



**Universidad Nacional Autónoma de México**

**Facultad de Filosofía y Letras**

**Colegio de Pedagogía**

**Registros electrofisiológicos neuronales aplicados a los procesos de  
aprendizaje del ser humano**

**Tesina que presenta**

**María Catalina Saavedra Yáñez**

**Para optar por el título de**

**Licenciada en Pedagogía**

**Asesor**

**Dr. José Luis Díaz Meza**

**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., marzo 2019**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Agradecimientos

A **mis padres**, por confiar en mis capacidades para lograr mis metas y por su entrega incondicional a ver cumplido este sueño. Gracias por su amor, comprensión y resistencia muestra de su gran amor por nosotros.

A **mis hijas** quienes me han demostrado ser más fuertes y valientes frente a mis ausencias y quienes han logrado quitar el cansancio de mi cuerpo. Las Amo.

A **ti**, quien a pesar de las dificultades has estado como fantasma conmigo caminando.

A mi amiga **Alma Hernández** que estuvo pendiente de que no abandonara este sueño.

Un especial agradecimiento al **Dr. José Luis Díaz Meza** por aceptar ser mi asesor por su conocimiento y paciencia, por recorrer junto conmigo esta travesía que nos llevó hacia la construcción de este trabajo de investigación.

A los **sinodales** que me brindaron su tiempo, conocimiento y esfuerzo; por darnos la oportunidad de avanzar y andar en el arduo camino de la educación.

A mi **Universidad**, por una educación libre y autónoma.

A **Dios** y a la **vida** por darme la fuerza y la energía para seguir adelante.

## Índice

Resumen.....	5
Introducción.....	6
Capítulo I. Características clásicas del aprendizaje: Conductismo y Cognitivismo.	
1.1. Aprendizaje Humano.....	9
1.1.1. Conductismo.....	12
1.1.1.1. Condicionamiento Clásico.....	13
1.1.1.2. Condicionamiento Operante.....	14
1.1.1.3. Aprendizaje Social.....	15
1.2. Cognitivismo.....	17
Capítulo II. Características electromagnéticas del aprendizaje complementarias a la conceptualización clásica.	
2.1. Aprendizaje Humano Eléctrico.....	22
2.2. Campos Electromagnéticos Neuronales.....	25
Capítulo III. Electrofisiología del Cerebro Humano y características del Aprendizaje eléctrico.	
3.1. Aprendizaje: Cerebro y Sistema Nervioso.....	31
3.2. Anatomía del Sistema Nervioso, Cerebro y partes implicadas en el Aprendizaje.....	35
Capítulo IV. Sinapsis Eléctrica y Química: procesos electrofisiológicos.	
4.1. Sinapsis Eléctrica.....	50
4.2. Sinapsis Química.....	52
Capítulo V. Influencia de los Fenómenos Físicos en el Cerebro, Sistema Nervioso y Aprendizaje humano.	
5.1. Electromagnetismo y aprendizaje.....	62

5.2. Radiaciones: Ondas gravitacionales, Ondas electromagnéticas, Ondas sonoras, Radiación cósmica y Radiación solar y aprendizaje.....	67
5.3. Geomagnetismo y aprendizaje.....	73
Capítulo VI. Disminuyendo la brecha entre las neurociencias, la biofísica y la educación: Alternativas de Aprendizaje a partir de fenómenos físicos.	
6.1. Superconductividad Neuronal.....	79
6.2. Aceleración de Impulsos electromagnéticos del cerebro.....	83
6.3. Superinteligencia .....	87
6.4. Transhumanismo.....	91
Conclusiones.....	95
Bibliografía.....	100

## **Resumen**

A través de los 6 capítulos haremos una labor de introducción y enunciación para identificar determinadas relaciones en el estudio del sistema nervioso y el cerebro humano que permiten reconocer aspectos estructurales y funcionales a través de los cuales con el uso de tecnologías es posible vincular la práctica pedagógica con las aportaciones de la Neurociencia y de la biofísica.

Identificar las estructuras microscópicas y macroscópicas es fundamental para entender mejor el funcionamiento del cerebro y los sistemas que posibilitan el aprendizaje.

Identificando la estructura y funcionamiento del cerebro a partir de la consideración de diversos mecanismos y registros electrofisiológicos, podremos emprender nuevos estilos de enseñanza y fortalecer así el desarrollo del potencial humano.

## Introducción

Y del cerebro, ya desocupado,  
los fantasmas huyeron,  
y -como de vapor leve formadas-  
en fácil humo, en viento convertidas,  
su forma resolvieron.

*Fragmento de Sor Juana Inés de la Cruz: "Primero Sueño"*

Es mi deseo que la presente investigación sea una aportación documental sobre las contribuciones de las neurociencias, la biofísica y la física a la teoría pedagógica, ya que permiten el estudio del sistema nervioso y el cerebro desde aspectos estructurales y funcionales.

Debido a que en la actualidad existe una creciente búsqueda del desarrollo del potencial humano (lo cual está directamente relacionado con el complejo proceso de desarrollo y maduración del sistema nervioso central y del cerebro en conjunción con las influencias del medio ambiente), las Neurociencias en los últimos años han venido revelando los misterios del cerebro y su funcionamiento, aportando al campo pedagógico conocimientos fundamentales acerca de las bases neurales del aprendizaje que deben sin lugar a dudas ser estimuladas y fortalecidas.

Resulta ineludible que todo agente educativo conozca y entienda como aprende el cerebro, como procesa la información o como es frágil a determinados estímulos, para lograr una verdadera innovación pedagógica y una transformación real de los sistemas educativos. En este sentido la presente investigación tiene como pretensión disminuir ligeramente la brecha entre las investigaciones neurocientíficas, la física y la práctica pedagógica.

Evidentemente estas son disciplinas que se encuentran en expansión y que, durante la evolución de las sociedades y los sistemas educativos, varias corrientes pedagógicas perfilaron el quehacer educativo. Se abrieron las puertas de las

escuelas al conductismo, constructivismo, al paradigma sociocognitivo y nuevas metodologías provenientes de diversas líneas de pensamiento.

El panorama que se aprecia en las aulas, actualmente, es una práctica pedagógica híbrida, resultado de tantas corrientes que ya no responden al perfil de los estudiantes del siglo XXI.

No obstante, independientemente de la línea o corriente que se perfila en alguna institución educativa, existe un proceso que se da en todo contexto pedagógico: el de la enseñanza-aprendizaje.

A través de la revisión bibliográfica pude encontrar algunos registros electrofisiológicos neuronales que potencializan el aprendizaje en los seres humanos.

Revisando características en otras especies pude encontrar cierta relación entre dichos registros y el aprendizaje, aspectos que se perciben de manera multisensorial y que nos posibilita un campo de estudio para nuevos elementos que intervienen en dichos procesos.

Se revisaron las corrientes que durante el siglo XX fueron parteaguas para la construcción teórico-metodológica de la ciencia educativa. Teorías educativas fundamentales que han dado interpretación al proceso de aprendizaje humano. Las cuales se describen brevemente en el primer capítulo.

A lo largo del segundo capítulo hice particular mención a las características eléctricas del aprendizaje humano, para reconocer el potencial que tiene el cerebro para incrementar la conducción nerviosa, sentando así las bases del aprendizaje y su relación con los campos electromagnéticos neuronales.

Durante el desarrollo del tercer capítulo se describe la estructura y funcionamiento del cerebro con la finalidad de que los agentes educativos entendamos cómo el cerebro desempeña varias funciones, cómo se organiza en sistemas y como estos permiten que sea posible el aprendizaje y otras funciones.



Mientras que en el cuarto capítulo hice referencia a los dos tipos fundamentales de sinapsis que realiza el cerebro, la sinapsis eléctrica y la sinapsis química, resaltando algunas características de importancia para el incremento de conexiones neuronales y otros fenómenos bioeléctricos.

