva teoría de la mente, la materia y su relación, en la que la idea básica es la participación en lugar de interacción. Aunque la teoría se puede desarrollar matemáticamente con más detalle, el énfasis principal aquí es mostrar cualitativamente cómo proporciona una forma de pensar que no divide la mente de la materia, y por lo tanto conduce a una comprensión más coherente de estas cuestiones que es posible en los enfoques comunes dualistas y reduccionistas. Estas ideas pueden ser relevantes para las teorías conexionistas y quizás podrían sugerir nuevas direcciones para su desarrollo. [3]

2.1.2. Bertrand Russell. El conocimiento humano: Mente y materia.

El sentido común cree que sabemos algo acerca de la mente y algo acerca de la materia. Sostiene, además que lo que sabemos de ambas, es suficiente para revelar que son tipo de cosas en un todo diferentes. Por el contrario Russell afirma que todo lo que conocemos sin inferencia es mental, y que sólo conocemos del mundo físico ciertos rasgos abstractos de su estructura espacio-temporal, rasgos que, a causa de su carácter abstracto, no bastan para revelar si el mundo físico, es o no diferente, intrínsecamente del mundo de la mente. La mayor parte de las sensaciones tienen causas físicas. [13]

2.1.3. El modelo cuántico de la conciencia de Penrose y Hameroff.

Hameroff y Penrose se reunieron en 1992 y desde entonces han trabajado en el desarrollo del modelo cuántico de la conciencia que integra las ideas de Penrose en la mecánica cuántica y las de Hameroff sobre los microtúbulos. Este modelo empieza con las tesis de Penrose acerca del problema de simular la conciencia en sistemas artificiales. [14]

2.1.4. Steven Weinberg. Explicar el nuevo mundo.

Quizá encontremos fenómenos que en principio no se acomoden a la estructura unificada para todas las ciencias. Es así que aunque quizá lleguemos a comprender los procesos cerebrales responsables de la conciencia, resulta difícil entender cómo podremos describir alguna vez los sentimientos conscientes en términos físicos.

Sin embargo, hemos recorrido un largo camino, y todavía no hemos llegado al fin. Se trata de una historia extraordinaria: cómo Newton unificó la física celeste y la terrestre, cómo se desarrolló una teoría unificada de la electricidad y magnetismo que acabó explicando la luz, como la teoría cuántica del electromagnetismo se amplió para incluir las fuerzas nucleares fuertes y débiles, y cómo la química e incluso la biología acabaron formando parte de una concepción de la naturaleza,

unificada aunque incompleta, basada en la física. Los amplios principios científicos [15]

3. La tecnología y técnicas de investigación del funcionamiento del cerebro.

Las preguntas que los científicos se plantean sobre el funcionamiento del cerebro humano se han modulado a lo largo del tiempo por los avances de la técnica. El uso de nuevos instrumentos ha permitido al investigador de las funciones cerebrales explorar más allá del clásico “dónde” y adentrarse en el “qué”, “cómo” y “cuándo”.

3.1. Resonancia Magnética Funcional

La Resonancia Magnética Funcional (RMf) es una técnica de neuroimagen capaz de detectar los cambios fisiológicos ocurridos en el cerebro relacionados con procesos mentales, por ejemplo durante la ejecución de una tarea. Esta técnica es fruto de décadas de investigación sobre las propiedades magnéticas de la materia, las cuales permitieron inicialmente el desarrollo de la Resonancia Magnética Nuclear y, más tarde, su aplicación a las ciencias biomédicas y, en particular, a las neurociencias. En la actualidad la RMf tiene mucha aceptación por ser una técnica no invasiva, y por tener una resolución temporal y espacial superior a otras técnicas de neuroimagen.

Dentro de las neurociencias, la RMf posee dos grandes campos de aplicación: la investigación básica de los procesos cognitivos y la práctica clínica. Aplicada a la investigación básica de las funciones cognitivas, esta técnica permite adentrarse en la relación entre el cerebro y la conducta, posibilitando explorar desde la percepción sensorial hasta los procesos mentales más complejos, tales como la resolución de problemas matemáticos o los juicios morales. [16]

¿Cómo se generan las imágenes de resonancia magnética?

Primero es necesario comprender en cierto detalle las bases de la Resonancia Magnética Nuclear.

La materia se encuentra compuesta por átomos, los cuales, a su vez, poseen un núcleo conformado, en su mayoría, por dos tipos de partículas: neutrones y

protones. Los primeros poseen carga eléctrica nula, en tanto que los segundos se encuentran cargados electropositivamente. Además de masa y carga eléctrica, los núcleos atómicos pueden poseer un momento angular intrínseco, llamado spin (del inglés giro; es llamado también “espín” en español). Si bien el spin es una propiedad asociada con la mecánica cuántica, resulta útil pensar en ella como una representación del movimiento de rotación del núcleo sobre su propio eje, semejante al que realizan los planetas. Sólo los núcleos con un número impar de protones o neutrones poseen spin. Una característica importante de los núcleos con spin es que también poseen propiedades magnéticas, a través de su momento magnético.

El momento magnético (al igual que el spin) es un vector, por lo que además de una magnitud posee una dirección determinada. En ausencia de campos externos, los spins de un conjunto de átomos de hidrógeno apuntarán en direcciones aleatorias, por lo que la suma vectorial total será cero (por cada spin que apunte en una dirección habrá, en promedio, otro que apunte en la dirección opuesta, cancelando su contribución; ver Fig. 4a). En ese caso, el momento magnético total de la muestra será nulo. Sin embargo, si colocamos la muestra en un campo magnético externo, los spins de los núcleos tenderán a alinearse en la dirección principal del campo, como la aguja de una brújula en el campo magnético terrestre, apuntando ya sea en la misma dirección que el campo (paralelo) o en dirección opuesta (antiparalelo) (Fig. 4b). Debido a que el spin requiere menos energía para mantenerse en posición paralela que antiparalela, habrá un exceso de núcleos en posición paralela, por lo que no llegarán a cancelarse con los que se alinean en la dirección opuesta, resultando en un momento magnético neto distinto de cero, en dirección paralela al campo magnético exterior.

Relajación longitudinal o T1

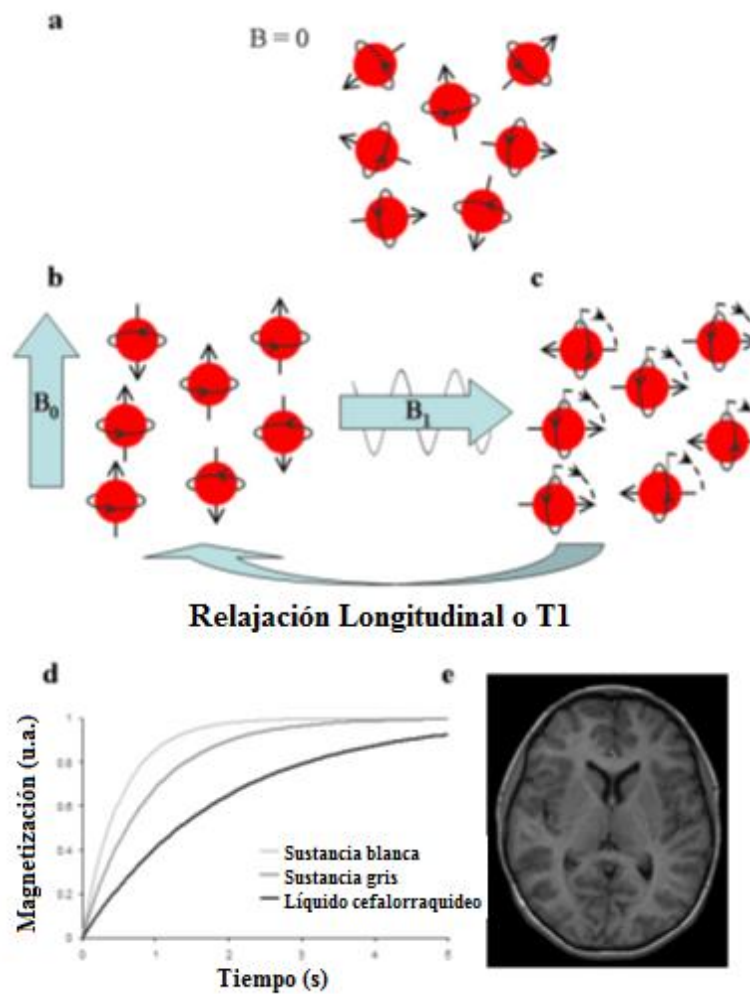


Figura 4. Proceso de relajación longitudinal o T1 [16]

En la Figura 4 se muestra: (a) En ausencia de un campo magnético externo, los spins de los núcleos de hidrógeno apuntan en direcciones aleatorias, por lo que la suma vectorial es cero y, por ende, el momento magnético total de la muestra es nulo. (b) Al colocarse la muestra en un campo magnético B_0 , los spins tienden a alinearse en la dirección de éste; una mayor cantidad lo hace en dirección paralela que antiparalela, generando así un momento magnético neto en dirección del campo externo (longitudinal). (c) Un breve pulso electromagnético B_1 en dirección perpendicular a B_0 inclina los spins al plano perpendicular reduciendo el momento magnético total longitudinal a cero. Al apagar el campo B_1 los spins retornan gradualmente a su posición original, recuperándose de esta manera la magnetización en la dirección del campo externo B_0 , proceso que se denomina relajación longitudinal o T1. (d) Este

proceso tiene diferentes constantes de tiempo dependiendo del medio en el que se encuentren los protones (u.a.=unidades arbitrarias). (e) Mediante la medición de los valores de relajación longitudinal en distintas partes del cerebro se puede construir una imagen anatómica o de tipo T1.

Relajación transversal o T2

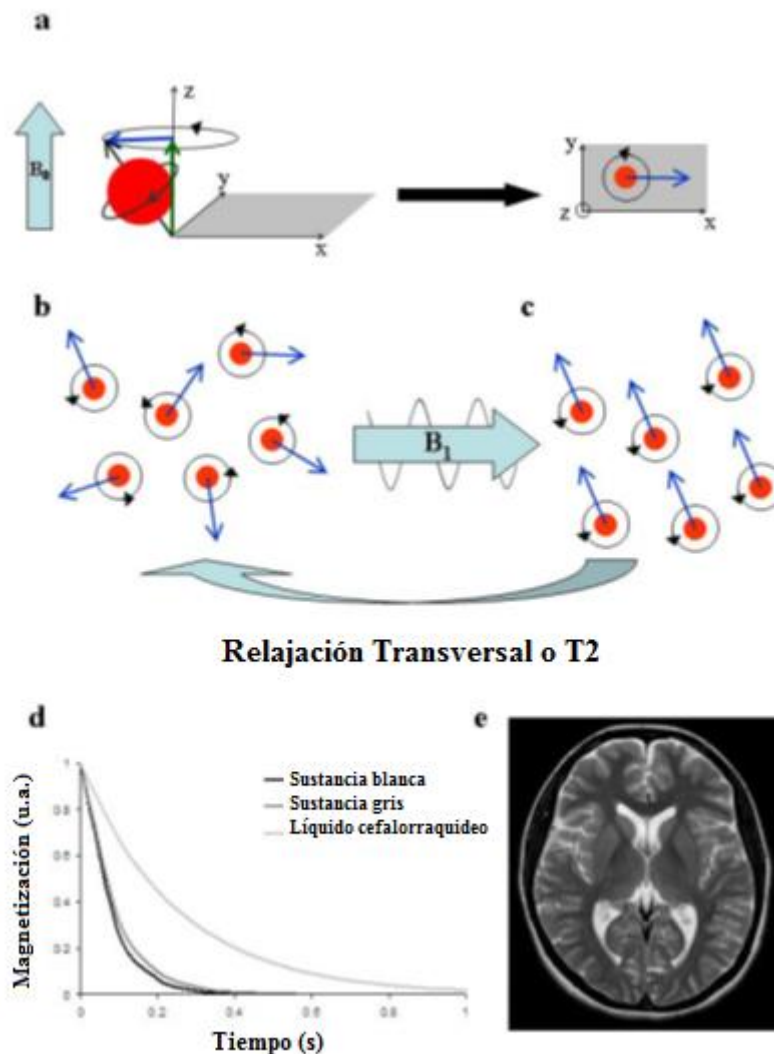


Figura 5. Proceso de relajación transversal o T2 [16]

En la figura 5 se muestra: (a) En presencia del campo magnético externo B_0 , los spins no se alinean completamente en la dirección del campo, sino que presentan un movimiento de precesión alrededor de dicha dirección, por lo que, además del componente longitudinal, sus spins (y momentos magnéticos) poseen un componente transversal. (b) Los spins giran en el plano perpendicular con la misma velocidad, pero fuera de fase, por lo que el momento magnético neto en este plano es cero. (c) El campo de

radiofrecuencia B1 hace que los spins entren en fase, generándose un momento magnético neto que rota en el plano perpendicular al campo B0 con la frecuencia de Larmor. Al apagar este campo, la coherencia entre spins se va perdiendo por las interacciones entre núcleos vecinos, mediante un proceso de relajación transversal o T2. (d) Este proceso de relajación tiene una constante de tiempo que depende del medio en el que se encuentran los spins. (e) La adquisición de imágenes del tipo T2 permite obtener una imagen anatómica del cerebro complementaria a la que se obtiene mediante la relajación longitudinal o T1.

El efecto combinado de la interacción entre spins y la inhomogeneidad magnética local en la relajación transversal está dado por una constante de tiempo T2. Este factor es esencial para la adquisición de imágenes de resonancia magnética funcional.

Resonancia Magnética Funcional (RMf)

Las imágenes de RMf se basan en la premisa de que al producirse algún proceso mental, las neuronas involucradas requieren de una mayor cantidad de energía. Ésta se obtiene principalmente del oxígeno, del cual se abastecen a través de la sangre que circula en los capilares cercanos. La hemoglobina concentrada en los glóbulos rojos es la encargada de transportar el oxígeno desde los pulmones al cerebro. Ante la demanda energética se incrementa la demanda local de oxígeno, causando un incremento gradual de sangre oxigenada (oxihemoglobina) que llega hacia esa región, lo que resulta en una disminución de la concentración de desoxihemoglobina (sangre sin oxígeno) en la microvasculatura que rodea la región activa. Una característica esencial de la molécula de hemoglobina es que sus propiedades magnéticas dependen de su unión con el oxígeno. Específicamente, la hemoglobina oxigenada es ligeramente diamagnética, es decir, presenta una débil repulsión ante un campo magnético, mientras que la hemoglobina sin oxígeno es paramagnética, o sea que posee una susceptibilidad magnética positiva y por ello es atraída hacia un campo magnético. [16]

3.2. Magnetoencefalografía (MEG)

La magnetoencefalografía es una técnica de neuroimagen no invasiva que mide, con gran exactitud temporal, los campos magnéticos en la superficie de la cabeza producidos por corrientes neuronales en regiones cerebrales. Esta técnica es sumamente útil en la investigación básica y clínica, porque además permite ubicar el origen de la actividad neural en el cerebro.

¿Cómo se generan las imágenes por Magnetoencefalografía?