En el quinto capítulo me referí a la influencia que los registros electrofisiológicos tienen en el cerebro humano, en el sistema nervioso y en el aprendizaje humano, resaltando las características de dichas manifestaciones y el impacto que tienen en las respuestas no solo de aprendizaje sino en la conducta social y con ello ir apuntando hacia el planteamiento del sexto y último capítulo donde se pretende acercar las investigaciones entre disciplinas, generando nuevas líneas de acción y pensamiento con el objetivo de vincular los agentes educativos a los conocimientos del cerebro y el aprendizaje valiéndonos del adecuado estudio de los fenómenos físicos que repercutan en una posible reestructuración de la práctica pedagógica.

## **Capítulo I. Características clásicas del aprendizaje: Conductismo y Cognitivismo**

Concédeme ver desde la luz más intensa, hasta  
la más débil, todas las que andan por aquí,  
delante de nuestros ojos.

*Poemas tzotziles*

El aprendizaje humano adopta diversas formas, durante los últimos años, hemos observado el crecimiento de la investigación en torno al aprendizaje con seres humanos, ello ha traído consigo la elaboración de métodos y técnicas que han permitido la construcción de diversos campos de conocimiento, uno de los cuales son las neurociencias que se enfocan en el estudio del sistema nervioso, poniendo el acento en las características del cerebro y su relación con nuestro comportamiento. Una de ellas es la neurofisiología, ciencia que estudia la actividad bioeléctrica del sistema nervioso central, periférico y autónomo, mediante la utilización de equipos y técnicas de análisis avanzado y otra importante es la neuropsicología, disciplina que estudia las funciones psicológicas en estrecha relación con la actividad cerebral las cuales se ubican entre tres grandes áreas de la ciencia: la neurociencia, las ciencias sociales y humanas y diversas áreas del saber, como la neurología, la neuroanatomía, la lingüística, la psicología y la pedagogía, así como de la física y astronomía mismas que han contribuido con conocimiento para dar cuenta sobre dicha investigación.

Y un nuevo campo el de la neuroeducación, disciplina puente entre la neurología y las ciencias de la educación.

### **1.1. Aprendizaje Humano**

A lo largo de los años, muchos científicos e investigadores se han dado a la tarea de analizar el proceso de aprendizaje en las personas. Son muchos los resultados y los debates que éstos han generado debido a las diferentes opiniones que se tienen acerca de cómo se origina el aprendizaje, sus diferentes teorías y principios,

así como de qué manera nuestro cerebro trabaja para obtener el conocimiento y genera diversas opciones para almacenarlo y clasificarlo.

Se ha visto que el estudio del aprendizaje ha estado unido a la investigación con animales los cuales son capaces de construir sus hogares, buscar su propio alimento, defenderse de sus predadores, criar a sus hijos y transportarse de un lugar a otro. Nosotros también podemos hacerlo, a diferencia de que el alimento lo cocinamos y no lo comemos crudo, aprendimos a desarrollar armas y tecnología. También aprendimos a criar a nuestros hijos ayudándonos de otras personas e instituciones y pudimos ser capaces de generar medios de transporte avanzados con los cuales hemos traspasado las fronteras de nuestro propio mundo e incluso explorar el espacio. Todo ello gracias al aprendizaje.

Es decir, existen aprendizajes en las diversas especies, incluso en las plantas. Recientemente se han hecho investigaciones en torno a la presencia de ciertas proteínas que le permiten a las plantas *sentir* lo que las rodea<sup>1</sup>, lo que demuestra que un ser vivo a la hora de enfrentarse con el medio ambiente, no solo se ve dotado de una serie de actividades congénitas, sino que posee, además, la capacidad de modificar sus modos de reacción en el curso de su evolución ontogenética <sup>2</sup> con lo cual puede lograr una mejor vinculación con su entorno.

A pesar de que se considera que para que una conducta sea aprendida, debe ser adquirida y no innata, en una situación de aprendizaje las condiciones innatas tienen un nivel fundamental de importancia, Konrad Lorenz, etólogo austriaco, explica lo que es el instinto “mecanismo innato del comportamiento biológicamente determinado que tiene su origen en la evolución genética” <sup>3</sup>, es decir a diferencia de la concepción clásica del psicoanálisis, para Lorenz los instintos son de naturaleza estrictamente biológica y no psíquica; entonces ¿aprendemos todo de la experiencia? o tenemos alguna condición en nuestro código genético que nos

---

<sup>1</sup> Europa Press. “Cientos de proteínas permiten a las plantas sentir lo que las rodea”, La Jornada, martes 23 de enero de 2018, año 34, número 12028. Ciencias 2ª. p. 17.

<sup>2</sup> Guttmann, Giseler. *Introducción a la Neuropsicología*. Editorial Herber. París 1976. p. 225.

<sup>3</sup> Lorenz, Konrad. *Sobre la Agresión. El pretendido mal*. RBA Ediciones S.A. Barcelona 1993. p. 34

predispone a ciertas conductas y al desarrollo de ciertos sentidos con algunas limitantes.

En alguno de sus trabajos, Lorenz argumenta que el instinto agresivo ha surgido en el curso de la evolución, de tal manera que los mecanismos evolutivos han provocado que ese instinto exista en un gran número de especies tanto animales como en el hombre, así cada nuevo ser humano, cuando nace, nace con esa pulsión destructiva heredada de sus antepasados <sup>4</sup> . Entonces la condición genética en las especies juega un papel fundamental para la respuesta a determinados estímulos o aprendizajes.

Gran parte de los conocimientos y teorías sobre el aprendizaje humano han sido fruto de experiencias con animales tanto en el laboratorio como en los mismos ambientes naturales. Lo cual explica por qué las bases evolutivas entre los diversos tipos de aprendizaje parecen ser las mismas, sin embargo y a pesar de que compartimos con otras especies algunos mecanismos de aprendizaje, es posible que existan manifestaciones de aprendizajes extrasensoriales, los cuales podrían estar modificando en formas diversas la conducta de todas las especies e incluso de algunos elementos filogenéticos de las mismas.

Una de las tareas más importantes de la educación es entender de manera amplia al cerebro -como es, como aprende, como procesa, registra, conserva y evoca una información, entre otras cosas para que a partir de ahí este conocimiento pueda mejorar las propuestas y experiencias de aprendizaje.

Existen diversas definiciones en torno al aprendizaje. Las siguientes dos definiciones reflejan dos perspectivas comunes, pero muy diferentes de lo que es el aprendizaje:

1. El aprendizaje es un cambio relativamente permanente en la conducta como resultado de la experiencia.

---

<sup>4</sup> Ibid. p. 35

2. El aprendizaje es un cambio relativamente de las asociaciones o representaciones mentales como resultado de la experiencia.<sup>5</sup>

Ambas describen el aprendizaje como un cambio relativamente permanente, un cambio que perdurara durante cierto tiempo, aunque no necesariamente para siempre. Las dos atribuyen ese cambio a la experiencia; en otras palabras, el aprendizaje es resultado de uno o más acontecimientos de la vida del aprendiz.

Las dos definiciones difieren respecto a lo que cambia cuando tiene lugar el aprendizaje. La primera se refiere a un cambio en la conducta, un cambio externo que podemos observar y refleja la perspectiva de un grupo de teorías como es el conductismo, las cuales se centran en conductas tangibles y observables denominadas respuestas.

Por el contrario, la segunda definición se centra en un cambio en las representaciones o asociaciones mentales, un cambio interno que no podemos ver, ya que estas se centran en los procesos de pensamiento (acontecimientos mentales) implicados en el aprendizaje humano. Para estudiarlo, se diseñaron diversos enfoques teóricos, para conveniencia del presente trabajo mencionaremos las dos perspectivas antes comentadas. A continuación, haremos una breve descripción de sus características.

### **1.1.1 Conductismo**

El conductismo es una de las teorías del aprendizaje que se ha mantenido durante muchos años. Aunque no encaja totalmente en los nuevos paradigmas educativos por concebir el aprendizaje como algo mecánico y reduccionista, la realidad es que muchos programas actuales se basan en las propuestas conductistas como la descomposición de la información en unidades, el diseño de actividades que requieren una respuesta y la planificación del refuerzo.

El conductismo es una corriente de la psicología postulada por John B. Watson (1878-1958) que defiende el empleo de procedimientos experimentales para

---

<sup>5</sup> Ormrod, Jeanne Ellis. *Aprendizaje humano*. Pearson Educación. 4ª Ed. Madrid 2005. Pp.52

estudiar el comportamiento observable (la conducta) y niega toda posibilidad de utilizar los métodos subjetivos como la introspección.<sup>6</sup>

Su fundamento teórico está basado en que a un estímulo le sigue una respuesta, siendo ésta el resultado de la interacción entre el organismo que recibe el estímulo y el medio ambiente. La observación externa es la única posible para la construcción de una psicología científica. Este enfoque estaba muy influido por las investigaciones pioneras del fisiólogo ruso Iván Pávlov (1889) sobre el condicionamiento animal, considerando que los actos de la vida no eran más que reflejos. A partir de sus observaciones con animales, diseñó el esquema del condicionamiento clásico.

Edward Lee Thorndike (1898) es el precursor de la psicología conductista estadounidense. Su trabajo sobre la conducta de los animales le condujo a la teoría del conexionismo. Según Thorndike, el aprendizaje se componía de una serie de conexiones entre un estímulo y una respuesta, que se fortalecían cada vez que generaban un estado de cosas satisfactorio para el organismo (ley del efecto). Esta teoría suministró las bases sobre las que luego Skinner construyó todo su edificio acerca del condicionamiento operante.

Las teorías conductistas, que estudian el aprendizaje y pretenden dar explicación a las conductas tanto en animales como en humanos, distinguen tres tipos de aprendizaje: por condicionamiento clásico, por condicionamiento operante y por imitación o aprendizaje social, mismos que describiremos brevemente.

#### **1.1.1.1. Condicionamiento Clásico**

El descubrimiento trascendental de Iván Petrovich Pávlov en 1920 del reflejo condicionado fue un descubrimiento secundario accidental de su estudio sobre la fisiología de la digestión. Como parte de su investigación, colocó polvo de carne en el hocico de un perro y midió la salivación. Descubrió después de unas sesiones, que los perros salivaban tan pronto como entraban los experimentadores a la habitación. Pávlov empezó a experimentar este fenómeno conocido como

---

<sup>6</sup> Ormrod, Jeanne Ellis. *op. cit.* Pág. 64.

condicionamiento clásico, el cual se enfoca en el aprendizaje de respuestas emocionales o psicológicas involuntarias desarrollando una forma de aprendizaje asociativo de estímulos y respuestas.

A través del proceso del condicionamiento clásico es posible capacitar a los animales y a los seres humanos para reaccionar de manera involuntaria y automática a un estímulo que antes no tenía ningún efecto. Para conseguir el aprendizaje de dicha conducta y conseguir esa respuesta, se necesita un entrenamiento, el cual se basa en la asociación de un sonido o el efecto de una luz, en premios y castigos. Uno de los experimentos demuestra la conducta adquirida por un perro ante una luz o un sonido que antes no causaban ningún efecto en él. Antes del entrenamiento, el perro únicamente salivaba ante la visión de comida. Para modificar su conducta, se le mostró la comida tras un estímulo condicionado, ya sea un sonido o una luz repetidamente. Tras finalizar el entrenamiento, el perro asoció este estímulo con la comida, y con la única presencia del estímulo comenzó a salivar. Si al estímulo incondicionado, que es la comida, se le asocia un estímulo condicionado desagradable, se provocaría en el animal una respuesta de miedo condicionado.<sup>7</sup>

Aunque la investigación original de Pávlov se realizó sobre la base de comida y salivación, se ha utilizado con frecuencia en humanos implicando el condicionamiento de un parpadeo, que ocurre en respuesta a una ráfaga de aire en el ojo. Una luz o tono presentado de forma repetida junto a la ráfaga de aire, adquiere la capacidad de producir un parpadeo en ausencia del aire en el ojo.

#### 1.1.1.2. **Condicionamiento Operante**

El condicionamiento operante, desarrollado por B. Frederick Skinner (1938) , explica la conducta voluntaria del cuerpo, en su relación con el medio ambiente, basados en un método experimental. Es decir, que las respuestas voluntarias a los estímulos se pueden condicionar con el empleo de refuerzos positivos y negativos, provocando que esta conducta operante se fortalezca o se debilite. El experimento

---

<sup>7</sup> Azcoaga, Juan. *Sistema Nervioso y Aprendizaje*. Centro Editor de América Latina S.A. Cuenca 1979. Pp. 10-16.

diseñado para ejemplificar esta teoría es la "Caja de Skinner". Esta caja a prueba de sonido tenía una palanca que las ratas o palomas podían presionar para conseguir un poco de alimento, formando la respuesta condicionada que provoca la aparición del estímulo incondicional <sup>8</sup>.

Se introduce al animal hambriento, que se desplaza de un lado a otro, picoteando y arañando la pared hasta que, en algún momento, por "casualidad", el interruptor o la palanca serán accionados, provocando que el alimento caiga y provoca la respuesta incondicional en el animal de comer. Este proceso se repite varias veces hasta que el animal descubre que el hecho de accionar la palanca es retribuido con una recompensa, por lo cual esta acción se irá repitiendo con mayor frecuencia, dejando de lado a aquellas en la que no es recompensado. Así, el refuerzo (alimento), es el que lleva a repetir al animal esa conducta que en un momento era accidental. Skinner llegó a la conclusión de que las recompensas más simples pueden condicionar formas complejas de comportamiento, por ello esta teoría se basa mayormente en premios y castigos; en el aprendizaje por reforzamiento o por evitación.

El mecanismo del condicionamiento operante, que modifica la conducta animal, está también en las bases del aprendizaje humano.

#### **1.1.1.3. Aprendizaje social**

Por otro lado, y como una aportación que hizo el conductismo a la teoría psicológica se ubica la del aprendizaje social, misma que fue propuesta por Albert Bandura y se basa en la imitación de conductas como aprendizaje de estas. Este aprendizaje por observación o modelado fue descubierto por Bandura al mostrar a unos niños una película que contenía una conducta agresiva que provocó que los niños adoptaran tal conducta. Lo sorprendente de esto fue la eficacia, los niños cambiaron su comportamiento sin que hubiese inicialmente un refuerzo dirigido a explotar dicho

---

<sup>8</sup> Anderson, John. R. *Aprendizaje y memoria. Un enfoque Integral*. Mc Graw-Hill. París 2013. Pp. 21-26.



comportamiento, lo que no encajaba muy bien con las teorías de aprendizaje conductuales estándares.

Se llevaron a cabo un largo número de variaciones sobre el estudio en cuestión: el modelo era recompensado o castigado de diversas formas de diferentes maneras; los niños eran recompensados por sus imitaciones; el modelo se cambiaba por otro menos atractivo o menos prestigioso y así sucesivamente. Todas estas variantes permitieron a Bandura a establecer que existen ciertos pasos envueltos en el proceso de modelado: la atención, la retención, la reproducción y la motivación.<sup>9</sup>

Se necesita prestar atención para aprender algo, que posteriormente se debe retener para poder reproducirlo con el comportamiento. La motivación es lo más importante, no hacemos nada a menos que estemos motivados a imitar, necesitamos buenas razones como refuerzos como los del conductismo tradicional. También existen motivaciones negativas, que nos dan motivos para no imitar, como los castigos del conductismo tradicional, que no funciona tan bien como el refuerzo.

Uno de los conceptos mas interesantes expuestos por Bandura, es el aprendizaje activo (aquellos conocimientos que se adquieren al hacer las cosas), el cual contrasta con el aprendizaje vicario, que es aprender observando a otros. Por el hecho de ver lo que otros hacen las consecuencias que tienen por su comportamiento, se aprende a repetir o imitar esa conducta.

El concepto lo propuso Bandura en su Teoría del aprendizaje social en 1977. Desde niños aprendemos a observar de otras personas. Esta es la base del aprendizaje vicario que observamos a otros e imitamos, aunque este aprendizaje tiene aspectos positivos y negativos también.<sup>10</sup>

Este tipo de aprendizaje también se da en humanos y en animales. Los animales de distintas generaciones copian y reproducen comportamientos que otros miembros del grupo adquirieron a través de un proceso de ensayo y error, como por

---

<sup>9</sup> Bandura, Albert. *Teoría del aprendizaje social*. Alianza Editorial. Madrid, 1990. p. 145.