Una sola neurona en el cerebro trabaja como una pequeña bomba electroquímica con iones cargados eléctricamente que se mueven dentro y fuera de la membrana celular. La estimulación de una neurona causa que un flujo de iones cargados positivamente entre a la célula y genere una despolarización. Si la despolarización tiene fuerza suficiente, genera un potencial de acción que causa que la neurona “dispare”. El potencial se propaga a través de la membrana celular hasta la región presináptica, donde libera al espacio sináptico neurotransmisores que llegan hasta la membrana de la célula posináptica e inducen cambios del flujo iónico dentro y fuera de la célula.

Cuando múltiples sinapsis excitatorias con orientaciones similares, como las encontradas en la capa piramidal de la corteza, se activan simultáneamente, su corriente neta converge en las dendritas apicales y fluye hacia el cuerpo celular perpendicular a la superficie de la corteza. Estas corrientes eléctricas se acompañan de un campo magnético. Se necesitan aproximadamente 50 000 neuronas activas para generar un campo magnético medible fuera del cuero cabelludo. Las sinapsis inhibitorias también pueden producir señales magnéticas medibles, aunque estas señales suelen ser más débiles que las producidas por las sinapsis excitatorias. Cuando las corrientes fluyen en direcciones opuestas, los campos magnéticos se cancelan. Las corrientes netas se modelan como corrientes dipolares con posición, orientación y magnitud definidas, pero no en extensión espacial. Una corriente dipolar da origen a un campo magnético alrededor del eje del vector de corriente. El campo magnético está orientado perpendicularmente al flujo de la corriente eléctrica. Debido a las orientaciones físicas de las neuronas, las bobinas colectoras de

los dispositivos de interferencia cuántica superconductor (*superconducting quantum interference devices* [SQUID]) en un sistema MEG, son más sensibles a la actividad en los surcos cerebrales (figs. 6A-C). Los sistemas modernos de registro contienen un arreglo de más de 300 sensores SQUID organizados en forma de casco, que tienen una separación del cuero cabelludo de aproximadamente 2 cm. Dada la distancia entre un área cerebral y las bobinas colectoras, la MEG es menos precisa para la medición de las fuentes de las estructuras subcorticales que para las de la corteza cerebral.

Debido a la amplitud extremadamente pequeña de la señal, los sistemas MEG requieren la instalación de un cuarto protegido para evitar la interferencia de las fuertes señales magnéticas del ambiente. Los sensores SQUID están en una gran unidad de enfriamiento bañados en helio líquido a -269 °C. A esta temperatura, los pequeños cambios en el campo magnético generados por las neuronas a pocos centímetros de los sensores pueden inducir un flujo de corriente en la bobina colectora.

El campo magnético evocado dentro de la cabeza tiene una amplitud de 100 fT ($1 \text{ fT} = 10^{-15} \text{ T}$), que es una milmillonésima parte de la fuerza del campo magnético de la Tierra. Para excluir el ruido de fondo, se mide el gradiente del campo magnético en vez del campo mismo. El gradiente se refiere a la diferencia en las mediciones del campo entre dos lugares diferentes, uno cerca del cuero cabelludo y el otro a cierta distancia de este. El gradiente decae rápidamente con la distancia. Dado que la fuente de fondo está muy lejana comparada con la del cerebro, su influencia en la señal MEG es sumamente reducida en estos registros. Para reducir ruidos de alta y baja frecuencia, se emplean típicamente el aluminio y el mu-metal respectivamente, junto con algoritmos activos de cancelación de ruido. [2]

Adicionalmente hay que considerar que las señales de interés están embebidas en actividad cerebral independiente del experimento. Esta actividad de fondo es más fuerte que la señal objetivo. Una solución sencilla es promediar un gran número de respuestas sincronizadas con la presentación de estímulos idénticos. Esto reduce la actividad de fondo, que es variable e independiente de la tarea experimental. Hay que considerar también la dificultad del equipo

para detectar corrientes radiales con una fuente en un giro de la corteza (fig. 7C). Una tercera restricción es que los sujetos deben permanecer quietos durante la sesión de registro. Los artefactos relacionados con el movimiento pueden afectar considerablemente a la calidad de la medición y hacer difícil el análisis de estimación de fuentes.

Los datos obtenidos con MEG no dan un indicador directo sobre la localización de la(s) fuente(s) de la actividad cerebral, pero se puede intentar determinarlas utilizando algunos modelos. Se conoce como solución al problema inverso cuando se encuentran la(s) fuente(s) de la actividad neural registrada en su componente magnético o eléctrico. El problema inverso es lo opuesto al problema “anterógrado”, donde la fuente es conocida y la solución es la modelación del campo medido a una distancia dada de la fuente. En teoría, un mapa MEG registrado puede proceder de muchas configuraciones de fuentes de corriente. Así, podría haber una infinidad de soluciones potencialmente “correctas” al problema inverso. El desafío es determinar qué fuente o configuración de ellas es fisiológicamente plausible y qué solución podría proveer el mayor ajuste estadístico entre los valores predichos del modelo de fuente y las señales observadas. Las soluciones no representan una certeza del origen de una fuente, sino una probabilidad estadística de dónde pueda encontrarse. El procedimiento es minimizar el número de posibles soluciones al implementar supuestos que permiten limitar las soluciones a estimaciones razonables de la configuración de la fuente (es decir, número de fuentes, ubicación de estas en el cerebro, dirección de la fuente y su fuerza). Dos aproximaciones generales en la estimación de fuentes permiten obtener una única solución: el modelo de dipolos y el modelo de fuentes distribuidas (fig. 6D).

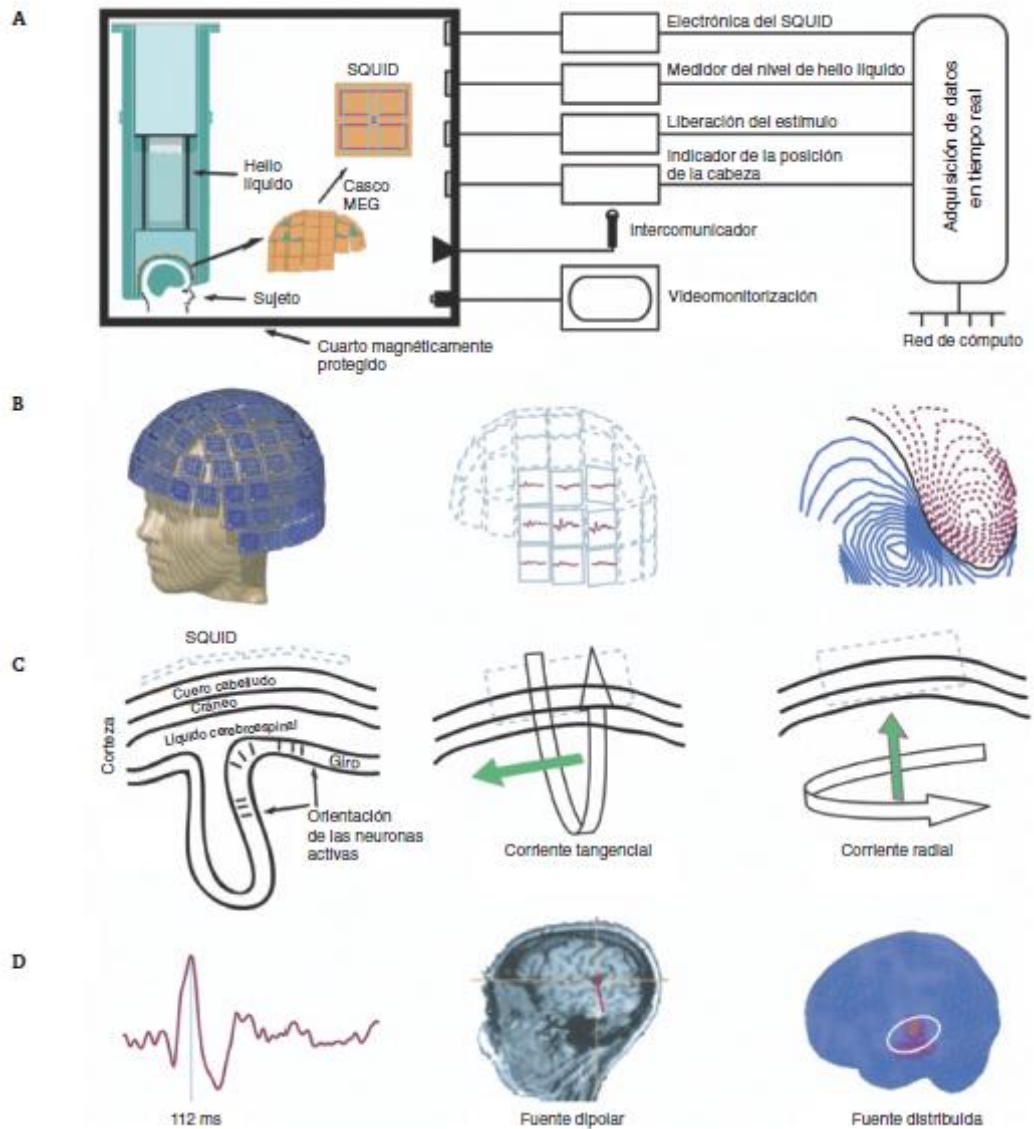


Figura 6. MEG [2]

A: diagrama de bloques de un sistema típico de MEG. El arreglo de sensores SQUID está bañado en helio líquido. B: casco del MEG sobre un modelo, una muestra de la distribución de la respuesta auditiva evocada y sus mapas de contorno, que muestran un patrón bipolar (las líneas continuas indican el flujo magnético dentro del cerebro y las líneas punteadas, el flujo magnético hacia fuera del cerebro). C: representación esquemática de las medidas del MEG en relación con la orientación de las células piramidales en la corteza; solo los componentes tangenciales de una corriente neuronal generan campos magnéticos medibles por el SQUID. D: muestra de ondas MEG de respuestas evocadas auditivas (100 épocas promediadas para la ventana temporal – 100-700 ms relativa al inicio del estímulo), y localización del componente

seleccionado calculado como fuente dipolar usando un modelo esférico de la cabeza basado en las imágenes de resonancia magnética del propio sujeto y como fuente distribuida sobre el cerebro estándar.

3.3. Espectrografía en el Infrarrojo cercano (NIRS)

La espectroscopia de infrarrojo cercano o NIRS (*near-infrared spectroscopy*) es un método óptico de diagnóstico no invasivo que utiliza la absorción o reflexión de determinada longitud de onda producida por los diferentes grupos funcionales como son C-H, N-H y O-H, que se encuentran en los tejidos.

La física del NIRS

La NIRS involucra un haz de luz que, al interactuar con un material biológico, produce una radiación electromagnética en forma de ondas. La longitud de onda es la distancia entre dos picos o puntos altos y se mide en nanómetros (Figura 7A). El espectro infrarrojo se extiende aproximadamente de 2 500 a 25 000 nm; en cambio, el rango de longitud de onda que cubre el infrarrojo cercano está entre 750 y 2 600 nm. (Figura 7B). Las uniones específicas entre los átomos vibran a cierta frecuencia y cada tipo de estas uniones químicas dentro de una muestra absorbe rayos NIRS de una longitud de onda específica mientras todas las demás longitudes son reflejadas. Se mide el número de reflejos a diferentes longitudes de onda y luego las mediciones son convertidas en resultados analíticos por un microprocesador. La profundidad de penetración del haz dentro de la muestra no está determinada por la posición del detector sino más bien por la potencia de la fuente de luz; por eso la NIRS es una tecnología ideal para análisis rápidos y precisos. Tal como se señaló el espectro NIRS es el resultado de sobretonos y bandas de combinación generadas por los diferentes grupos químicos funcionales, lo que proporciona un amplio espectro de información sobre la composición química relacionada con la composición de la muestra que se analiza. Además, puede proporcionar información sobre el estado físico de la misma, lo que es de utilidad para determinar las propiedades físicas de las muestras. De esta forma, un espectro NIRS de reflectancia o transmitancia es el resultado de las condiciones físicas de ambos: el instrumento y la muestra.

Parámetros como la geometría del objeto a analizar, el tamaño de partícula o de gota que contiene, así como su forma y la distribución de los mismos junto con los índices de refracción generados por la muestra son importantes en la medición de un espectro NIRS. Cuando se obtiene el espectro NIRS de materiales biológicos es imposible (o se emplearía mucho tiempo) medir sin la existencia de fenómenos de dispersión de la luz. Esto requeriría una purificación total de las muestras y la posible pérdida de interacciones importantes y efectos sinérgicos entre los constituyentes de las mismas. Esta es la razón por la cual se hace extensiva la utilización de métodos de tratamiento multivariantes de datos con el objetivo de revelar la información específica y útil del espectro NIRS. Aunque los espectros NIRS son muy complejos el hecho de que los mismos átomos estén involucrados en múltiples absorciones diferentes significa que estas absorciones pueden ser utilizadas, a través de los tratamientos matemáticos adecuados, para obtener información analítica sobre grupos funcionales específicos.

Por otro lado, la tecnología de NIRS se basa en la absorción de cromóforos específicos a través de longitudes de onda. Los cambios de concentración de los cromóforos dependen de la oxigenación del tejido aprovechando una de las propiedades de la luz infrarroja que es la de ser capaz de penetrar varios centímetros en el tejido. De esta forma, un haz de luz determinado generado por láser con una intensidad constante puede seleccionar longitudes de onda que pasan a través del tejido y que a su vez son detectados para poder medir la concentración de un cromóforo determinado. Las concentraciones de los cromóforos detectados de esta forma se calculan usando la ley de Beer-Lambert que propone que la absorbancia de una muestra a determinada longitud de onda depende de la cantidad de moléculas absorbentes con la que se encuentra el haz de luz al pasar por la muestra; es decir, que el menor número de longitudes de onda es igual al número de cromóforos necesario que se deben aplicar; tomando en cuenta que los cambios en la amplitud de las longitudes de onda se pueden interpretar como los cambios en las concentraciones de los cromóforos. Esta luz es absorbida por moléculas cromóforas como son la oxihemoglobina, la deoxihemoglobina y la citocromo

oxidasa. De esta forma, la tecnología NIRS es capaz de medir, mediante la aplicación al tejido de ciertas longitudes de onda y su posterior análisis estadístico, variables fisiológicas muy importantes como la saturación de oxígeno y el índice de oxigenación en cualquier tejido. [17]