<sup>10</sup> Ibid. pág. 150.

ejemplo evitar cierto animal por peligro sin haber interactuado con este. Una forma más compleja de aprendizaje social para los animales es la imitación o aprendizaje imitativo. Éste ocurre cuando un comportamiento novedoso es adquirido por un individuo luego de observar a otro realizar ese comportamiento.

## **1.2. Cognitivismo**

Desde un punto de vista distinto y en respuesta al paradigma conductista aparece el cognitivismo, el cual se basa en los procesos de pensamiento implicados en el aprendizaje humano, desde una forma subjetiva y propia de cada persona. Cuando notamos un cambio en la conducta de una persona es porque se ha producido un aprendizaje, no importa si tenemos una perspectiva conductista o cognitivista, importa el criterio con que asumimos una situación de enseñanza-aprendizaje.

Los teóricos del cognitivismo reconocen que en el aprendizaje del individuo necesariamente se involucran una serie de asociaciones que se establecen en relación con la proximidad de otras personas. En donde se destaca el acogimiento del conocimiento y pensamientos internos. Las teorías cognitivas se dedican a la conceptualización de los procesos de aprendizaje de los estudiantes y son las encargadas de que la información cumpla ciertos pasos importantes como son: que sea correctamente recibida, luego que sea organizada y almacenada y después sea vinculada

La construcción del conocimiento supone varias acciones complejas, como almacenar, reconocer, comprender, organizar y utilizar la información que se recibe a través de los sentidos. El cognitivismo busca conocer cómo las personas entienden la realidad en la que viven a partir de la transformación de la información sensorial. Para el cognitivismo, el conocimiento es funcional ya que cuando un sujeto se encuentra ante un acontecimiento que ya ha procesado en su mente (es decir, que ya conoce), puede anticiparse con mayor facilidad a lo que puede suceder en el futuro próximo.

Los conocimientos ayudan a que las personas puedan desarrollar planes y fijarse metas, minimizando las probabilidades de experimentar una consecuencia negativa. La conducta de los seres humanos se ajusta a lo cognitivo y a las expectativas de lo conocido.<sup>11</sup>

El cognitivismo en contraparte a la psicología conductista intenta explicar la conducta a partir de los procesos mentales. Los conductistas, en cambio, se basaban en la asociación entre estímulos y respuestas. Los psicólogos cognitivos, por lo tanto, resaltan que, según la forma en que la persona procesa la información y entiende el mundo que la rodea, desarrolla un determinado tipo de conducta. Los seres humanos contrastan las nuevas informaciones con su estructura cognitiva y, a partir de allí, moldean sus acciones.

En la *Teoría Completa del Desarrollo Cognoscitivo*, desarrollada por el reconocido psicólogo Jean Piaget, se exponen dos funciones fundamentales que intervienen y son una constante en el proceso de desarrollo cognitivo: la organización y la adaptación. Ambas son elementos indisolubles.

La idea de organización en el esquema piagetiano tiene tres funciones identificables: la conservación, mantiene parcialmente las estructuras o sistemas coherentes ya adquiridos de la interacción con el medio; la tendencia asimilativa, que es la incorporación de elementos variables que enriquecen las estructuras conservadas y la propensión hacia la diferenciación y la integración, las estructuras dinámicas se diferencian, se coordinan y se relacionan integrándose.

La adaptación sería una tendencia activa de ajuste hacia el medio, supone dos procesos: la asimilación y la acomodación. Al proceso de incorporación de un elemento, característica u objeto, a las estructuras o esquemas que posee el sujeto se le conoce como asimilación. Siempre que existe una relación del sujeto con el objeto, se produce un acto de significación, es decir se interpreta la realidad a través de los esquemas. En este sentido la asimilación puede entenderse como el acto de

---

<sup>11</sup> Anderson, John. R. *op. cit.* p. 180

usar los esquemas como marcos para estructurar e interpretar la información entrante.<sup>12</sup>

Según el paradigma del cognitivismo, el aprendizaje es un proceso que acarrea la modificación de los significados en el interior de la mente, y esto ocurre de manera intencional una vez que una persona interactúa activamente con la información que recoge de su medio. Este punto de vista surgió a finales de la década de los años 60, a modo de transición entre el paradigma del conductismo y las teorías actuales de la psicopedagogía.<sup>13</sup> Al respecto, el cognitivismo se enfoca en la representación mental y, por consiguiente, en las dimensiones o categorías de lo cognitivo, que son la percepción, la atención, el lenguaje, la memoria, el pensamiento, la inteligencia y el aprendizaje.

Existe también la concepción de Vygotsky acerca del desarrollo de las funciones psíquicas superiores del hombre, el cual fue el primer intento sistemático de reestructuración de la psicología sobre la base de un enfoque histórico cultural acerca del hombre.

Vygotsky rompiendo con las concepciones del desarrollo infantil predominantes en la época, trata de enfatizar las peculiaridades de las funciones psíquicas superiores y las vías para lograr el estudio de su verdadera naturaleza.

En este sentido diferencia claramente el proceso de la evolución biológica, de las especies animales que condujo al surgimiento del hombre y el proceso del desarrollo histórico por medio del cual ese hombre primitivo se convirtió en un hombre culto.

Constituyendo en su esencia la teoría del desarrollo histórico cultural de la psique humana una concepción acerca del desarrollo y formación de la personalidad y partiendo del inseparable vínculo de este proceso con la educación, resulta inevitable plantear brevemente, los aportes de la teoría Vygotskiana a la concepción del proceso educativo.

---

<sup>12</sup> Hernández Rojas, Gerardo. Paradigmas en Psicología de la educación. Paidós. México 1998. Pág. 177.

<sup>13</sup> Anderson, John. R. *op. cit.* Pp. 180-188.

En el primer lugar se destaca que para Vygotsky el desarrollo y formación de la personalidad ocurre en el propio proceso de enseñanza y aprendizaje cuya concepción debe tener en cuenta las siguientes consideraciones<sup>14</sup>:

- La enseñanza, no se ha de basar en el desarrollo ya alcanzado por el sujeto, sino que, teniéndolo en cuenta, se proyecta hacia lo que el sujeto debe lograr en el futuro, como producto de este propio proceso; es decir, haciendo realidad las posibilidades que se expresan en la llamada zona desarrollo próximo.
- Las situaciones sociales en que las personas viven y se desarrollan constituyen elemento esencial en la organización y dirección del proceso de enseñanza y educación.
- La propia actividad que el sujeto realiza en interacción social con un grupo de personas resulta elemento fundamental a tener en consideración en el proceso de enseñanza y educación.
- Ningún intento de promover la educación y el desarrollo de los niños debe disminuir la suprema importancia de la familia, la escuela y toda la sociedad en la estimulación, educación y desarrollo infantil.

En este complejo proceso se crea una contradicción que se ha convertido en un problema científico esencial en el proceso educativo y del desarrollo infantil, esta se refiere a la contradicción que supone el papel del “otro”, del adulto, quien participa, dirige, promueve, facilita, hace y enseña, versus el papel del sujeto en el desarrollo, que participa, crea, proyecta y realiza libremente y de manera espontánea las tareas. Este planteamiento ha sido uno de los puntos de contradicción entre las llamadas tendencias tradicionales de la pedagogía, la escuela y las tendencias de la escuela constructivista en los últimos tiempos.<sup>15</sup>

En el proceso de interacción y actividad en colaboración con los otros ocurre el proceso de apropiación de los valores de la cultura material y espiritual.

---

<sup>14</sup> Álvarez Marín, Mauricio “*Vygotski: Hacia la psicología dialéctica*” Material Utilizado en el Seminario de Psicología Social de la Escuela de Psicología de la Universidad Bolivariana Santiago de Chile, 2002.

<sup>15</sup> Ibid. pág.

Si la cultura representa para cada sujeto un momento histórico determinado, la formación personal específica responde a las características históricas y socialmente condicionadas.

Sobre la base de estos presupuestos generales pueden considerarse las particularidades de un proceso educativo que promueva el desarrollo y la formación humana.

En pocas palabras, el cognitivismo es un proceso independiente que consiste en decodificar los significados para adquirir conocimientos a corto, mediano y largo plazo y desarrollar estrategias para poder pensar libremente, investigar y aprender, y esto hace que toda materia sea valiosa por sí misma.

Ya sea que adoptemos una perspectiva conductista o cognitiva, sabemos que ha ocurrido un aprendizaje cuando observamos un cambio en la conducta de una persona:

1. Realiza una conducta completamente nueva.
2. Cambia la frecuencia de una conducta ya existente.
3. Cambia la velocidad de una conducta ya existente.
4. Modifica la complejidad de una conducta ya existente.
5. Responde de manera diferente ante un estímulo determinado.<sup>16</sup>

Estas características y los enfoques que representan han pretendido dar cuenta sobre el proceso de aprendizaje humano, sin embargo, suponemos que podrían existir otros modelos que desde la física y la neurobiología podrían aportar elementos distintos a lo ya conocido en relación con los métodos de aprendizaje, permitiendo potencializar la capacidad de los seres humanos para aprender de forma más rápida y con mayor capacidad de respuesta.

---

<sup>16</sup> Ormrod, Jeanne Ellis. *op. cit.* p. 6.

## **Capítulo II. Características electromagnéticas del aprendizaje complementarias a la conceptualización clásica.**

“Somos el producto, los ojos, el cerebro de ese Universo queriéndose conocer a sí mismo”

Anónimo.

Recientemente, se ha demostrado que al aplicar corrientes débiles a través del cerebro se modifica el aprendizaje de tareas motoras sencillas.<sup>17</sup> Entonces podemos suponer la existencia de un tipo de aprendizaje con características eléctricas.

### **2.1. Aprendizaje Humano Eléctrico**

Millones de células diminutas conforman la estructura del cuerpo humano y cada una de ellas contiene una fuerza poderosa que gobierna gran parte de la vida del hombre y de la naturaleza: la electricidad. Su influencia es tal que participa en la mayoría de los procesos que nos permiten vivir, desde los latidos del corazón y de la división celular, hasta cada uno de los pensamientos originados en lo más profundo de nuestro cerebro.

Desde hace más de 200 años los científicos están conscientes de que los impulsos nerviosos son transmitidos eléctricamente; pero el conocimiento de las bases eléctricas de otras funciones del organismo es reciente.<sup>18</sup> En términos generales, la electricidad no es otra cosa que el movimiento ordenado y continuo de pequeñas partículas cargadas a través de un canal o corriente. Algunos materiales como los metales (cobre) o ciertos líquidos (agua) favorecen el flujo de las partículas y han sido llamados conductores.

Desde que los primeros científicos griegos comenzaron a descubrir las propiedades eléctricas de la materia, el ser humano se ha dado a la tarea de canalizar y controlar

---

<sup>17</sup> Ormrod, Jeanne Ellis. *op. cit.* p. 8

<sup>18</sup> Arthur C. Guyton, John E. Hall. *Tratado de Fisiología Médica*. 12 a Ed. Ed. Elsevier. Barcelona 2011. Pp. 120-123.

ese flujo para explotarlo de todas las formas posibles y ponerlo a su servicio. Una parte importante de la historia de la energía se refiere al intento ingenioso de producir calor, luz o movimiento a partir del impulso eléctrico.

Si bien la neurociencia ha avanzado en los últimos años, los científicos se han enfrentado al hecho de que aún se desconoce mucho sobre el cerebro. Se conocen algunas cosas sobre su funcionamiento. Se sabe que está compuesto por neuronas, células especializadas en captar los estímulos provenientes del ambiente y de transportar y transmitir impulsos nerviosos (eléctricos), mismas que actúan como un cableado biológico. Se sabe cómo se forman y como se transmiten los impulsos eléctricos, que están rodeadas por un entorno químico cargado eléctricamente y que el impulso se forma cuando el voltaje del interior neuronal asciende hasta determinado umbral debido a fuerzas de naturaleza eléctrica y química, dicho impulso se desplaza por toda la red neuronal.<sup>19</sup>

Pero existe una alternativa que podría respaldar la idea del aprendizaje eléctrico, a través de la aplicación de corrientes eléctricas leves en el cerebro, este es capaz de aumentar las capacidades matemáticas humanas por un periodo de seis meses. Dicha investigación ha demostrado por vez primera que la estimulación eléctrica puede tener este efecto en la mente.

El estudio fue realizado por Cohen Kadosh y sus colaboradores, de la Universidad de Oxford. Kadosh es un neurocientífico especializado en el análisis de las estructuras cognitivas y los mecanismos neuronales que posibilitan ciertas capacidades humanas, como la percepción, el aprendizaje o la manipulación de información sobre números y magnitudes.<sup>20</sup>

Investigaciones previas de Kadosh y su equipo habían demostrado que podía provocarse, mediante estimulación cerebral, un trastorno provisional en la capacidad para procesar problemas matemáticos conocido como discalculia o acalculia.

---

<sup>19</sup> Arthur C. Guyton, John E. Hall. Op. Cit. pág. 132.

<sup>20</sup> Tomado de: [https://www.tendencias21.net/La-estimulacion-electrica-del-cerebro-mejora-las-capacidades-matematicas\\_a5046.html](https://www.tendencias21.net/La-estimulacion-electrica-del-cerebro-mejora-las-capacidades-matematicas_a5046.html). Consultado: viernes 08-02-19.



En el último estudio realizado por los científicos, en el que participaron 15 voluntarios estudiantes, de edades comprendidas entre los 20 y los 21 años, se ha demostrado que dicha estimulación puede provocar justo el efecto contrario. En el experimento realizado, los participantes tuvieron que aprender símbolos que representaban diversos valores numéricos. Según publicaron los investigadores en la revista *Current Biology*, durante este aprendizaje, que duró seis días, a una parte de los participantes se les aplicó *estimulación transcraneal por corriente directa* (TDCS)<sup>21</sup> una técnica que permite hacer incidir corrientes eléctricas leves en el cerebro, para inhibir o excitar las neuronas de éste, de manera selectiva.

A otro subgrupo de voluntarios se les aplicó un placebo. Los científicos hicieron incidir las corrientes eléctricas en dos direcciones (de izquierda a derecha o viceversa), sobre los llamados lóbulos parietales del cerebro.

El lóbulo parietal es un área cerebral encargada de diversas funciones, como percibir el calor, el frío o el dolor. Asimismo, se sabe que esta parte del cerebro juega un papel crucial en la resolución de problemas matemáticos. De hecho, cuando el lóbulo parietal sufre una lesión, una de las consecuencias es la aparición de la dificultad para realizar cálculos matemáticos.

Según los científicos, aquellos voluntarios del grupo que recibieron estimulación transcraneana de derecha a izquierda en los lóbulos parietales alcanzaron un alto nivel de rendimiento en sus tareas matemáticas, después de unas pocas sesiones de TDCS.

La mejora de capacidades se reflejó en el procesamiento numérico automático y la ubicación espacial de números. Estos dos factores son indicios clave de destreza matemática.

Por el contrario, los voluntarios a los que se les aplicó la TDCS de izquierda a derecha en dichos lóbulos rindieron significativamente peor que los primeros. En el

---

<sup>21</sup> Kandel, E. J. Schwartz y TH. Jessell. *Neurociencia y conducta*. Prentice Hall. Madrid 2002. Pág. 57-59.

caso del grupo de participantes a los que se les aplicó el placebo, el rendimiento de éstos se situó a un nivel intermedio entre los dos grupos anteriores. Los tests de control realizados demostraron que la modificación de las capacidades matemáticas afectó sólo a los símbolos aprendidos, y no a otras funciones cognitivas. Además, en un análisis realizado seis meses después de este experimento, se comprobó que los estudiantes que recibieron la TDCS de derecha a izquierda seguían manteniendo un alto nivel de rendimiento en matemáticas. Para Kadosh, las constataciones realizadas en este estudio tienen un enorme potencial. Aunque, de momento, el trabajo es sólo experimental, en primer lugar, ha permitido comprender mejor los cambios neuronales subyacentes a ciertas dificultades de aprendizaje.