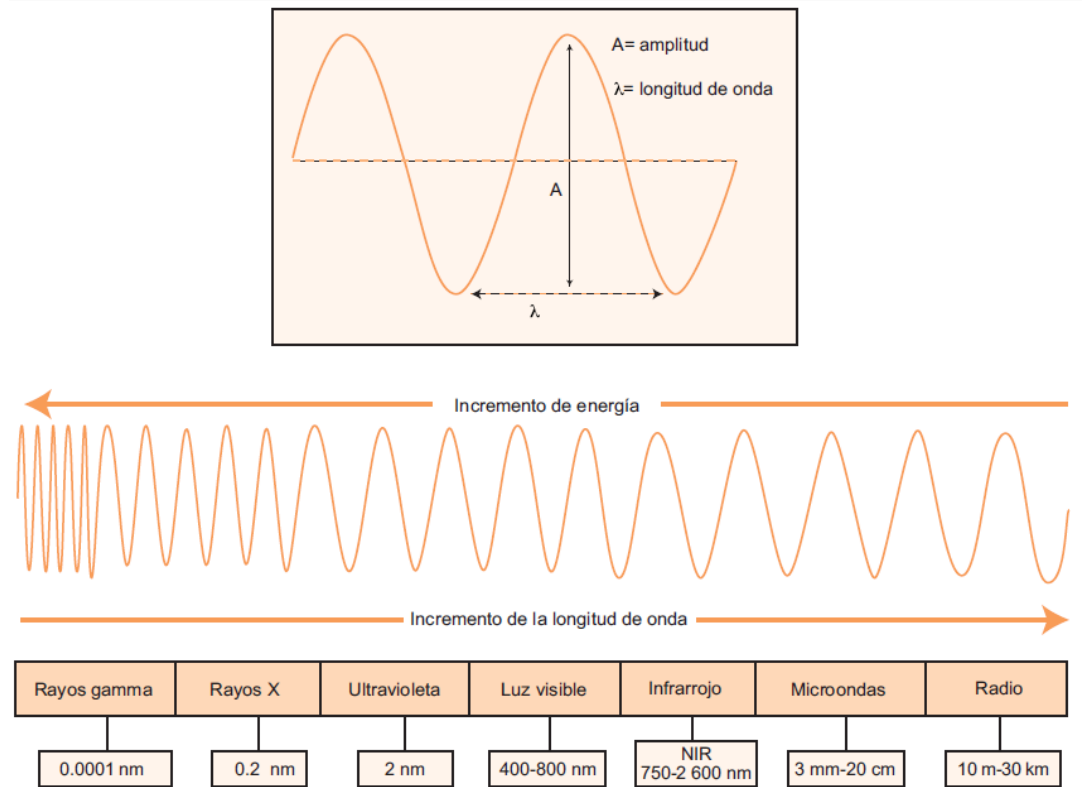


Figura 7. Representaciones esquemáticas de los componentes generales de una onda de un haz de luz señalando su amplitud y su longitud (*A*) y de la localización del espectro cercano al infrarrojo (NIRS) dentro del espectro general de la luz (*B*). [17]

Los instrumentos NIRS suelen ser clasificados en función del dispositivo utilizado para la selección de longitudes de onda, destacando los siguientes: sistemas de filtros, monocromadores de rastreo y matriz de diodos. A su vez, existen diferentes formas de medición dentro de las cuales se encuentran: a) reflectancia: cuando un haz de luz incide sobre la superficie de un cuerpo y éste lo devuelve al medio en mayor o menor proporción en función del tipo de material sobre el que incide la luz; b) transmitancia: cuando un haz de luz monocromática (de una sola longitud de onda) incide sobre un cuerpo, parte de ese haz será absorbido y otra parte atravesará el medio; y

- c) tranflectancia: es un efecto combinado de la reflectancia y la transmitancia;
d) absorción: es cuando el haz de luz se asimila por el objeto (Figura 8).

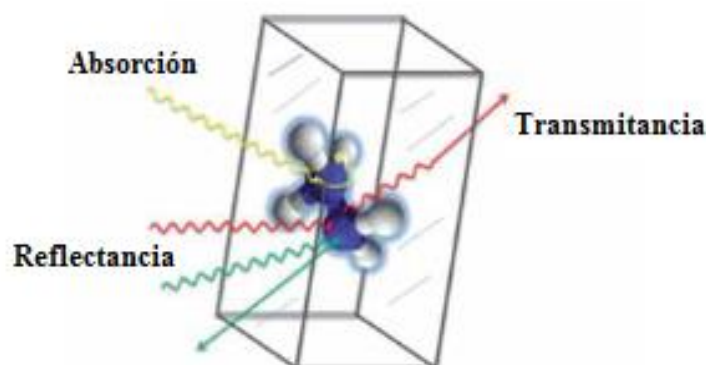


Figura 8. Representación de las propiedades de absorción (línea amarilla), transmitancia (línea roja) y reflectancia (línea verde) que pueden tener los componentes moleculares de un objeto que es incidido por un haz de luz del espectro cercano al infrarrojo. La tranflectancia es un efecto combinado del análisis de la reflectancia y la transmitancia. [17]

Técnicamente hablando los aparatos basados en el sistema NIRS generalmente constan de los siguientes elementos: sonda, circuito de mando y unidad de procesamiento o computadora. La sonda constituye la interface entre el sistema del mando y la muestra o tejido. La fuente de luz y su localización es manipulada por el circuito del mando que a su vez se subdivide en transmisor y receptor que se controlan por el programa de la computadora para exponer las longitudes de onda. La computadora también guarda la información de los despliegues que recibieron la luz después de aplicar los esquemas necesarios para el proceso y de esta forma, un fotodetector analiza la señal luminosa, la refleja y la cuantifica expresándola como porcentaje.

3.4. Estimulación magnética transcraneal (EMT)

Es una técnica neurofisiológica que permite la inducción, de forma segura y no invasiva, de una corriente en el cerebro. La técnica se basa en los **principios de inducción electromagnética descubiertos por Michael**

Faraday en el siglo XIX. Sin embargo, fueron Anthony Barker y sus colaboradores quienes, en 1984, consiguieron desarrollar un estimulador capaz de despolarizar neuronas en la corteza cerebral y evocar movimientos contralaterales al activar vías corticoespinales. Desde entonces, se ha producido un rápido incremento de las aplicaciones de la EMT en la medicina y en la investigación. La EMT puede utilizarse como complemento de otros métodos neurocientíficos en el estudio de vías motoras centrales, para el estudio de la excitabilidad cortical y en el mapeo de funciones cerebrales corticales. La EMT ocupa una posición privilegiada para el mapeo de funciones cerebrales, gracias a la combinación de su capacidad de resolución espacial y temporal, así como por el hecho de ser capaz de activar o interferir con funciones cerebrales. Esto permite establecer relaciones causales entre actividad cerebral y comportamiento, y no simplemente correlaciones como se pueden derivar de estudios con otras técnicas neurofisiológicas o de neuroimagen. Además, aplicada de forma repetitiva (EMTr), la EMT es capaz de modular la actividad cerebral en la región cortical afectada más allá de la duración de la estimulación misma. Esto permite explorar aplicaciones terapéuticas, donde la EMTr es utilizada para inducir cambios deseables en la actividad cerebral y normalizar alteraciones. En neurofisiología clínica, la EMT puede ser extremadamente útil en la exploración de vías motoras centrales (tanto en distintas patologías como en el proceso de crecimiento y desarrollo). La técnica de pulsos apareados permite explorar la excitabilidad intra y corticocortical en salud y enfermedad, así como la integridad de la interacción interhemisférica y el tiempo de conducción transcalloso. Estudios de mapeo cortical no invasivo pueden ser útiles al planear intervenciones neuroquirúrgicas sin el riesgo de morbilidad asociado con estudios invasivos y estimulación cortical directa. Estudios del período de silencio cortical, así como de curvas de reclutamiento, permiten caracterizar alteraciones patológicas de la excitabilidad cortical en varias patologías y estudiar la respuesta cortical a distintas intervenciones neurofarmacológicas. Este tipo de abordaje promete ofrecer una estrategia controlada y objetivable para la elección del fármaco más indicado para cada enfermo con epilepsia, depresión, u otras enfermedades neuropsiquiátricas. Por otro lado, en el ámbito terapéutico, la EMTr promete ofrecer alternativas seguras y eficaces

para el tratamiento de un gran número de patologías, incluyendo, entre otras epilepsia, dolor crónico (por ejemplo, migrañas, dolor neuropático o dolor visceral), enfermedad de Parkinson, temblor, espasticidad, depresión, esquizofrenia, autismo, trastornos de la atención, trastornos obsesivocompulsivos, alucinaciones o la rehabilitación de las secuelas motoras, cognitivas y lingüísticas de un infarto cerebral o una lesión traumática.

Principios Físicos de la Estimulación Magnética

La base de la estimulación magnética es la inducción electromagnética, descubierta por Faraday en 1831. Un pulso de corriente fluyendo a través de una bobina de hilo conductor genera un campo magnético. La frecuencia de cambio de este campo magnético determina la inducción de una corriente secundaria en cualquier conductor cercano. En la EMT, una corriente pasa a través de una bobina de hilo de cobre encapsulada en una carcasa de plástico, situada sobre la cabeza del sujeto. En el momento en que un pulso de corriente pasa a través de la bobina de estimulación, se genera un campo magnético que pasa a través del cuero cabelludo y la calota del sujeto sin atenuarse (solamente decae con el cuadrado de la distancia). Este campo magnético variable en el tiempo induce una corriente en el cerebro del sujeto. De este modo, la EMT podría considerarse como una forma de “estimulación eléctrica no invasiva, sin electrodos, por inducción electromagnética”. [18]

Estimulador magnético

El circuito básico de un estimulador magnético (Fig. 9) incluye un condensador (o banco de condensadores) y su circuito de carga, y un circuito de descarga que utiliza un interruptor electrónico denominado thyristor, capaz de hacer fluir miles de amperios en milisegundos a través de una bobina de estimulación. Este circuito básico puede modificarse para producir pulsos repetitivos de EMT (EMTr).

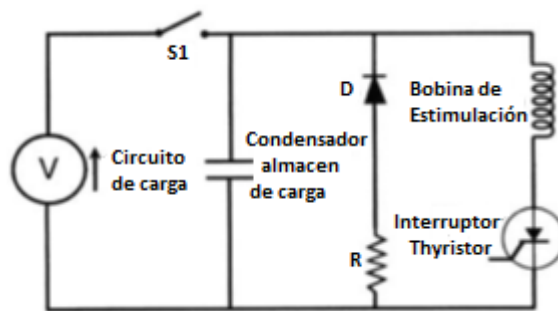


Figura 9. Diagrama esquemático de un estimulador magnético estándar (pulsos simples). [18]

La corriente necesaria para generar un campo magnético de intensidad suficiente como para estimular la corteza cerebral es aproximadamente 7-10 kA. Esta corriente se aplica en un pulso muy breve a través de la bobina (duración aproximada de 1 ms). Se transfieren aproximadamente 500 J a la bobina en menos de 100 μ s. El pulso puede ser monofásico o polifásico, lo que determina ciertas propiedades biológicas del estímulo. En cualquier caso, la variación en el tiempo es alta, ya que ésta determina la magnitud del campo magnético y de la corriente secundaria inducida. El campo magnético pasa de 0 a 2,5 T en aproximadamente 50 μ s. El campo inducido interactúa con el tejido y, por lo tanto, eventualmente hay que considerar dos fuentes: corrientes de inducción generadas directamente por la corriente que fluye por la bobina y corrientes de condensación generadas por la acumulación de carga en toda interfase de tejidos de resistencia y conductividad diferentes (por ejemplo, cuero cabelludo y cráneo, cráneo y líquido cefalorraquídeo, líquido cefalorraquídeo y cerebro). La despolarización de neuronas y la generación de un potencial de acción dependen de la diferencia de potencial a través de la membrana axonal o dendrítica.

La probabilidad de que un campo inducido active una neurona es una función de la derivada espacial del campo a lo largo de la membrana neuronal. La distinta orientación de las neuronas en la corteza cerebral y sus axones impide una traslación sencilla de las observaciones en conductores homogéneos al volumen de tejido nervioso afectado por la EMT en un cerebro. Así pues, el conocimiento, cuanto con más detalle mejor, de la anatomía de las áreas corticales estimuladas es crítico para una correcta interpretación de los efectos

de la EMT. Eventualmente, el uso de técnicas avanzadas de neuroimagen, como *diffusion tensor imaging* con resonancia magnética, podría ser útil para guiar la óptima orientación de la bobina de estimulación para estimular una zona cortical concreta en un individuo dado.

Bobina de estimulación

Existen bobinas de estimulación de distintas formas y tamaños (Figura 10) .

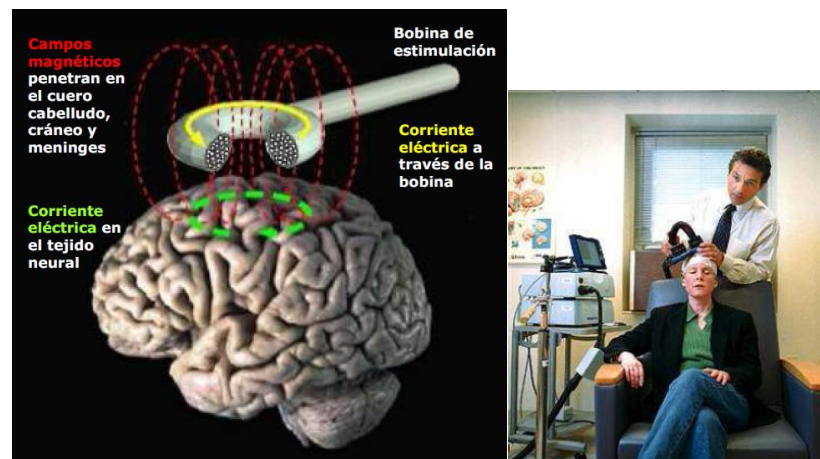


Figura 10. *Aplicación del EMT [18]*

Todas ellas consisten en una o más bobinas de hilo de cobre completamente aislado, normalmente recubiertas con un molde de plástico. Los dos tipos de bobinas utilizados con mayor frecuencia son la bobina circular y la bobina en forma de 8 (Figura 11). El campo eléctrico generado y, por lo tanto, la focalidad y penetración del estímulo, depende de la geometría de la bobina. La estimulación con una bobina en forma de 8 puede aumentar la focalidad de estimulación. Esta configuración consiste en dos bobinas circulares que transportan corrientes en direcciones opuestas, y allí donde las bobinas se unen se produce una suma del campo eléctrico. [18]

La figura 11 muestra el campo eléctrico inducido. Ahora bien, la región de estimulación efectiva depende no sólo de la geometría de la bobina, sino también del tipo, la orientación y el nivel de actividad de las neuronas subyacentes a la bobina y de la variabilidad de conductividad local. Además de las diferencias de focalidad en la corriente inducida, las bobinas circulares

y en forma de 8 muestran una afinidad de estimulación distinta para las diferentes estructuras nerviosas dentro del cerebro. Es, por lo tanto, necesario elegir cuidadosamente las bobinas de estimulación dependiendo del propósito del estudio, y es crítico considerar siempre las características de la bobina utilizada cuando se interpretan los resultados de los estudios con EMT.