Pero los resultados obtenidos podrían servir además para otros fines. Según el investigador es posible mejorar las capacidades matemáticas de la gente y piensa que sería posible aplicar este procedimiento en otras áreas del cerebro que coordinan diversos aprendizajes.

Así mismo existe evidencia del desplazamiento de corriente eléctrica a lo largo de las vías nerviosas (es decir que los iones -partículas cargadas eléctricamente-) se encuentran moviéndose del interior al exterior celular, lo cual significa que las neuronas cuentan con un campo electromagnético. Este campo, existe y se denomina campo electromagnético neuronal, así que en el siguiente apartado veremos sus características y su función en los procesos de aprendizaje.

## **2.2. Campos electromagnéticos neuronales**

Durante años no se ha prestado atención a los campos electromagnéticos neuronales pensando que se trataba de un fenómeno accesorio del que realmente importa en los procesos cerebrales: la transmisión del impulso eléctrico.

Pero definitivamente los campos tienen importancia en los procesos mentales y por tanto vitales. En otras palabras, la radiación electromagnética nos afecta a diario y es algo que aún intentamos comprender.

Nuestra capacidad de ver existe porque en nuestros ojos hay receptores sensibles a la radiación electromagnética tan cotidiana como la luz visible. La radiación electromagnética es la consecuencia de la existencia de campos electromagnéticos que alcanzan nuestros receptores fotosensibles, en donde esa radiación se traduce en un impulso eléctrico que llega a nuestro cerebro y nos hace ver. Pero para que ese campo eléctrico se transforme en impulso eléctrico neuronal hace falta esos traductores, en este caso, los fotorreceptores oculares.<sup>22</sup>

Algo que ya se conocía desde hace unos 20 años es que los campos eléctricos pueden modificar la actividad de la neurona. Se ha logrado inducir actividad neuronal a partir de un campo electromagnético directo, pero este campo electromagnético endógeno que genera nuestras neuronas es más bien pequeño: unos 3 milivoltios/mm. La existencia de pequeños campos electromagnéticos neuronales, afectan a las propias neuronas que están produciéndolos, sirviendo como una especie de retroalimentación de su actividad que ayuda a mejorarla.<sup>23</sup>

A partir de los años veinte del siglo pasado el problema de la electricidad y el comportamiento celular se estudia con mayor profundidad. Durante un estudio realizado en la universidad de Purdue, Estados Unidos,<sup>24</sup> los investigadores expusieron a un campo electromagnético una neurona aislada de rana y descubrieron que las prolongaciones de esta crecían casi siempre hacia un electrodo negativo. Desde entonces se ha investigado como los cambios eléctricos influyen en la migración, crecimiento y desarrollo de las células de cultivo. Esta evidencia ha promovido la creencia de que los campos eléctricos y magnéticos ambientales podrían tener un efecto positivo o negativo en la salud y por tanto en procesos como el aprendizaje.

En el medio en el que vivimos, hay campos electromagnéticos por todas partes, aunque son invisibles al ojo humano. Se producen campos eléctricos por

---

<sup>22</sup> David E. Sadava, David M. Hillis, H. Craig Heller y May Berenbaum, *"How Do Neurons Communicate with Other Cells?" (¿Cómo se comunican las neuronas con otras células?)*. 9a ed. En *Life: The Science of Biology*. Pp. 650-652.

<sup>23</sup> *Ibid.* p. 654.

<sup>24</sup> Tomado de: [redclimaticamundial.blogspot.com/2017/01nuevo-estudio-revelo-que-las-tormentas.html](http://redclimaticamundial.blogspot.com/2017/01nuevo-estudio-revelo-que-las-tormentas.html). consultado: 27-01-2019.

acumulación de cargas en determinadas zonas de la atmosfera por efecto de las tormentas. El campo magnético de la tierra provoca la orientación de las agujas en dirección Norte y Sur.

Desde siempre los seres vivos hemos estado expuestos a influencias electromagnéticas: la luz del sol y sus rayos infrarrojos, los rayos cósmicos, y otras radiaciones naturales.

Pero fue en siglo XX donde se desarrollaron radiaciones generadas por el hombre como la electricidad y las radiofrecuencias. Mientras que, la radiación electromagnética es la combinación de campos eléctricos y magnéticos que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro.

Bajo los mismos parámetros, los seres humanos poseen actividad bioeléctrica, nuestras células funcionan a base de impulsos eléctricos que generan campos electromagnéticos gracias a la presencia en nuestro organismo de agua, sal, metales y minerales. Los procesos celulares, metabólicos e incluso nuestros pensamientos son generados por procesos electromagnéticos.<sup>25</sup>

Actualmente se conoce que el desplazamiento de corriente eléctrica a lo largo de las vías nerviosas significa que las neuronas cuentan con un campo electromagnético. Este campo electromagnético, como no podía ser de otra forma, existe y se denomina campo electromagnético neuronal. (Ver figura 1)

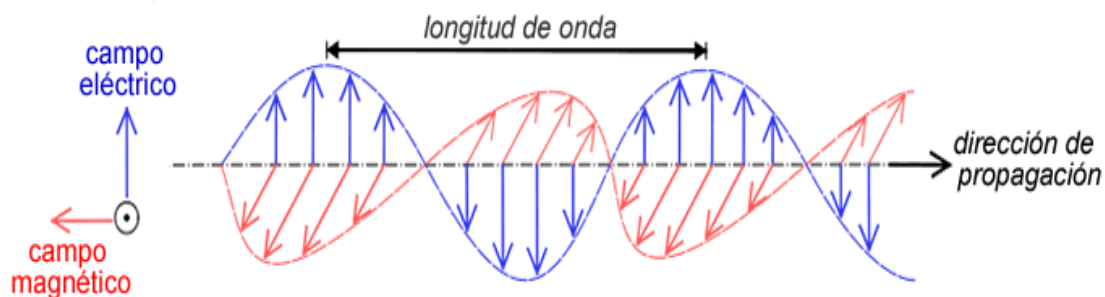


Figura 1: Representación gráfica de un campo electromagnético. Tomado de:

<https://antroporama.net/category/neurociencia-2/>

<sup>25</sup> David E. Sadava, David M. Hillis, H. Craig Heller y May Berenbaum. *Op.cit.* Pp. 655-656.

Una de las hipótesis lanzadas sobre la existencia de estos pequeños campos electromagnéticos neuronales es que afectan a las propias neuronas que están produciéndolos, sirviendo como una especie de retroalimentación de su actividad que ayuda a mejorarla. Para demostrarlo se tomó como circuito de prueba una porción del córtex visual que se mantuvo en laboratorio en un líquido similar al líquido extracelular en el que se bañan nuestras neuronas dentro de nuestro cuerpo. Aplicaron a esta porción cortical en condiciones similares a las del cerebro vivo campos eléctricos en amplitudes similares a las que emiten las neuronas vivas y encontraron que las neuronas expuestas a este campo similar a un campo electromagnético neuronal eran capaces de disparar potenciales de acción más rápidamente debido a que la presencia de este campo despolarizaba ligeramente la neurona. Es decir, si una neurona en reposo presenta un voltaje de unos -70mV y precisa alcanzar un voltaje de unos -50mV para que se dispare (Potencial de Acción: PA), en este estudio encontraron que la presencia de un campo eléctrico similar al que forman la actividad de las neuronas “ayudaba” a las neuronas al presentar un voltaje de base mayor, por lo que precisaban menor presencia de iones positivos para alcanzar ese voltaje de -50 mV y dispararse.<sup>26</sup>

También se halló que el campo electromagnético neuronal “artificial” aplicado servía como una especie de “director de orquesta” al tener un efecto coordinador entre lo que el campo marcaba y la actividad de las neuronas afectadas por el campo. Al aplicarse este campo electromagnético neuronal “artificial”, los disparos de las neuronas tendían a producirse en los momentos de mayor potencia del campo eléctrico, de modo que se coordinaba su actuación: las neuronas afectadas por el campo empezaban a disparar al mismo tiempo y así generar conexiones para así potencializar procesos como el aprendizaje.