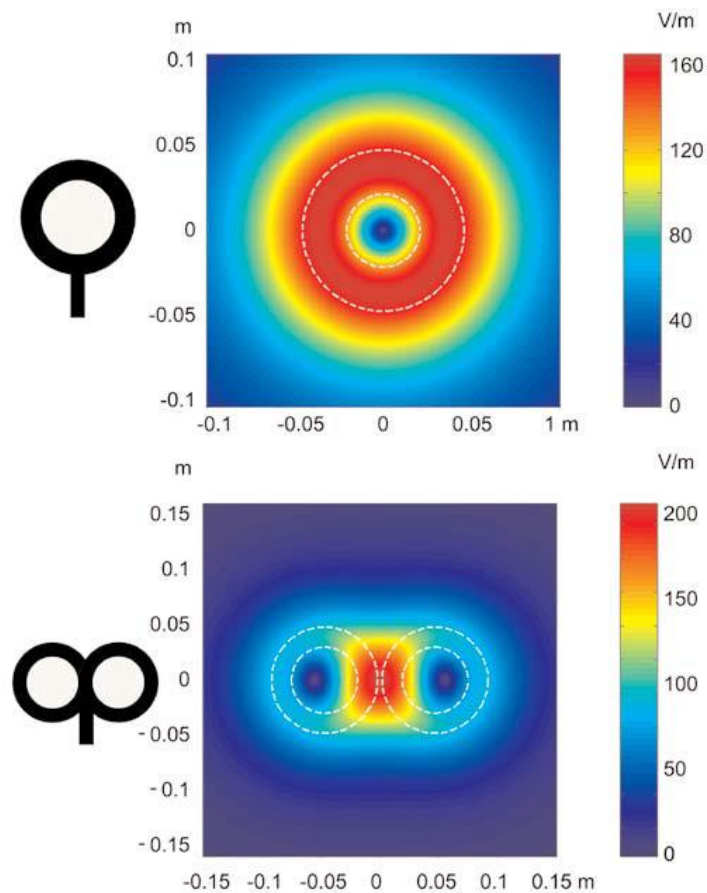


Figura 11. *Distribución de los campos eléctricos inducidos por una bobina de estimulación circular (superior) y una bobina en forma de 8 (inferior). [18]*

La bobina circular tiene 41,5 mm de diámetro en la espira interior, 91,5 mm en la espira exterior (promedio de 66,5 mm) y 15 espiras de hilo de cobre. La bobina en forma de 8 tiene 56 mm de diámetro en la espira interior, 90 mm de diámetro en la espira exterior (promedio de 73 mm) y nueve espiras de hilo de cobre en cada ala. La morfología externa de cada espira se representa con líneas blancas discontinuas sobre la representación de los campos inducidos.

3.5. Tomografía por Emisión de Positrones (PET)

Es una técnica de diagnóstico que permite la visualización in vivo de fenómenos biológicos y bioquímicos de forma no invasiva en los organismos.

Con PET somos capaces de apreciar las alteraciones funcionales o metabólicas que se producen en el organismo por diversas causas y que preceden a los cambios morfológicos. Es por tanto un método de diagnóstico precoz y un buen ejemplo de lo mucho que puede aportar la física a la medicina.

Nos proporciona imágenes bi y tridimensionales de la actividad cerebral midiendo los isótopos radioactivos que se inyectan dentro del torrente sanguíneo (Figura 12). Las tomografías PET cerebrales se utilizan para detectar o resaltar tumores y medir el metabolismo celular y tisular cerebral, mostrar el flujo sanguíneo, evaluar a los pacientes con trastornos convulsivos que no responden a la terapia médica y pacientes con ciertos trastornos de la memoria, y determinar cambios cerebrales tras lesiones o abuso de drogas, entre otros. Un isótopo radioactivo, de bajo nivel, se inyecta en el torrente sanguíneo y se une a sustancias químicas, fluyendo al cerebro. El isótopo puede rastrearse mientras el cerebro realiza diferentes funciones. El paciente permanece quieto mientras sensores por encima detectan rayos gamma en los tejidos del cuerpo. Un ordenador procesa la información y la muestra en un monitor. Usando diferentes compuestos, puede rastrearse simultáneamente más de una función cerebral. La PET es indolora y relativamente sin riesgos. [2]

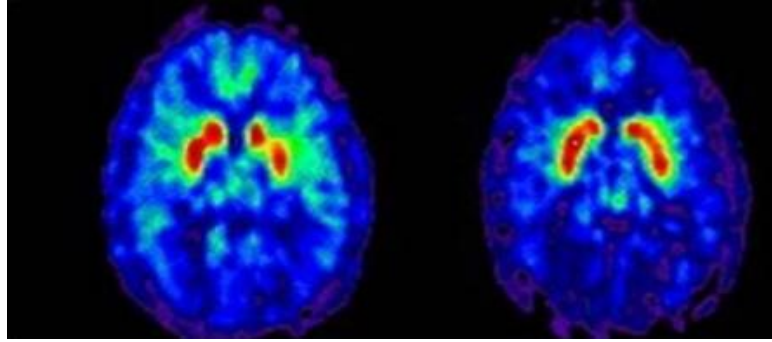


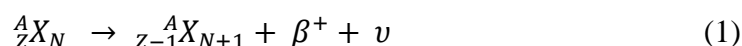
Figura 12. *Imágenes de PET, en secciones axiales o transversales, que muestran la activación en algunas áreas cerebrales, marcadas de color rojo-amarillo. [2]*

La característica más importante de esta técnica y que la diferencia de las demás es el empleo de radioisótopos β^+ de vida media corta. Estos radioisótopos se introducen en moléculas que posteriormente se inyectan al paciente en cantidades de traza, por lo que no se producen efectos farmacodinámicos apreciables. Estas moléculas se denominan trazadores y su elección depende del objetivo del estudio que se realice al paciente. Los radioisótopos emiten positrones que tras recorrer un cierto espacio se aniquilan con un electrón del medio, dando lugar a la emisión de dos fotones γ en la misma dirección y en sentidos opuestos con una energía de 511 keV cada uno. Los fotones se detectan principalmente cuando éstos interactúan en un material centelleador y se crea un pulso de luz que es transformado en pulso eléctrico por un tubo fotomultiplicador. El reducido periodo de semidesintegración de los emisores de positrones hace además posible la realización de múltiples estudios en un mismo sujeto en un periodo de pocas horas.

FISICA DEL PET

Básicamente son dos fenómenos los que se dan en la detección de PET: emisión de positrones por parte de los trazadores que se inyectan a los pacientes y con ello la aniquilación de estos positrones generando fotones gamma, y por otra parte la detección de dichos rayos gamma.

El esquema general de desintegración es el siguiente:



Al emitir el positrón, el núcleo cae a un estado más cercano a la línea de estabilidad. La energía de emisión no toma un valor fijo, como es el caso de la radiación gamma, debido a que junto con la emisión del positrón se emite un neutrino, repartiéndose la energía entre ambos de forma aleatoria. Los parámetros que definen la forma del espectro beta son su energía máxima y su energía media de emisión.

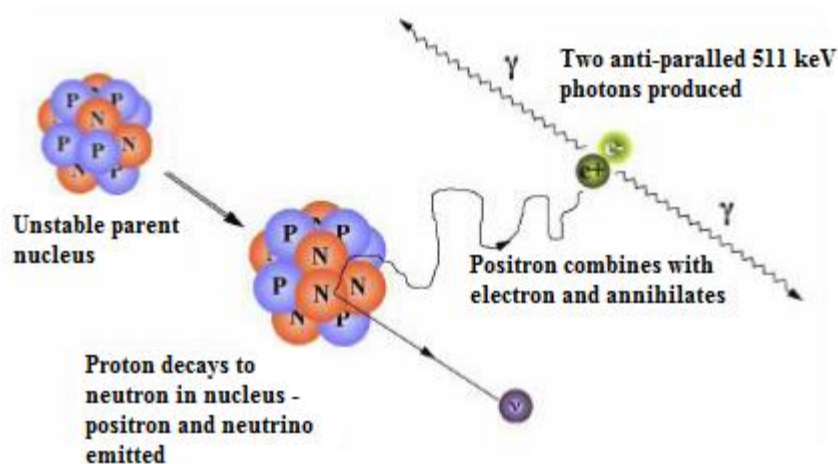


Figura 13. Esquema de desintegración [2]

El positrón al ser emitido recorre una distancia que depende de su energía (unos pocos milímetros en medio acuoso) hasta que se aniquila con un electrón del medio material. La masa de ambas partículas se convierte en energía según la ecuación $E=mc^2$ emitiéndose dos fotones con energía de 511 keV en la misma dirección y sentidos opuestos. Cuando el momento lineal en el instante de la aniquilación es distinto de cero la dirección de los fotones γ deja de ser colineal, debido al principio de conservación del momento. A este fenómeno se le conoce como no-colinearidad y tiene gran influencia en PET. Desde que se crea el positrón hasta que se aniquila suelen transcurrir unos 10^{-9} s, por lo que podríamos considerarlo casi simultáneo.

Los isótopos que se suelen usar son ^{11}C , ^{13}N , ^{15}O y ^{18}F . Los tres primeros tienen una vida media muy corta, por lo que para su empleo es necesario tener un ciclotrón en el mismo centro que el escáner. En cambio, la vida media del ^{18}F es aproximadamente unas dos horas, por lo que se puede crear en centros satélites y ser transportado hasta el hospital en el que se encuentra el escáner. Además el ^{18}F en su desintegración no emite rayos gamma adicionales que puedan llevar a confusión, por lo tanto es el núcleo más apto para PET.

ESCÁNERES EMPLEADOS EN PET

Debido a que en PET lo que se detecta son los fotones γ antiparalelos originados por la aniquilación del positrón emitido en la desintegración β^+ con un electrón del medio; un escáner adecuado deberá de ser capaz de detectar estos fotones en coincidencia.

Habitualmente, un escáner PET consta de varios bloques detectores enfrentados dos a dos, cada uno de los cuales dispone de un array de cristales centelleadores, donde el fotón incidente deposita su energía total o parcialmente; y un fotomultiplicador acoplado a cada bloque detector, que se encarga de convertir el débil pulso de luz obtenido en el centelleador en una señal eléctrica y de amplificar dicha señal para que la electrónica pueda procesarla. También es necesario que el escáner posea un sistema electrónico de coincidencia, que será el encargado de decidir si dos eventos consecutivos son efectivamente una coincidencia. Por último, el escáner debe poseer un software adecuado que permita hacer la reconstrucción de imagen PET que se desea obtener.

En la figura 14 se muestran las diferentes partes descritas para un escáner PET.

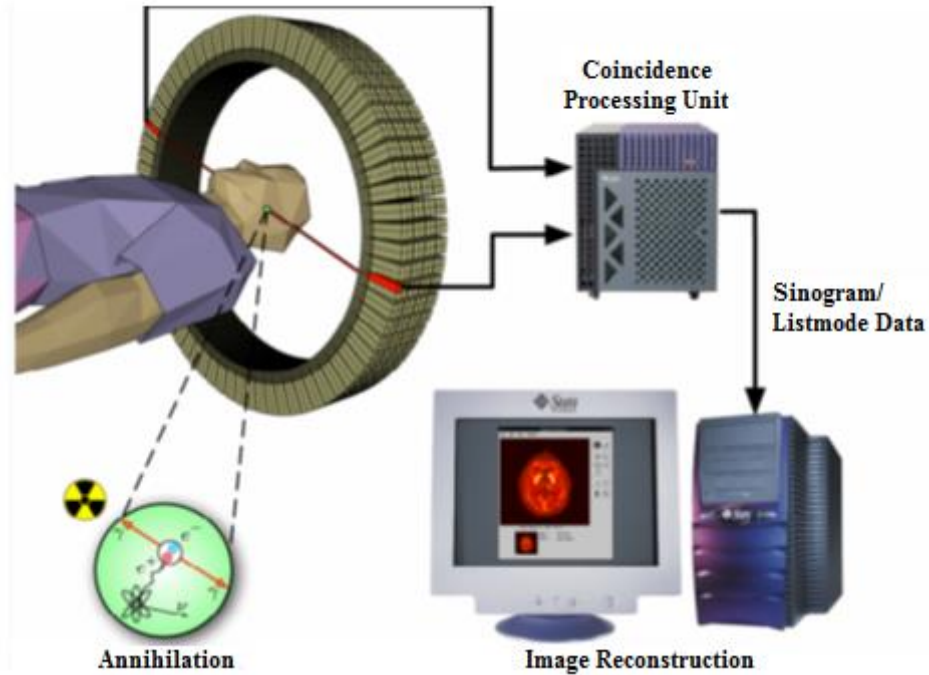


Figura 14: Esquema de un escáner PET [2]

La complementariedad existente entre la información que ofrecen las distintas técnicas de neuroimagen respecto al estado físico-fisiológico del cerebro está haciendo que la evolución natural en el equipamiento de diagnóstico se dirija hacia el desarrollo de instrumentos multimodalidad; es decir, sistemas que permitan combinar al menos dos técnicas de imagen complementarias en el mismo aparato. Generalmente, una de ellas proporciona información anatómica de gran precisión y la otra, información metabólica (funcional), de manera que su fusión permite obtener un conocimiento más profundo y comprensivo de los procesos patológicos cerebrales. A medida que se desarrollan nuevas técnicas y su demanda es cada día mayor, estas tecnologías adquieren mayor complejidad.

4. Teorías Mecanocúánticas de la Conciencia

El proceso por el cual el cerebro humano procesa y almacena información aún no se comprende en su totalidad. El complejo mecanismo de *psiquis*, pensamiento y conocimiento se está abordando desde diferentes campos científicos, como la biología molecular, la bioquímica, la farmacología, la neurofisiología, la físico-química y, más recientemente, la física cuántica. Así se establece una íntima

relación entre la mente y el cerebro, que se analiza dentro del contexto de los sistemas complejos psicofísicos dinámicos.

La mecánica cuántica, a través de sus postulados y planteamientos matemáticos, es una gran herramienta para dilucidar el comportamiento y relación que existe entre la mente y el cerebro.

Lo que procesamos en nuestro cerebro está mediado por reacciones químicas mesoscópicas, que progresivamente van disminuyendo de escala, conforme se almacena y reestructura la información entrante, que posteriormente revertirá el proceso (de lo atómico a lo mesoescalar) cuando recurrimos a nuestros recuerdos, sueños, sentimientos, etc.

La relación mente-cerebro puede estar representada mediante un complejo modelo matemático, que vincula la superposición de estados cuánticos, las funciones y densidades de onda entre otras propiedades inherentes la mecánica cuántica, que de una u otra manera son la marca de la esencia de cada individuo. [19]

4.1. Interacción dualista entre el alma y el cuerpo (John Eccles)

Se trata de una teoría claramente dualista. En opinión de Eccles, propone que la unicidad del yo tiene su origen en la existencia de un alma espiritual creada de manera sobrenatural, siendo así, es imposible que la unicidad experimentada por uno mismo pueda originarse a partir de la infinidad de conexiones sinápticas cerebrales, estimadas en unos 100 000 millones, de igual modo, no es posible que esta unicidad emerja a partir del código genético de cada persona.

Ahora, el problema es: ¿qué es ese ente espiritual? y ¿cómo se relaciona este con el cerebro? Eccles, manifiesta la existencia de dos categorías de neuronas: aquellas que sólo tienen un comportamiento físico, puramente neurobiológico, serían las neuronas de evento neural (EN), que corresponderían, por ejemplo, a las células de las vías motoras o sensitivas, y las células en las que se produce la identidad entre eventos mentales y neurales (EMN), situadas en

determinadas áreas corticales concretas, probablemente en regiones de asociación.

Para explicar cómo funciona el comportamiento humano y su conciencia se necesita de la existencia de algo extramaterial. Según el Eccles, existe evidencia de que diversas actividades mentales (pensamientos, sentimientos, intenciones, etc.), generados internamente, son capaces de actuar sobre las neuronas. Esto nos lleva a señalar que se necesita de algo más que un sistema cerrado, puramente material, para explicar estos datos.

Llamaremos dendrón, a las dendritas apicales de grupos aproximadamente 200 de ellas. Cada uno de estos dendrones se relacionará unívocamente con una unidad funcional del componente mental denominado psicón. Puede decirse que el conjunto de todos estos psicones, de naturaleza puramente inmaterial, forman el alma. El problema que surge a continuación es cómo explicar la interacción entre los dos constituyentes del hombre: dendrones (materiales) y psicones (espirituales). Para ello, la clave está en las sinapsis de las espinas dendríticas de las células piramidales de determinadas áreas corticales. [30]

Las sinapsis centrales en los mamíferos tienen dos grupos funcionales de vesículas sinápticas: un grupo adherido a la rejilla presináptica, estructura proteica reticular, de características casi cristalinas, que en cierto modo controla la excitación, y otro *pool*, de vesículas de reserva. La probabilidad de liberación de una vesícula sináptica en un botón es claramente inferior a 1, y esta probabilidad la regula la rejilla presináptica.

Eccles emplea el concepto de campo mecanocuántico de probabilidad, aunque no explica muy bien sus características, se trataría de un campo con existencia física real, cuya acción sería modificar la probabilidad de liberación de una vesícula presináptica y actuar, presumiblemente, sobre la rejilla presináptica. Con el principio de incertidumbre, según Eccles, no se violaría el principio de conservación de la energía. Este proceso explicaría la acción del alma sobre el cerebro. La explicación del proceso inverso, es decir, la interacción entre la corteza cerebral y el alma espiritual se llevaría a cabo por medio de un proceso

como el siguiente: la exocitosis de las terminaciones presinápticas de las fibras aferentes sobre las células corticales se detectaría por el campo cuántico de probabilidad, presumiblemente al interactuar a través de la rejilla presináptica. [30]

En ese momento, el evento puramente neural se convertiría en mental, y se haría consciente. La existencia de este campo cuántico de probabilidad unitario permitiría explicar la unicidad radical del ser humano y su conciencia. [20]

4.2. Teoría de la conciencia como condensación de Bose-Einstein (Dana Zohar)

Antes de que fuera observado el fenómeno de la superconductividad, Herbert Fröhlich sugirió el papel de los efectos cuánticos colectivos para sistemas biológicos a través del hallazgo de oscilaciones cuánticas coherentes en membranas biológicas. Además, mostró que oscilaciones impulsadas con energía metabólica pueden condensarse con casi toda la energía suministrada, activando el modo de vibración de frecuencia más baja en el cuerpo biológico, propiedad comparada con la condensación Bose-Einstein o superconductividad. Es decir, que la energía suministrada no se convierte totalmente en energía térmica, sino que una parte permanece altamente organizada para ser almacenada.

Un condensado Bose Einstein es otro estado de la materia, que se compone en la naturaleza en los superfluidos, los superconductores, los láseres, las estrellas de neutrones, etc. Las propiedades de estos elementos tienen un grado de coherencia que sus componentes pierden sus propiedades o identidades individuales y se comportan todos como si fueran uno sólo.

La física Dana Zohar en el texto *La conciencia cuántica*, nos manifiesta que: la principal característica de la conciencia es su unidad, por lo que el sustrato físico de la misma debe ser un ‘estado constante’, es decir, que sea uniforme en el espacio y persistente en el tiempo. Esta propiedad pone límite al tipo de teorías físicas que pueden aplicarse para la explicación científica de la mente. [26]

Obviamente, todo sistema físico puede estar en una fase coherente o fase condensada, donde, virtualmente, todas sus partes compartan idénticas propiedades, o en una fase no condensada, en la que cada parte del sistema presentaría propiedades diferentes. Resulta evidente que un sistema de fase condensada puede considerarse como una unidad, aunque se trate de un sistema macroscópico, pues se describe por una(s) única(s) ecuación(es) para todo punto del mismo.

Siendo así, podemos afirmar que la conciencia debe emerger a partir de un sistema de fase condensada.

En Mecánica Cuántica (MC) existe un fenómeno que permite la máxima condensación de un sistema: la Condensación Bose Einstein (CBE). Si existiera CBE en el cerebro, ésta podría ser el sustrato físico de la conciencia. [5]

Este mecanismo que permite una fase condensada a la temperatura del cuerpo se propuso hace unos 40 años y se denomina 'sistema de bombeo'. Consiste en que las membranas celulares se componen de dipolos eléctricos que emiten fotones virtuales en el intervalo de las microondas, debido a su vibración térmica. Más allá de cierto umbral, las moléculas vibrarán al unísono, y aumenta su sincronización hasta que llegan a la CBE, de modo que todas aquellas membranas neuronales que formen el sistema se convierten en un todo único. En el fondo, se trata de un sistema de resonancia en el que la emisión de un fotón de una longitud de onda determinada dará lugar a la absorción del mismo por otro dipolo, que comenzará a vibrar con una frecuencia cada vez más parecida a la del dipolo emisor, de modo que, cuando alcance ésta, emita a su vez fotones de idéntica energía (es decir, frecuencia). Este sistema amplificado permite que todo el sistema de múltiples neuronas resuene al unísono. [26]

La energía necesaria para que los dipolos comiencen a oscilar y a 'cebar' todo el sistema podría provenir de los potenciales de acción. Es decir, la generación

de un potencial de acción podría ser suficiente para que los dipolos de la membrana neuronal comenzaran a emitir fotones que, al absorberlos las neuronas próximas, inducirían a éstas a ‘resonar’ y emitir, a su vez, fotones que aumentarían el sistema CBE mediante una reacción en cadena; ello, hasta abarcar regiones cada vez más distantes, de manera que las moléculas de los neurolemas adquirieran las propiedades de uniformidad, ausencia de rozamiento y totalidad indivisa, y generar un campo unificado que sería en realidad ‘una experiencia consciente’.

Un aspecto relevante de esta teoría, desde el punto de vista neurocientífico, es que la característica fundamental de la conciencia (su unidad) no tiene nada que ver con las conexiones de las neuronas individuales. Existiría un funcionamiento ‘clásico’ del cerebro en el que las neuronas funcionarían tal y como lo conoce la Neurociencia actual, que permitiría la computación de los estímulos externos, la integración del instinto y las emociones o la memoria. Estos procesos son, todos ellos, inconscientes, y precisan una CBE para que los perciba el sujeto. El mecanismo que serviría de ‘puente’ entre ambos tipos de procesos, mecanocuánticos conscientes y clásicos inconscientes, sería la actividad eléctrica observada en el EEG, cuando éste se presenta como actividad coherente estacionaria. [5]

4.3. Teoría de la conciencia como coherencia microtubular (Roger Penrose)

Este modelo incorpora la Mecánica Cuántica con la actividad neuronal. Para seguir la línea argumentativa, la descripción se reducirá a la teoría Hameroff y Penrose (1998); las bases conceptuales de la MC son necesarias para entender a grandes rasgos el fenómeno. Éste planteamiento indica que los microtúbulos de las neuronas son sitios ideales para que se produzca la coherencia cuántica. En este sentido, grandes grupos de neuronas podrían estar actuando coherentemente si en los microtúbulos de cada una de ellas se dan las condiciones necesarias para que esto ocurra. Este estado coherente, según Penrose, es lo que permite que surja la conciencia en los sistemas biológicos, en palabras del matemático, la coherencia cuántica —se refiere a circunstancias en que grandes números de partículas pueden cooperar colectivamente un

simple estado cuántico que permanece esencialmente no enmarañado con su entorno. [21]

En otras palabras, la palabra coherencia en este contexto neural, se refiere al hecho de que las oscilaciones cuánticas, que parten de los microtúbulos, pueden variar a unísono en lugares diferentes del cerebro. Por su parte, Hameroff había sugerido que en los microtúbulos se realizaba computación binaria (0 y 1) gracias a las dos configuraciones distintas que pueden tomar las tubulinas que conforman el microtúbulo. Así, cada microtúbulo se puede comportar como un autómata celular, es decir, como un ordenador cuántico capaz de llevar a cabo computaciones simples. [27]

En este sentido, el modelo Hameroff-Penrose de la consciencia se ha basado en la función del citoesqueleto, como sistema nervioso de la célula conformado en parte por microtúbulos, para explicar actividad neuronal que permita configurar la consciencia. Es importante resaltar que, aunque se parte de la propuesta de condensados de Fröhlich, la teoría Hameroff-Penrose refiere que los estados coherentes no ocurren en las membranas de las neuronas, sino en el citoesqueleto o los microtúbulos propiamente. [14]

5. Microtúbulos y Mecánica Cuántica

5.1. Coherencia Neuronal

Las formulaciones de coherencia neuronal como las de Rodolfo Llinás, Francis Crick o Christof Koch, entre otros neurocientíficos, afirma que la actividad cerebral sincronizada es la responsable de la conciencia. El neurólogo Llinás empieza su descripción con lo que él denomina, propiedades intrínsecas oscilatorias del cerebro. Parte del hecho de que el sistema nervioso está dotado de actividad eléctrica particular que le da cierta funcionalidad. Esta actividad eléctrica se manifiesta en la membrana que rodea la célula por medio de vibraciones de voltaje diminutas (milésimas de voltio). Estas ondulaciones muestran dinámicas no lineales que confieren al sistema gran agilidad temporal. Dicha actividad es relacionada por Llinás con la actividad eléctrica y de potenciales de acción de la célula, que entre otras cosas, determinan si la

célula responde a la señal que le llega o si la ignora. Las neuronas, cuyo comportamiento es rítmico y oscilatorio, pueden impulsar la actividad de otras neuronas mediante potenciales de acción, conformando así grupos neurales que oscilan en fase, es decir en forma coherente, que es la base de la actividad simultánea (algo así como lo que ocurre en la marcha de los desfiles militares, en el ballet o en las danzas de grupo). Para Llinás esta coherencia es el modo por el cual la comunicación entre las neuronas es efectiva. Un grupo de neuronas que resuena en fase entre sí, puede hacerlo con neuronas distantes afines. De forma importante, el neurólogo refiere que no todas las neuronas resuenan de manera continua, sino que pueden modificar su actividad de oscilación, de tal manera que pueden hacerlo o no hacerlo para representar el mundo externo en continuo cambio. La raíz de la cognición se encuentra en la resonancia, la coherencia y la simultaneidad de la actividad neuronal, generadas no por azar, sino por actividad eléctrica oscilatoria. La consciencia es la actividad intrínseca que conforma la sensación de nosotros mismos. Nos damos cuenta de las diferencias entre esta forma de coherencia que propone Llinás, basado en la actividad eléctrica coherente, y el modelo cuántico neuronal que se basa en condensados Bose-Einstein que distan mucho de ser descritos desde el modelo clásico. Con lo anterior no se quiere decir que estas descripciones y modelos sean obsoletos, pero en el concepto del autor, pueden responder a características mucho más básicas presentes en la MC.

Así pues, tomaremos los elementos sobre los que se basa esta teoría desde el punto de vista de Penrose. La primera hace referencia a la no computabilidad de la mente humana, lo que indica que ningún ordenador podrá simular los mismos procesos que un ser humano ejecuta en el cerebro. La segunda, refiere que toda explicación de la consciencia humana se debe basar en perspectivas globales del cerebro, es decir, considerar varias zonas del cerebro para generar la consciencia. A partir de estas dos ideas básicas y la MC de Penrose desarrolla el concepto de computación de microtúbulos, propuesto por Stuart Hameroff para dar a luz a su teoría de la consciencia humana. Penrose además, propone un modelo que utiliza la coherencia cuántica neuronal en los microtúbulos de la neurona, cuestión que se tratará a continuación. Para seguir la línea argumentativa, la descripción se reducirá a la teoría Hameroff y Penrose, para la cual ya se dieron las bases conceptuales de la MC necesarias

para entender a grandes rasgos el fenómeno. Éste planteamiento indica que los microtúbulos de las neuronas son sitios ideales para que se produzca la coherencia cuántica. En este sentido, grandes grupos de neuronas podrían estar actuando coherentemente si en los microtúbulos de cada una de ellas se dan las condiciones necesarias para que esto ocurra. Este estado coherente, según Penrose, es lo que permite que surja la consciencia en los sistemas biológicos, en palabras del matemático, la coherencia cuántica —se refiere a circunstancias en que grandes números de partículas pueden cooperar colectivamente un simple estado cuántico que permanece esencialmente no enmarañado con su entorno. En otras palabras, la palabra coherencia en este contexto neural, se refiere al hecho de que las oscilaciones cuánticas, que parten de los microtúbulos, pueden variar a unísono en lugares diferentes del cerebro. Por su parte, Hameroff había sugerido que en los microtúbulos se realizaba computación binaria (0 y 1) gracias a las dos configuraciones distintas que pueden tomar las tubulinas que conforman el microtúbulo. En este sentido, el modelo Hameroff-Penrose de la consciencia se ha basado en la función del citoesqueleto, como sistema nervioso de la célula conformado en parte por microtúbulos, para explicar actividad neuronal que permita configurar la consciencia. Es importante resaltar que, aunque se parte de la propuesta de condensados de Fröhlich, la teoría Hameroff-Penrose refiere que los estados coherentes no ocurren en las membranas de las neuronas, sino en el citoesqueleto o los microtúbulos propiamente. [27]

Para hacer una distinción aquí, los componentes del citoesqueleto son principalmente filamentos de distintos calibres (6 y 7 nm) y microtúbulos, largos cilindros huecos con un diámetro externo (25 nm), mayor que cualquiera de los otros filamentos, que entraremos a describir con algo más de precisión en los párrafos que siguen. Para esta descripción, se empezará por la estructura de los microtúbulos, se pasará a describir algunas dinámicas y después se hará referencia a sus funciones. [21]

5.2. Microtúbulos (MTs)

Partiremos hablando de las células eucarióticas, estas son células que tienen un núcleo perfectamente definido y abundan en nuestro cuerpo, ahora vayámonos al cerebro, allí, una de las más importantes células eucarióticas son las neuronas y las células Glia. Las neuronas son las células encargadas del transporte de impulsos nerviosos y la expulsión de neurotransmisores o Sinapsis únicamente, y las células Glia, son células que aunque también están en el sistema nervioso, no transportan impulsos nerviosos, pero tienen su importancia en el hecho de ser las que soportan la red neuronal; estas se dividen según su ubicación en el cerebro, células de Schwann en el sistema nervioso periférico (SNP) y Oligodendrocitos en el sistema nervioso central (SNC), la función principal es la de mielinizar los axones de las neuronas para de esta forma mejorar la conducción del impulso nervioso y que así sea más eficaz la sinapsis. Los Microtúbulos se pueden encontrar en ambas células.