Debido a la creciente necesidad de reestructurar la práctica pedagógica, viene emergiendo una nueva ciencia, la Neuroeducación como una nueva línea de

---

<sup>26</sup> Patri Tezanos. *Campos electromagnéticos neuronales: ¿sirven para algo?* En : <https://antroporama.net/category/neurociencia-2/> Consultado: 06/03/18

pensamiento y acción que tiene como principal objetivo acercar los agentes educativos a los conocimientos relacionados con el cerebro y el aprendizaje, considerando la unión entre Pedagogía, biofísica y las Neurociencias.

El cerebro ha evolucionado para acompañar y enfrentar los desafíos del entorno para educarse y educar, para hacer que el ser humano entienda el enorme potencial que lleva dentro. Como eje central de las investigaciones en Neurociencias, el cerebro llega a ser el guía de las nuevas investigaciones, que va llevando a un entendimiento más amplio sobre el universo interior, capaz de concebir pensamientos, movimientos y sentimientos entre otras habilidades que nos hacen diferentes de otras especies en la tierra.

Estrechar la brecha entre las investigaciones en laboratorios de Neurociencias, la biofísica y la educación no solo facilitara la promoción de mejores programas educativos, sino que influenciara en el estilo de crianza de la familia y la comunidad.

El conocimiento que nos trae la Neurociencia nos hace ver los desafíos como oportunidades, pues ahora sabemos que todos tenemos un cerebro plástico, apto para aprender cuantas veces sea necesario siempre y cuando se den las condiciones genéticas y ambientales para ello. Por eso resulta fundamental entender la fisiología del Cerebro Humano y su papel en el proceso de aprendizaje.

### **Capítulo III. Electrofisiología del Cerebro Humano y características del Aprendizaje Eléctrico**

“...la verdad no es aquello que se demuestra, es aquello que simplifica”

*Antoine de Saint-Exupery, Tierra de hombres, 1939.*

Desde la segunda guerra mundial, científicos de diferentes campos han orientado sus investigaciones en el estudio del cerebro. Los etólogos quieren conocer las raíces innatas del comportamiento social. Los científicos de la computación han intentado copiar la actividad cerebral para competir a través de máquinas inteligentes de computación. Dentro de la neurofisiología se ha despertado un creciente interés por descubrir la función de algunos centros neuronales y su relación con procesos complejos como el aprendizaje, el pensamiento, la memoria, etc. Los antropólogos han examinado la estructura conceptual de las prácticas culturales, insistiendo en la importancia de la evolución del cerebro. Y nosotros desde la educación buscamos optimizar los aprendizajes.

En la actualidad la integración de distintos campos del conocimiento se inclina hacia la comprensión de los mecanismos que involucran la actividad cerebral. Para ello, las investigaciones se han basado en el estudio de la actividad cerebral de neuronas centrando la atención fundamentalmente en el estudio de las propiedades eléctricas de las células.

En esta investigación buscamos de forma documental apuntar hacia la interpretación de aquellos mecanismos eléctricos cerebrales que posibilitan la potencialización del aprendizaje considerando la capacidad que posee el cerebro de re cablearse para adaptarse a complejos entornos cambiantes y la presencia de fenómenos físicos como los campos electromagnéticos neuronales que tienen un papel fundamental en la coordinación eléctrica del cerebro.

Actualmente se mantiene el debate acerca de qué es lo que define la esencia de una persona, pero la mayoría de los investigadores en el campo de la neurociencia, creen que el cerebro es la sede del aprendizaje. Aunque la mayor parte de los

estudios se han centrado en la conducta más que en la función cerebral ya sea por la complejidad que representa o por el enfoque de los estudios, no cabe duda de que el cerebro es una de las estructuras más complejas de la naturaleza.<sup>27</sup>

Si la experiencia modifica nuestro cerebro continuamente fortaleciendo o debilitando las sinapsis que conectan las neuronas, podemos decir que el cerebro humano es extraordinariamente plástico y puede adaptar su actividad y cambiar su estructura de manera significativa, lo que hace posible que pequeñas corrientes eléctricas puedan ser capaces de potencializar su capacidad de respuesta. Por lo tanto, haremos una descripción sobre el aprendizaje y el papel que tienen el cerebro y el sistema nervioso en dicho proceso, así como de sus características y funcionamiento.

### **3.1. Aprendizaje: Cerebro y Sistema Nervioso.**

Sabemos que la facultad de constituir circuitos, conexiones, entre distintas neuronas, no es algo que se conserve a lo largo de la vida. Cuando el niño o la niña nacen, o incluso in útero, es decir, en el momento en el que el cerebro se empieza a formar, las posibilidades de conexión son prácticamente ilimitadas. Entender el proceso de aprendizaje es fundamental para entender cómo funciona el cerebro, ya que el aprendizaje es el elemento básico de la inteligencia humana y de la mayoría de los procesos cerebrales.<sup>28</sup>

Desde el punto de vista neurocientífico, el aprendizaje se puede definir como cualquier variación en las redes sinápticas, producida por la percepción de nuevos estímulos del mundo exterior (información teórica, práctica o experiencias de vida) o desde el mundo interior (mediante el pensamiento) que produzca cambios en el comportamiento y/o en el pensamiento, entendiendo por cambios en el comportamiento el que variemos la respuesta ante el mismo estímulo.

---

<sup>27</sup> De la Barrera, María Laura. *Neurociencias y su importancia en contextos de aprendizaje*. Revista Digital Universitaria. Vol. 10 Número 4. UNAM. Pág. 13

<sup>28</sup> Ibid. Pág. 14.



A través del aprendizaje vamos construyendo nuestro mundo interior y a través de él evaluamos la realidad exterior. Así, tenemos que la etapa de nuestra vida con mayor producción de sinapsis se produce cuando somos niños, entre los 3 y los 10 años. Por lo que los ambientes enriquecidos en esa etapa son fundamentales para el desarrollo cognitivo de las personas.

Cada segundo se produce en el cerebro aproximadamente un millón de sinapsis formando nuevas redes neuronales y borrando otras.

De hecho, cada vez que evocamos un recuerdo o analizamos mentalmente una información, borramos la red sináptica anterior y grabamos en su lugar una nueva reafirmando ciertos aspectos de la información, debilitando otros, y/o agregando nuevos datos a la red neuronal.<sup>29</sup>

Durante los años 60 y 70, una serie de estudios demostraron que las ratas crecían con un cerebro más espeso y que aparecían nuevas conexiones sinápticas cuando se desarrollaban en un medio complejo y cambiante. Estos descubrimientos guardaban coherencia con el pensamiento de entonces, en que se entendía que el aprendizaje era un proceso aditivo que involucraba la formación de nuevas sinapsis o el fortalecimiento de algunas de las sinapsis existentes. El influyente psicólogo canadiense Donald Hebb<sup>30</sup> asumió que “los cambios que constituyen el aprendizaje” son el resultado de “el crecimiento de las sinapsis”<sup>31</sup>

De forma similar, Sir John C. Eccles<sup>32</sup>, que recibió el premio Nobel en 1963 por su investigación sobre la transmisión de los impulsos nerviosos, creía que el aprendizaje implicaba “el crecimiento de sinapsis mejores y más grandes”.<sup>33</sup> Sin embargo, también se sugirió que algo más que la aparición de nuevas sinapsis tenía lugar durante el proceso de aprendizaje. Varios años después, J. S. Albus propuso

---

<sup>29</sup> Feldman, Robert. *Introducción a la Psicología*. 4a. ed., Mc Graw Hill Interamericana. 2003. p. 35

<sup>30</sup> Tomado de: <https://asociacioneducar.com/monografias-docente-neurociencias/monografia-neurociencias-luis.lopez.rodriguez.pdf>

<sup>31</sup> Ponce Mejía, Tomas. *Fundamentos Psicopedagógicos*. Red Tercer Milenio. 2012. p.18

<sup>32</sup> Tomado de: <https://www.buscabiografias.com/biografia/verDetalle/6321/John%20Eccles>

<sup>33</sup> *Ibid.* p. 20

la teoría de que el almacenamiento se produce, más que por el fortalecimiento de los pesos sinápticos, por su debilitación.