Los Microtúbulos son polímeros filamentosos formados por proteínas globulares, siendo estas la Tubulina α y la Tubulina β . En las neuronas la orientación de los MTs es siempre paralela al axon y últimamente, aunque como función secundaria, la dinámica del **procesamiento y transporte de información celular** ha sido de gran interés en varios estudios. [22]

Un Microtúbulo (MT) es un polímero proteico formado por trece protofilamentos. Un Protofilamento es la unión en cadena de pares de proteínas globulares, llamados dímeros y un Dímero es la unión de una Tubulina α y una Tubulina β . La unión en paralelo de cada uno de los protofilamentos lleva al MT a tomar la forma de un cilindro hueco, de ahí que también se le pueda definir como una proteína filamentososa. La longitud del Microtúbulo (MT) puede variar, pero es comúnmente encontrado un valor de $1\mu m$, cada Tubulina tiene una altura y un ancho definido, aproximadamente $4nm$, y una profundidad de $5nm$, lo cual nos lleva a la conclusión que un Dímero tiene una longitud de $8nm$ aproximadamente, el diámetro externo tiene un valor de $25nm$ y el valor del diámetro interno es de $15nm$, con lo cual quedan perfectamente definidas las dimensiones del MT, como se muestra en la figura 15. [28]

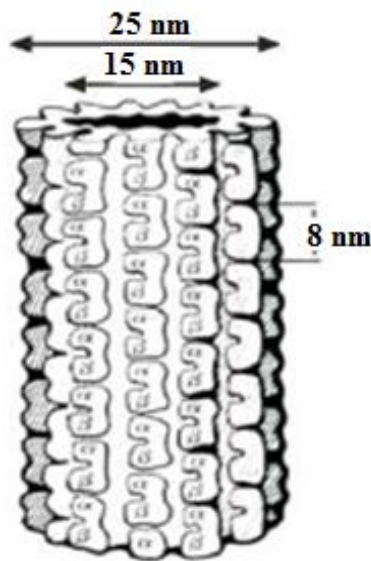


Figura 15. *Fisiología del Microtúbulo. Se muestran las dimensiones de los diámetros y de los Dímeros. [27]*

El Microtúbulo crece a medida que va acoplando dímeros por uno de sus extremos, las tubulinas andan sueltas en todo el citoplasma celular y al formarse el dímero este acopla en cada tubulina una molécula de *Guanosina trifosfato (GTP)*, después, al acoplarse este par al MT, solo el *GTP* de la Tubulina β se hidroliza a (*GDP*) *Guanosina difosfato*, mientras que la molécula de *GTP* de la Tubulina α no, llevándonos a la estrategia de incorporación de energía llamada la Hidrólisis del *GTP* a *GDP*. La molécula del *Guanosina Trifosfato* que hará hidrólisis al contacto con una molécula de agua, para darnos así, una nueva molécula de *Guanosina Difosfato*, mostrándonos al mismo tiempo la existencia de un exceso de energía ΔE , residuo de esta reacción, energía que se sabe adquiere el MT. [27]

Una de las características fundamentales del MT, es la composición química de la tubulinas, la constitución de estos dímeros por aminoácidos como el Ácido aspártico y la Lisína son los de más interés, ya que para el primer aminoácido existe una carga eléctrica negativa neta libre en función de su composición química y una carga eléctrica positiva neta para el segundo aminoácido, mostrándose además un exceso de Ácido aspártico en el Dímero, exactamente en la Tubulina β . [23]

Podemos afirmar que en todo el MT existe un exceso de electrones, exceso que puede ser modelado como un gran dipolo eléctrico, si cada concentración de cargas eléctricas se ve instaurada como pares en cada dímero, este hecho servirá más adelante como base para el modelo cuántico.

En el entorno Microtubular una de las características más importante del potencial de acción es el comportamiento de *Todo o Nada*, que implica que llegado a un potencial umbral, se generará un potencial de acción con una misma amplitud siempre. [22]

Así afirmaremos, que la señal eléctrica viajará entonces paralela al axón hasta el final de la neurona, llevando como toda onda, energía que será usada para la expulsión de neurotransmisores creándose de esta manera una sinapsis entre las neuronas transmitiendo de esta forma el potencial de acción a la siguiente neurona para así crear el impulso nervioso que será la sumación temporal o espacial de potenciales de acción de las mismas características.

5.3. Un modelamiento cuántico

Las cargas eléctricas ubicadas en los dímeros son de suma importancia, puesto que son las causantes de que el sistema tenga transiciones de fase o posea un comportamiento eléctrico, dado este en función de la bioquímica del MT.

5.3.1. Propiedades Semiconductoras

Dada la composición bioquímica de los MTs, se puede hablar de propiedades semiconductoras en función de la constitución de la Tubulina por dos tipos de aminoácidos ya mencionados anteriormente, como lo son el Ácido aspártico y la Lisina, de configuración eléctrica tipo n y tipo p , respectivamente. Esta composición bioquímica de la molécula (Dímero) indica que en ella, hay una concentración tres veces mayor de Ácido aspártico que de Lisina y que en la Tubulina β se encuentra este exceso de concentración, lo cual nos lleva al supuesto que debiese existir como mínimo dos electrones libres por cada Dímero. Si analizamos geometría del MT podemos darnos cuenta que este puede

modelarse como una red cristalina, ya que se puede hacer una analogía entre los electrones libres que viajan en una estructura de red periódica por un material semiconductor y los electrones que también pudiesen viajar libremente por la estructura del MT. El electrón viajara mirando una red dada por el potencial creado por la unión entre cada Dímero con su vecino y por el potencial creado por la unión de las tubulinas de un mismo Dímero, en este caso, al igual que el sistema inorgánico, las distancias entre los potenciales dados por la unión de los dímeros es fija, al igual que la distancia que hay entre los potenciales que definen la unión de las tubulinas en cada Dímero del Protofilamento.

Se empleará el modelo de Hubbard¹, donde los electrones son excitaciones fundamentales de un sistema de muchas partículas, que interactúan con una red periódica distribuida a lo largo del Protofilamento donde los sitios de ligadura (donde puede estar el electrón) siempre van a ser el espacio que guarda cada Tubulína, para sistemas de este estilo, se pueden definir funciones de onda que cumpla las siguientes propiedades:

$$\{\Psi(r), \Psi^\dagger(r)\} = \delta(r - r') \quad (2)$$

$$\{\Psi, \Psi\} = \{\Psi^\dagger, \Psi^\dagger\} = 0 \quad (3)$$

Lo cual nos permite definir funciones de onda que estén dependiendo de los operadores escalera, de tal forma que:

$$\Psi = \sum_{\lambda} C_{\lambda} \Phi_{\lambda} \quad (4)$$

$$\Psi^\dagger = \sum_{\lambda} C_{\lambda}^\dagger \Phi_{\lambda}^* \quad (5)$$

De las ecuaciones (3) y (4), se obtiene las relaciones: $\{C_{\lambda}, C_{\lambda'}^\dagger\} = \delta_{\lambda, \lambda'}$, $\{C_{\lambda}, C_{\lambda}\} = \{C_{\lambda'}^\dagger, C_{\lambda'}^\dagger\} = 0$, relaciones que son básicas para el tratamiento de problemas bajo el modelo de la segunda cuantización.

¹ Tight-binding Hubbard model

Por las anteriores expresiones de los conmutadores se tiene que $2C_\lambda C_\lambda = 0$ ya que para fermiones se tienen solo dos estados $|0\rangle_\lambda$ y $|1\rangle_\lambda$, y se tiene también que $2C_\lambda^\dagger C_\lambda^\dagger = 0$, ya que dos partículas no pueden ser creadas en el mismo estado (o subir al mismo estado).

Ahora definiremos el operador Número N_λ , que da información acerca de la cantidad de fermiones que estando en un estado, saltan a otro, operador dado por la expresión.

$$N_\lambda = C_\lambda^\dagger C_\lambda \quad (6)$$

Operador que es unitario ya que $N_\lambda^2 = N_\lambda$, o por $0^2 = 0$ y $1^2 = 1$, que refleja el hecho que los fermiones operados bajo este operador dos veces consecutivas vuelven al estado en el que estaban al principio. Luego entonces, como se sabe que para electrones en sólidos es posible escoger la base de ondas planas, entonces el Hamiltoniano:

$$H = \frac{-\hbar^2}{2m} \nabla^2 + U(r) \quad (7)$$

que puede ser representado como:

$$H = \sum_{\vec{p}\sigma} \epsilon_{\vec{p}} C_{\vec{p}\sigma}^\dagger C_{\vec{p}\sigma} + \sum_q U(\vec{q}) \rho_q + V \quad (8)$$

Donde el segundo término de este Hamiltoniano representa la interacción entre los electrones y los átomos o iones que componen el sólido, de tal forma que $U(\vec{q})$, se le conoce como Pseudo potencial, y ρ_q se le conoce como el operador de densidad de electrones, y V , es un potencial que se puede definir según las características del sistema.

Para una interacción de Coulomb dada en la red, se sabe que $V_q = \frac{e^2}{r}$, entonces, al dejarlo expresado en términos de operadores escalera obtenemos la siguiente expresión: [22]

$$V = \frac{1}{2v} \sum_{k, k', \sigma, \sigma', q} \frac{4\pi e^2}{q^2} C_{k+q, \sigma}^\dagger C_{k-q, \sigma'}^\dagger C_{k' \sigma'} C_{k \sigma} \quad (9)$$

Esta es la expresión para un gas de electrones bajo esta interacción, donde los términos constantes salen de hacer una transformada de Fourier a la expresión del potencial de Coulomb.

Finalmente, obtenemos el Hamiltoniano que describe el modelo Hubbard, donde se muestra la energía potencial para la creación de fermiones en un Dímero, el término *Hopping* y el término de repulsión electrostática. [24]

$$\hat{H} = \sum_{i, \sigma} \epsilon_i \hat{N}_{i, \sigma} + \sum_{i \neq j, \sigma} W_{ij} \hat{C}_{i\sigma}^\dagger \hat{C}_{j\sigma} + \sum_j U_i \hat{N}_j^\uparrow \hat{N}_j^\downarrow \quad (10)$$

Donde N , es el operador que definió en la ecuación (6) e $i = 1, \dots, 2n$, representa los dos sitios en cada uno de los dímeros.

De esta última expresión, podemos ver que desde un enfoque cuántico, se puede tratar el fenómeno de transporte de señales eléctricas, dado que los tres términos que definen el Hamiltoniano del modelo Hubbard, son una simple formulación de la interacción de los electrones para viajar en un entorno de red periódica dada por el MT. [29]

5.4. Transporte de Señales Eléctricas en MTs

Como ya se mencionó, el MT puede ser modelado como una red periódica donde la periodicidad se ve reflejada en un potencial de doble pozo cuadrado por cada Dímero y que muestra la formación de barreras de potencial de diferentes alturas, de esta forma, a medida que el MT vaya captando dímeros,

la periodicidad aumentara, lo cual hace posible la existencia de señales eléctricas en el MT. [6]

En función de la anterior explicación, el modelo en una dimensión para esta formulación hace que biológicamente tengamos que ubicarnos en un Protofilamento y mirar el comportamiento del electrón frente a este potencial Periódico, como lo muestra la figura 16.

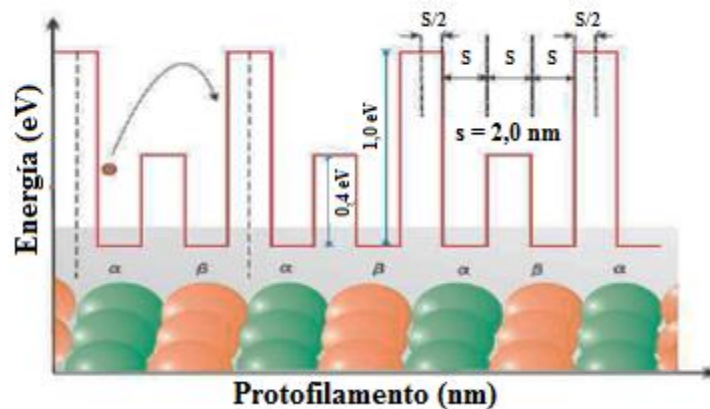


Figura 16. Doble pozo cuadrado donde se muestran las tubulinas y el electrón libre en el sistema. [29]

Las dimensiones de este pozo están definidas por los datos de las dimensiones del MT. Siendo la altura de la barrera que refleja la unión entre los dímeros de $1,0 \text{ eV}$ y la altura que señala la unión entre los monómeros es de $0,4 \text{ eV}$ [29].

La longitud de cada Monómero es de 4 nm , siendo así la longitud de un Dímero es de 8 nm . Entonces, ubicando el potencial sobre el Protofilamento, se puede entender que el ancho de cada barrera es de 2 nm , sin importar la altura, y que la base de cada pozo es también de 2 nm , con esto quedan perfectamente definidas las dimensiones del sistema periódico.

CAPÍTULO II. MATERIAL Y MÉTODO

Como material de estudio precisamos de la literatura especializada como se muestra en las referencias bibliográficas, que versa sobre Neurociencia, Mecánica Cuántica y tecnología y técnicas de investigación del funcionamiento del cerebro.

Se empleó el método Analítico, para luego sintetizar toda la información, esto sirvió para entender en un contexto general la TEORIA CUÁNTICA y así luego particularizar los mecanismos matemáticos formales que nos permitieron la descripción del comportamiento cuántico de la mente y la materia, esto es, a través del Modelo de Hubbard, que es el formalismo matemático de cuantización empleado para estudiar sistemas de muchas partículas idénticas con interacciones arbitrarias, en nuestro caso, interacción Coulombiana.

Entre las técnicas utilizadas fueron la revisión bibliográfica, que nos sirvió para delimitar la teoría que utilizamos para el análisis de la transmisión de señales eléctricas a través del Microtúbulo. Utilizamos las fichas bibliográficas que nos permitió ordenar las categorías y variables de estudio como la mente, la materia y el pensamiento, y su relación a partir de la mecánica cuántica.

En la **transmisión de señales eléctricas en el Microtúbulo**, la **estrategia**, primero es hallar una energía promedio que sea la que posiblemente impulse al electrón para comenzar a viajar en la red, luego evaluar el coeficiente de transmisión para cada uno de estos valores frente al valor de cada pozo, para entonces, escoger una energía que sirva para enfrentar el electrón al potencial de doble pozo que representa el paso de este por un sólo de dímero, y finalmente sacar la cantidad de dímeros en un Protofilamento y poder evaluar el transporte de señales eléctricas en el Protofilamento, calculando el coeficiente de transmisión, según la cantidad de dímeros que estén presentes en el Protofilamento; mas exactamente para el fenómeno de captación de dímeros por parte del MT, finalmente, ver la relación entre el coeficiente de transmisión y la cantidad de dímeros en el Protofilamento.

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La materia-energía o, mejor, los *potenciales energéticos traducidos en frecuencias eléctricas* se pueden codificar con señales o estímulos para integrar las múltiples funciones del pensar desde la sensación, percepción para llegar a la imagen y representación mental y así a la fantasía con su significación, simbolización, ideación, articulación y verbalización. Todavía no hemos podido detectar con hallazgos concretos cómo se realizan y cuáles son las moléculas y las células específicas para las funciones cerebrales o cuáles son los estímulos, potenciales y señales organizados que nos llevan al pensamiento; sin embargo, conocemos todo lo macro (anatómico, biocelular y neurofisiológico) que participa en esas funciones y aún algo de lo micro, como son los potenciales neuronales.

A la vez, los comportamientos específicos de las conductas humanas, como la agresión, el sexo, el lenguaje, las pulsiones orales, la ternura, las atracciones, los rechazos, toda la experiencia subjetiva, las percepciones, la imaginación, la emoción, los afectos, los sueños y ensueños y tantos otros más pertenecen a funciones neuropsíquicas y, por lo tanto, a las funciones cerebrales, y en su relación con la mente se extrapolan a los niveles cuánticos, tomando al cerebro como un sistema dinámico no lineal, siendo así, en este trabajo se realizó una aproximación Lineal.

La red neuronal en el cerebro presenta un comportamiento de sistema caótico autoorganizado, que muestra bifurcaciones y turbulencias morfológicas, fisiológicas, químicas y físicas. Aquí incluimos la energía, que se emplea y manifiesta y se expresa en diferentes formas (por ejemplo, disipación térmica, señales eléctricas, señales magnéticas, ruido térmico, conformaciones ordenadas o caóticas del pensamiento, fantasías, sueños y ensueños, etc.); todos ellos como resultado de funciones cerebrales complejas neurofísicoquímicas propias de la materia a escalas cuánticas. Entendiendo así toda esta maquinaria biológica cerebral, esto debe ser analizado como un sistema termodinámico fuera del equilibrio, donde la información fluye y presenta un comportamiento de estructura disipativa, que se acopla al principio de incertidumbre. Sumado a lo anterior, la teoría del caos desempeña un papel fundamental en esta maquinaria, que se relaciona con la energía invertida en cada proceso y su conservación dentro de la red neuronal.

La relación cerebro-red neuronal se comporta como un sistema complejo autoorganizado con propiedades inherentes, donde la representación mental, la conciencia y el inconsciente son derivados de este funcionamiento, que no puede ser registrado por la organización de la conciencia, ya que pertenecen a un sistema cuántico, donde las superposiciones de estados relacionados con la memoria se hallan confinados, y se hacen visibles cuando dichos estados se rompen o colapsan, es decir, las densidades de las funciones de onda colapsan, evolucionando en el tiempo de acuerdo con la ecuación de Schrödinger.

En vista de todo lo mencionado, hallaremos el coeficiente de la transmisión de señales eléctricas en el Microtúbulo.

De lo afirmado en marco el teórico, la Tubulina presenta un exceso de carga libre de electrones, esto se manifiesta en mayor medida en la Tubulina β , de esta manera se afirma que a lo sumo existen dos electrones libres en el Monómero β , estos electrones están confinados en esta tubulina [22], para lo cual, siendo la densidad de electrones libres en el MT, de $1,01 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$, que se encuentra en el rango dado para todo material semiconductor, esto sustenta el hecho de trabajar estos polímeros como un análogo orgánico de los materiales semiconductores.

Luego, la distancia máxima que pueden estar separados los electrones en la Tubulina es de 2 nm , las distancias de cada uno de los pozos, para lo cual usamos la energía potencial de una interacción de Coulomb:

$$U = \frac{-e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (11)$$

Donde escogemos dos valores para el radio de separación, 2 nm y $0,7 \text{ nm}$, con lo cual obtenemos dos valores diferentes para la repulsión de Coulomb, siendo los valores de la energía de $0,7 \text{ eV}$ y de 2 eV respectivamente, que junto con el valor de la energía de la hidrólisis de $0,37 \text{ eV}$, se juntan para obtener tres valores con los cuales el electrón podría, en principio ser impulsado para enfrentarse a las barreras de este potencial. [22]

Con estos valores de energía y con las barreras de potencial, podemos tener las expresiones para el coeficiente de transmisión [24], dado que:

$$T = \frac{|Amplitud_s|^2}{|Amplitud_e|^2} \quad (12)$$

Donde $Amplitud_s$ es la amplitud de la onda de salida y $Amplitud_e$, es la amplitud para la onda de entrada.

Para una sola barrera, cuando la energía del electrón es mayor a la barrera de potencial ($E > V_0$), se tiene:

$$T = \left[1 + \frac{1}{4} \frac{\text{sen}^2(\lambda \sqrt{\epsilon - 1})}{\epsilon(\epsilon - 1)} \right]^{-1} \quad (13)$$

Donde $\lambda = s \sqrt{2mV_0/\hbar^2}$, siendo s , el ancho de la barrera y $\epsilon = E/V_0$.

Mientras que para el caso donde la energía del electrón es menor que la altura de la barrera ($E < V_0$), tendríamos un efecto de tunelamiento [24], donde la expresión para el coeficiente de transmisión sería:

$$T = \left[1 + \frac{1}{4} \frac{\text{senh}^2(\lambda \sqrt{1 - \epsilon})}{\epsilon(1 - \epsilon)} \right]^{-1} \quad (14)$$

Siendo λ y ϵ , las mismas variables que en el caso anterior.

Para lo cual, se obtienen los valores que se muestran en el Cuadro 1.

VALORES DE T Y R PARA DIFERENTES ENERGÍAS				
$T \approx 0,99836$	$R \approx 0,00164$	$E = 2,0 \text{ eV}$	$V_0 = 0,4 \text{ eV}$	$r = 0,7 \text{ nm}$
$T \approx 0,92979$	$R \approx 0,07021$	$E = 0,7 \text{ eV}$	$V_0 = 0,4 \text{ eV}$	$r = 2,0 \text{ nm}$
$T \approx 0,03293$	$R \approx 0,96707$	$E = 0,37 \text{ eV}$	$V_0 = 0,4 \text{ eV}$	Hidrólisis GTP
$T \approx 0,93920$	$R \approx 0,06080$	$E = 2,0 \text{ eV}$	$V_0 = 1,0 \text{ eV}$	$r = 0,7 \text{ nm}$
$T \approx 0,00046$	$R \approx 0,99954$	$E = 0,7 \text{ eV}$	$V_0 = 1,0 \text{ eV}$	$r = 2,0 \text{ nm}$
$T \approx 0$	$R \approx 1$	$E = 0,37 \text{ eV}$	$V_0 = 1,0 \text{ eV}$	Hidrólisis GTP

Cuadro 1. Valores de T y R , para cada energía del electrón, frente a una barrera específica, donde se da el radio de separación y la fuente de esta energía

Del cuadro 1, podemos decir que un valor de energía óptimo es el valor de $E = 2,0 \text{ eV}$, que corresponde al valor de separación de $0,7 \text{ nm}$ en el Monómero; además, con relación a los otros datos, podemos ver que el electrón con esta energía tiene un valor para el coeficiente de trasmisión, relativamente alto a comparación de las demás energías, motivo por el cual escogemos este valor, para hacer los cálculos correspondientes con respecto al Dímero y a toda una cadena de dímeros, por el método de la matriz de transferencia.

De lo anterior mencionado, la energía con la que entra el electrón al potencial definido por un solo Dímero, es más alta que las barreras de este doble pozo, mas sin embargo, debiese existir un atenuamiento en la energía del electrón para cada vez que este sienta la presencia de una barrera (dispersión), razón por la cual, si sabemos que los dos electrones están en principio en el Monómero β , por la repulsión de Coulomb, uno de estos electrones, llegara a excitarse, con la energía de $2,0 \text{ eV}$, mientras que el otro electrón debiese, en principio permanecer en el Monómero, ya que el MT debe conservar una carga libre acoplada a esta Tubulína, para de esta forma mantener su comportamiento de dipolo en todo el Dímero. Luego entonces, la energía de repulsión de Coulomb puede decirse que es absorbida en su totalidad por el otro electrón, este se enfrentará al potencial de doble pozo cuadrado. [23]

De esta manera definimos 5 regiones donde puede estar el electrón con respecto al potencial ya descrito. De la Figura 16, que se muestra, en el marco teórico, las 5 regiones son:

R1: Región antes de la barrera de $1,0 \text{ eV}$.

R2: Región dentro de la barrera de $1,0 \text{ eV}$.

R3: Región después de la barrera de $1,0 \text{ eV}$ y antes de la barrera de $0,4 \text{ eV}$.

R4: Región dentro de la barrera de $0,4 \text{ eV}$.

R5: Región después de la barrera de $0,4 \text{ eV}$.

En este caso, se define la ecuación de Schrödinger como:

$$\frac{-\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + V(r)\Psi = E\Psi \quad (15)$$

Esta función de onda Ψ será evaluada en las 5 regiones, a partir del número de onda presente en cada región, siendo:

$$k = \sqrt{\frac{2m}{\hbar^2}(E - V(r))} \quad (16)$$

Constante que resulta de la reorganización de la ecuación (15), de lo cual obtenemos soluciones de tipo ondas planas definidas como:

$$\Psi = A_1 e^{ikx} + A_2 e^{-ikx} \quad (17)$$

donde su respectiva derivada será:

$$\Psi' = ikA_1 e^{ikx} - ikA_2 e^{-ikx} \quad (18)$$

Los valores de las constantes variaran según el punto donde se encuentre el electrón, de esta manera se obtienen distintos valores para los números de onda y las longitudes de onda en cada región, que se muestran en el siguiente cuadro:

Números de onda y λ para cada región		
$k_1 = 7,23231 \times 10^9$ rad/m	$\lambda_1 = 8,68766 \times 10^{-10}$ m	En R ₁ , R ₃ , y R ₅
$k_2 = 5,11402 \times 10^9$ rad/m	$\lambda_2 = 1,22862 \times 10^{-10}$ m	En la región R ₂
$k_3 = 6,46877 \times 10^9$ rad/m	$\lambda_1 = 9,69699 \times 10^{-10}$ m	En la región R ₄

Cuadro 2. Valores obtenidos de la ecuación (16), donde m , la masa del electrón, se empleó en esta ecuación para obtener estos valores

Se pretende obtener una relación entre las amplitudes de las ondas al salir de este potencial (región 5), en función de las amplitudes de entrada de las funciones (región 1).

Definiremos diferentes amplitudes para las funciones de onda y sus respectivas derivadas evaluadas en cada punto del potencial, esto es, en cada región con su respectivo número de onda k , así también normalizaremos la función de entrada, lo que hará que la amplitud inicial de la onda entrando al Dímero sea 1, para luego poder simplificar los cálculos

numéricos y encontrar el coeficiente de transmisión de una manera más fácil obteniendo entonces las siguientes funciones y derivadas evaluadas en cada punto específico con su respectivo número de onda:

$$\Psi_1(x = 0) = 1 + B \quad (19)$$

$$\Psi'_1(x = 0) = ik_1 - ik_1B \quad (20)$$

$$\Psi_2(x = 0) = C + D \quad (21)$$

$$\Psi'_2(x = 0) = ik_2C - ik_2D \quad (22)$$

$$\Psi_2(x = s) = Ce^{ik_2s} + De^{-ik_2s} \quad (23)$$

$$\Psi'_2(x = s) = ik_2Ce^{ik_2s} - ik_2De^{-ik_2s} \quad (24)$$

$$\Psi_3(x = s) = Ee^{ik_1s} + Fe^{-ik_1s} \quad (25)$$

$$\Psi'_3(x = s) = ik_1Ee^{ik_1s} - ik_1Fe^{-ik_1s} \quad (26)$$

$$\Psi_3(x = 2s) = Ee^{ik_12s} + Fe^{-ik_12s} \quad (27)$$

$$\Psi'_3(x = 2s) = ik_1Ee^{ik_12s} - ik_1Fe^{-ik_12s} \quad (28)$$

$$\Psi_4(x = 2s) = Ge^{ik_32s} + He^{-ik_32s} \quad (29)$$

$$\Psi'_4(x = 2s) = ik_3Ge^{ik_32s} - ik_3He^{-ik_32s} \quad (30)$$

$$\Psi_4(x = 3s) = Ge^{ik_33s} + He^{-ik_33s} \quad (31)$$

$$\Psi'_4(x = 3s) = ik_3Ge^{ik_33s} - ik_3He^{-ik_33s} \quad (32)$$

$$\Psi_5(x = 3s) = Ie^{ik_13s} + Je^{-ik_13s} \quad (33)$$

$$\Psi'_5(x = 3s) = ik_1Ie^{ik_13s} - ik_1Je^{-ik_13s} \quad (34)$$

Ahora, hacemos la continuidad de las funciones y de sus derivadas en cada uno de los puntos que unen las regiones, o sea, se igualan las dos primeras ecuaciones, con las dos siguientes ecuaciones, donde $s = 0 \text{ nm}$, y luego, las siguientes dos ecuaciones se evalúan donde $s = 2 \text{ nm}$ y así sucesivamente; de esta forma tengo un sistema lineal de matrices,

donde los coeficientes de cada matriz, serán cada uno de los términos de las ecuaciones anteriores evaluados en k_1, k_2, k_3, s , y donde las incógnitas serán las constantes $B, C, D, E, F, G, H, I, J$.

Así, se pueden dejar las constantes I, J , en función de las constantes G, H , y estas a su vez en función de las constantes E, F , las cuales estarán en función de las constantes C, D , por medio de una multiplicación entre unas de las matrices con unas de las inversas ya evaluadas.² Llegando a una sistema de la siguiente forma:

$$\begin{bmatrix} I \\ J \end{bmatrix} = \hat{E}_1^{-1} \hat{D}_2 \hat{D}_1^{-1} \hat{C}_2 \hat{C}_1^{-1} \hat{B}_2 \hat{B}_1^{-1} \hat{A}_2 \begin{bmatrix} 1 \\ B \end{bmatrix} \quad (35)$$

Donde \hat{E}_1^{-1} , es la matriz inversa que sale de evaluar la función de onda Ψ_5 y su respectiva derivada en $x = 3s$, y \hat{D}_2 , es la matriz que sale de evaluar la función de onda Ψ_4 y su derivada en $x = 3s$, y así sucesivamente.

Luego, se define una matriz \hat{t}_1 , como:

$$\hat{t}_1 = \hat{E}_1^{-1} \hat{D}_2 \hat{D}_1^{-1} \hat{C}_2 \hat{C}_1^{-1} \hat{B}_2 \hat{B}_1^{-1} \hat{A}_2 \quad (36)$$

Siendo así:

$$\begin{bmatrix} I \\ J \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} t_{1,1} & t_{1,2} \\ t_{2,1} & t_{2,2} \end{pmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ B \end{bmatrix} \quad (37)$$

Donde \hat{t}_1 , es la llamada matriz de transición [24], que será una matriz de dos por dos, siendo esta unitaria, $\hat{t}_1^{-1} = \hat{t}_1^\dagger$.

De esta forma, podemos hacer que $J \rightarrow 0$, puesto que no debiese existir onda reflejada al salir el electrón del sistema, llegando así a un sistema de dos ecuaciones y dos incógnitas que sale de la ecuación (36), y siguiendo con los cálculos, se obtiene los coeficientes de transmisión T y de reflexión R , de la siguiente forma:

$$R = \left\| -\frac{t_{2,1}}{t_{2,2}} \right\|^2 \quad (38)$$

² Trabajo de Grado de Físico. Martínez, J. H. (2004). Universidad de los Andes [22]

$$T = \left\| \frac{\det[\hat{t}_1]}{t_{2,2}} \right\|^2 \quad (39)$$

Luego de obtener la matriz de transición, para ver cómo es el coeficiente de trasmisión en una cadena de Dímeros en el Protofilamento, usaremos la siguiente ecuación.

$$\begin{bmatrix} I_n \\ J_n \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} t_{1,1} & t_{1,2} \\ t_{2,1} & t_{2,2} \end{pmatrix}^N \begin{bmatrix} 1 \\ B \end{bmatrix} \quad (40)$$

Donde N , es la cantidad de Dímeros (*o cantidad de potenciales de doble pozo cuadrado*), y $n > 1$, representa la n - *ésima* posición del electrón, al haber pasado por N cantidad de Dímeros.

Finalmente, los resultados de este modelo se hicieron para valores donde el MT tiene longitudes que van desde $1\mu m$ hasta $10\mu m$ [6], datos que se relacionan en la figura 17.

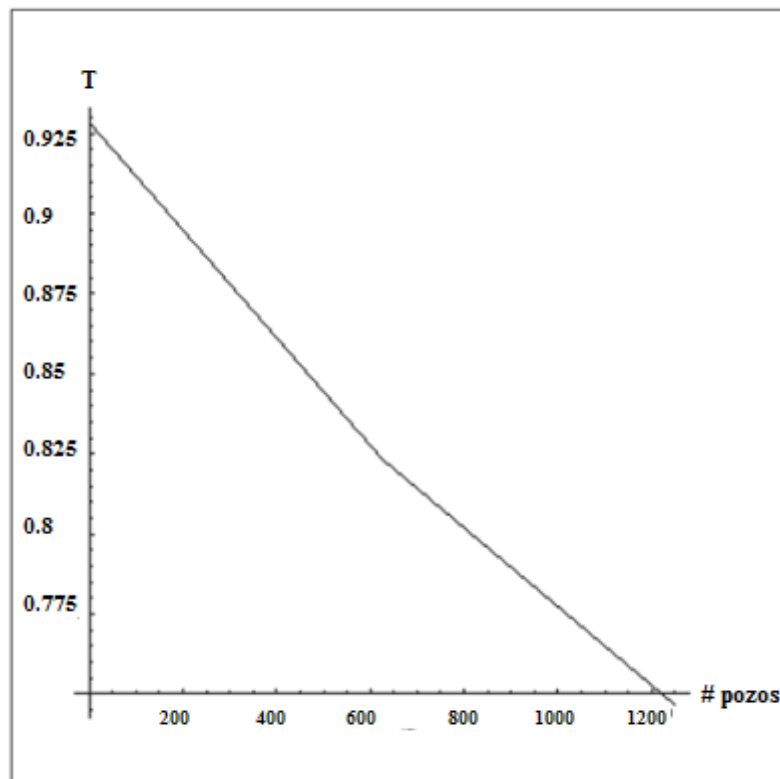


Figura 17. La relación inversa entre el coeficiente de trasmisión y la cantidad de dímeros. [22]

En la figura 17, se puede ver que la relación entre el coeficiente de transmisión y la cantidad de Dímeros en un Protofilamento es inversamente proporcional, y que la relación entre el coeficiente de reflexión y la cantidad dímeros es directamente proporcional, como lo muestra la figura 18.

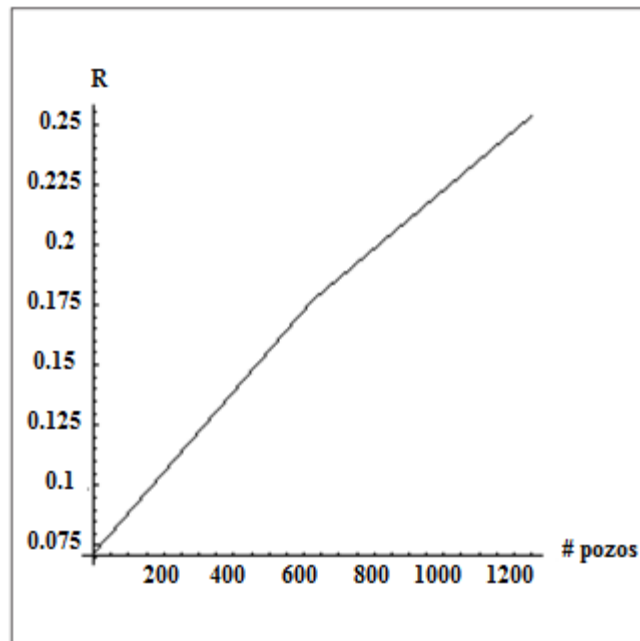


Figura 18. Relación directa entre el coeficiente de reflexión y la cantidad de dímeros. [22]

En el cuadro 3, se muestra los resultados de los valores de los coeficientes de transmisión y de reflexión, así mismo se muestra la cantidad de potenciales de doble pozo cuadrados (modelado por el potencial de cada dímero), que equivale a la cantidad de dímeros en el Protofilamento. [23]

Valores de T y R, para E =2,0 Ev		
# de Dímeros	R	T
1 Dímero	0,0717866	0,928213
625 dímeros	0,176599	0,8234401
1250 dímeros	0,252917	0,747083

Cuadro 3. La cantidad de dímeros es proporcional a la longitud del protofilamento, los dos últimos valores son para longitudes de 5 μm y 10 μm , respectivamente.

De esta forma, se puede ver numéricamente la relación entre el coeficiente de transmisión y la cantidad de dímeros, que como muestra la gráfica de la figura 17 de T vs el # de pozos, tiene un patrón de decrecimiento. A medida que aumenta el tamaño del protofilamento, esto es, el número de pozos, el coeficiente de transmisión irá disminuyendo y el valor del coeficiente de reflexión irá aumentando.

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

En las funciones cerebrales se construye el pensamiento y la esencia del ser humano. Con los futuros avances en la nanotecnología y ciencias afines, es muy probable diseñar, controlar y modificar materiales orgánicos e inorgánicos para implementar sistemas computacionales que emulen el funcionamiento y, en cierta medida, el comportamiento de un cerebro humano. Esto, permite explorar *in vivo* lo que sucede en el interior del cerebro y descubrir cómo funciona la memoria y todos los factores inherentes a ella, y que nos hace únicos y diferentes unos de otros. El lenguaje es el final del resultado de un intercambio de información. Tal información, a la vez, pertenece a la energía que se organiza en las moléculas. Es por ende de vital el estudio de la mente y sus procesos, desde el punto de vista Físico, esto es, con Mecánica Cuántica.

En la actualidad, carecemos de demostración y de pruebas cuantitativas y cualitativas específicas en la interrelación cerebro y mente con determinados fenómenos cuánticos. Sin embargo, se trata de construir el puente conceptual científico cuerpo-mente que abrirá las puertas a la comprensión de los ingentes procesos que se llevan a cabo continuamente en el cerebro, y la física cuántica brinda una opción explicativa viable sobre cómo funciona esta intrincada maquinaria biológica, que ha permitido que una especie animal supere a las demás, permitiéndole el don del pensamiento y razonamiento, al igual que el poder modificar el medio en que vive, el de explorar lo desconocido y el de tratar de demostrar el porqué de su existencia.

Los diversos postulados de la mecánica cuántica explican los diversos fenómenos físico-químicos, biológicos y psicológicos que gobiernan la mente humana y, por qué no, los de otros seres vivos. La propuesta sobre la relación mente-cerebro y el papel que desempeñan los microtúbulos, en conjunto con otras estructuras moleculares conexas al núcleo celular de las neuronas, nos hace pensar que la información que se procesa y almacena tiene nexos muy profundos con los átomos y moléculas del citoesqueleto, el ADN y el ARN de las células del cerebro.

Por otro lado, a partir de la formulación del modelo cuántico, se llega a funciones que describan comportamientos intrínsecos de los MTs, más exactamente, se llegó a definir ondas que al ser activadas por la energía del *GTP*, activan procesos donde se explica cuál es la forma más eficiente para transportar energía en estos polímeros, también se pudo mostrar, la importancia de este proceso químico, para que con el exceso de energía residual de esta reacción, se activaran de igual forma, procesos en los cuales pudiesen existir aparte de ondas que transmitan, información, ondas que definan la polaridad y el esfuerzo mecánico al que están sometidos los MTs, para que de esta misma forma y con las ondas de polarización y de esfuerzo, se pudiese llegar a un vínculo entre los cambios conformacionales de los dímeros y los dipolos eléctricos que se crean en ellos. Siendo así, los MTs bajo una perspectiva cuántica, se demostró la existencia de señales eléctricas en el Protofilamento del MT, señales que se transmiten para diferentes longitudes de los MTs, llevándonos a ver como el fenómeno del crecimiento microtubular hacia que la magnitud de la señal fuese atenuada en proporción directa del crecimiento de este, claro está, sin llegar al punto de acabar por completo con la señal, mostrándonos de esta manera, como en el Protofilamento, el transporte de señales eléctricas está siempre presente, aunque dependiente del fenómeno de crecimiento. Así mismo el exceso de energía dejado en la reacción que llevaba al GDP, era insuficiente para la aparición de este tipo de señales y que la separación de los dos electrones en el Monómero, debe ser aproximadamente de la tercera parte de la longitud o menos de este espacio en la Tubulina, ya que con un valor de separación de 0,7 nm, entre los electrones, se vio como la señal eléctrica podía pasar de un extremo del Microtúbulo a otro.

Finalmente, con respecto al problema planteado en esta investigación, se afirma que **si es posible relacionar los procesos de la mente, la materia y el pensamiento con la mecánica cuántica**, puesto que el formalismo teórico del Microtúbulo, desde la perspectiva de la Teoría Cuántica, muestra el transporte de señales eléctricas; esto es, se llegaría al operador de corriente eléctrica, operador que evidencia las corrientes eléctricas generadas en estos polímeros, junto con las corrientes eléctricas generadas por los campos eléctricos externos al sistema microtubular.

4.2. RECOMENDACIONES

En esta investigación, se muestra las propiedades físicas de los MTs como elementos fundamentales en el transporte de señales eléctricas en estos polímeros. Además, se expone las bases de una evidencia teórica del transporte de este tipo de señales, para tentativas pruebas experimentales de este modelo e investigar el comportamiento de los MTs, en base al hecho, de la importancia de estos polímeros en las células nerviosas; ayudando a abrir de esta manera el paso para nuevos caminos de investigación en esta área.

En este trabajo, se presenta la obtención del coeficiente de transmisión de señales eléctricas en el Microtúbulo, a través del formalismo de la mecánica cuántica, considerando como el potencial de interacción el coulombiano, pero usando como medio de transmisión el vacío, se recomienda en trabajos futuros emplear el agua como medio de transmisión, y si es posible en una aproximación más real, la procaína. Trabajo que nos hemos planteado resolver en próximas investigaciones con la asesoría del Dr. Johann Martínez H., con el cual nos encontramos en constante comunicación de los resultados obtenidos en este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Schrödinger, E., & Santos, F. F. (1958). *La mente y la materia*. Taurus.
- [2] Kaku, M. (2014). El futuro de nuestra mente. *Barcelona: Debate*.
- [3] Bohm, D. (1990). A new theory of the relationship of mind and matter. *Philosophical psychology*, 3(2-3), 271-286.
- [4] Unger, T. (09 de Agosto de 2016). Nuevas áreas del cerebro han sido reveladas. El Comercio, pp. 16.
- [5] Pastor-Gómez, J. (2002). Mecánica cuántica y cerebro: una revisión crítica. *Revista de Neurología*, 35(1), 87-94.
- [6] Martínez, J., Ávila, C., y Fayad, R. (2010). Transporte de señales eléctricas en microtúbulos: una aproximación cuántica. *Rev Col Fis*, 42(2), 104-6.
- [7] Sagan, C. (1993). *Los dragones del Edén: especulaciones sobre la evolución de la inteligencia humana* (Vol. 262). Crítica.
- [8] Nicolelis, M. (2012). Más allá de nuestros límites: los avances en la conexión de cerebros y máquinas. RBA Libros.
- [9] Penrose, R. (1996). *La mente nueva del emperador*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Fondo de Cultura Económica.
- [10] Damasio, A. (2000). Sentir lo que sucede: cuerpo y emoción en la fábrica de la consciencia. Editorial Andrés Bello.
- [11] Dennett, D. (1995). La consciencia explicada. Barcelona, España: Paidós
- [12] Manrique Castaño, D. (2012). La naturaleza de la consciencia: una visión desde la psicología y la mecánica cuántica. *Diversitas: Perspectivas en Psicología*, 8(2), 375-389.
- [13] Russell, B. (1992). *El conocimiento humano: su alcance y sus límites* (No. 04; BD161, R88.).
- [14] GARCÍA, I. G. (2006). El modelo cuántico de la conciencia de Penrose y Hameroff: una introducción y evaluación crítica. Tesis para obtener el grado de *Maestro en humanidades, línea historia y filosofía de la ciencia*. México.
- [15] Weinberg, S. (2015). Explicar el mundo: el descubrimiento de la ciencia moderna. México, Penguin Random House Grupo Editorial.
- [16] Armony, J. L., Trejo-Martínez, D., y Hernández, D. (2012). Resonancia magnética funcional (RMf): Principios y aplicaciones en neuropsicología y neurociencias cognitivas. *Neuropsicología Latinoamericana*, Revista Neuropsicología Latinoamericana ISSN 2075-9479 Vol 4. No. 2. 2012, 36-50.

- [17] Ramírez García, Sotero, Carranza Castro Pilar, Gutiérrez Salinas José, García Ortiz, Liliana, Hernández Rodríguez, Sergio, Aplicación en medicina de la espectroscopia de infrarrojo cercano. *Medicina Interna de México Volumen 28*, número 4, 2012.
- [18] Pascual-Leone, A., & Tormos-Muñoz, J. M. (2008). Estimulación magnética transcraneal: fundamentos y potencial de la modulación de redes neurales específicas. *Rev. Neurología*, 46 (Supl 1), S3-10.
- [19] Sánchez Medina, G., & Márquez Díaz, J. E. (2006). El pensamiento cuántico. Una propuesta teórica. *Rev. colomb. psiquiatría*, 35(3), 401-413.
- [20] Eccles J. La evolución del cerebro: creación de la conciencia. Barcelona, Labor; 1992.
- [21] Castaño, D. M. (2012). De la sinapsis a la coherencia cuántica: al encuentro de la neurobiología de la consciencia. *Revista de Psicología GEPU*, 3(2), 176-205.
- [22] Martínez, J. H. (2004). Trabajo de grado (Físico). Universidad de los Andes, Bogotá, Biblioteca UNIANDES 612.825 M167 MF.
- [23] Cruz, Y., & Fayad, R. (2011). Microtúbulos y terapia neural: propuesta de una investigación promisoriosa. *Revista Med*, 19(1), 82-92.
- [24] Padilla, P. P. (2011). *Fundamentos de física cuántica*. Reverté.
- [25] Guzman, C. A. (2003). *Transporte de información en microtúbulos*. Universidad de los Andes. Tesis de pregrado, Departamento de Física.
- [26] Zohar, D. (1990). *La conciencia cuántica: la naturaleza humana y la conciencia definidas por la nueva física*. Plaza & Janés.
- [27] Hameroff, S., & Penrose, R. (1996). Orchestrated reduction of quantum coherence in brain microtubules: A model for consciousness. *Mathematics and computers in simulation*, 40(3), 453-480.
- [28] Tuszynski, J. A., Brown, J. A., & Sept, D. (2003). Models of the collective behavior of proteins in cells: tubulin, actin and motor proteins. *Journal of biological physics*, 29(4), 401-428.
- [29] Tuszynski, J. A., Brown, J. A., Hawrylak, P., & Marcer, P. (1998). Dielectric polarization, electrical conduction, information processing and quantum computation in microtubules. Are they plausible?. *PHILOSOPHICAL TRANSACTIONS-ROYAL SOCIETY OF LONDON SERIES A MATHEMATICAL PHYSICAL AND ENGINEERING SCIENCES*, 1897-1925.
- [30] Popper, K. R., & Eccles, J. C. (2012). *The self and its brain*. Springer Science & Business Media.