Es difícil entender cómo el aprendizaje de una nueva habilidad, como ir en bicicleta o hablar una lengua extranjera, la adquisición de nuevas memorias, o aprenderse la letra de un poema o una canción, puede ser posible gracias a la pérdida de sinapsis.

Las conexiones sinápticas que raramente se usan se debilitan o se eliminan, mientras que las que son activas se mantienen o quizás se fortalecen, parece más probable que para que se produzca el aprendizaje debe darse un proceso de aparición de nuevas sinapsis o reorganización de las existentes. Al parecer, el cerebro tiene que probar una serie de combinaciones y seleccionar las mejores.

Una posible solución a este enigma la propuso el neurobiólogo francés Jean-Pierre Changeux<sup>34</sup> en 1983. En su libro *L'Homme Neuronal*, Changeux propuso un “darwinismo de las sinapsis” para explicar el desarrollo del cerebro y el aprendizaje que experimenta en su medio cultural.

En efecto, lo que sugirió este neurobiólogo es que todos los cambios de adaptación que se producen en el cerebro, o al menos los que se producen entre el nacimiento y la pubertad de los seres humanos, implican la eliminación de sinapsis preexistentes. No obstante, estas sinapsis preexistentes no se establecieron necesariamente al mismo tiempo. Changeux propone la hipótesis de que, desde el nacimiento hasta la pubertad, se producen etapas de crecimiento sináptico, y que mediante la experiencia posterior se mantienen las más útiles y se eliminan las más inútiles o redundantes. <sup>35</sup>

La concepción de cómo el cerebro adulto puede aprender nuevas habilidades y formar nuevos recuerdos ofrece una atractiva solución para el problema en relación con los procesos de adición y substracción que se producen durante la adaptación del cerebro adulto a nuevos medios. Aunque el cerebro parece saber qué parte de

---

<sup>34</sup> Changeux, Jean-Pierre. *El hombre neuronal*. Fayard. 6ª ed. París 1983. Tomado de: [https://www.academia.edu/3981529/Changeux\\_El\\_hombre\\_neuronal](https://www.academia.edu/3981529/Changeux_El_hombre_neuronal)

<sup>35</sup> Ponce Mejía, Tomas. *op. cit.* p. 11.

sí mismo ha de participar en este proyecto de construcción de nuevas sinapsis, no parece estar seguro sobre qué conexiones hacer. Mediante la formación de gran variedad y número de nuevas conexiones, el cerebro puede seleccionar las combinaciones que funcionan mejor, de la misma forma que los cerebros inmaduros conservan al desarrollarse las conexiones útiles del exceso de oferta inicial de sinapsis. El resultado a largo plazo es un aumento del número de sinapsis. Pero el proceso de selección que refina las conexiones es el proceso de substracción, mediante el cual se mantienen las conexiones útiles y las menos útiles se eliminan. Aunque existe una clara evidencia de que se produce un aumento de las sinapsis durante el aprendizaje, aún no se tienen tales pruebas para el aprendizaje durante la madurez.<sup>36</sup>

Este hallazgo colocaría al cerebro, como ejemplo notable de cómo la variación acumulativa y los procesos de selección durante la vida de un organismo hacen posible que se pueda adaptar a los complejos y cambiantes entornos. Hasta ahora hemos visto cómo se forma y se desarrolla el cerebro y cómo es capaz en la madurez de re cablearse a sí mismo para aprender y adaptarse a los cambios de su entorno. Entonces el uso de la electricidad en la potencialización de dichas sinapsis podría ser posible si se logra cierta adaptabilidad a determinadas corrientes eléctricas. Esto significa que cada instante que pasa nuestro cerebro cambia y literalmente es diferente a como era en el instante anterior.

El aprendizaje se puede definir entonces como cualquier variación en las redes sinápticas que produzca cambios en el comportamiento. El cerebro es parte de un sistema más complejo conocido como sistema nervioso (S.N.). Igualmente, los vertebrados tienen un sistema nervioso (para un entenderlo mejor se le divide en 2: sistema nervioso central (S.N.C.) y sistema nervioso periférico (S.N.P)). Los cerebros de todos los vertebrados poseen componentes clave entre los cuales se encuentran la corteza cerebral, el cerebelo y el tallo cerebral. Sin embargo, las especies vertebradas difieren tanto en el tamaño total de su cerebro como en el tamaño relativo de diversas regiones cerebrales. Lo cual no se relaciona con su

---

<sup>36</sup> Ponce Mejía, Tomas. *op. cit.* p. 13.

capacidad de aprendizaje. El cerebro es el órgano que hace las veces de unidad central de procesamiento y entre otras cosas, almacena, clasifica y analiza la información que le llega a través de los impulsos nerviosos.

Se sabe que existen algunas especies de invertebrados, como los pulpos y las abejas, que tienen un cerebro reconocible, pero con la organización muy diferente a la de los vertebrados. El pulpo tiene parte de su cerebro distribuida por todo su cuerpo, sobre todo al interior de los tentáculos gomosos. Con todo el pulpo es un animal sumamente listo: puede aprender a orientarse en un laberinto, a abrir un recipiente para obtener comida de su interior e incluso puede aprender de la observación de otro pulpo.<sup>37</sup>

### **3.2. Anatomía del Sistema Nervioso (S.N.) y las partes implicadas en el aprendizaje**

El S.N. desempeña funciones fascinantes en los seres vivos y constituye una red compleja de células especializadas interconectadas entre sí: las neuronas, que, en el caso del ser humano, llegan a ser de unos 10 000 millones.

En el ser humano, el S.N. resulta ser una red compleja de tejidos especializados en la distribución y procesamiento de la información. Estructuras especializadas (encéfalo, médula espinal y nervios) que tienen como misión controlar y regular el funcionamiento de los diversos órganos y sistemas, coordinando su interrelación y la relación del organismo con el medio externo. Está organizado para detectar cambios en el medio interno y externo, evaluar esta información y responder para ocasionar cambios o modificaciones en músculos, o conductas.

El S.N. se encarga de coordinar las funciones tanto conscientes como inconscientes que permiten la supervivencia del ser humano y está formado por el sistema nervioso central el cual está compuesto por el encéfalo y la médula espinal y el sistema nervioso periférico (S.N.P.) dentro del cual se incluyen todos los tejidos nerviosos situados fuera del sistema nervioso central (S.N.C.)

---

<sup>37</sup> Thibodeau Gary A. y Patton Kevin T. *Anatomía y Fisiología*. 6a Ed. Editorial Elsevier. Madrid 2007. p. 27.

El encéfalo es la parte del S.N.C contenida en el cráneo, el cuál comprende el cerebro, el cerebelo y el tronco del encéfalo o encefálico. La médula espinal es la parte del sistema nervioso central situado al interior del canal vertebral y se conecta con el encéfalo por el agujero occipital del cráneo. El S.N.C. (encéfalo y médula espinal) recibe, integra y correlaciona distintos tipos de información sensorial.<sup>38</sup> Además, el S.N.C. es también la fuente de nuestros pensamientos, emociones y recuerdos. Puede integrar la información, a través de funciones motoras que viajan por nervios del S.N.P. ejecuta las respuestas adecuadas. A continuación, la figura 2 que muestra las partes del sistema nervioso central y algunas de sus funciones:



Figura 2: Algunas de las zonas más recodidas del Sistema Nervioso Central. Tomado de: <https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&id=85703380C215C92C6B475CE9002B2CC23BD836B0&thid>

<sup>38</sup> Ibid. Pp. 170-176

En cuanto al cerebro, se sabe que es un órgano capaz de controlar las diversas manifestaciones del comportamiento humano (ya sea en estado de vigilia o de ensueño). El cerebro y los nervios que se extienden por todo el cuerpo constituyen el sistema nervioso humano. Los movimientos, pensamientos, esperanzas, aspiraciones, sueños, la conciencia, etc. están relacionados de manera estrecha con este sistema. Del mismo modo el cerebro es el responsable de las actividades más primitivas.

El cerebro crece con mayor rapidez durante los meses anteriores e inmediatamente posteriores al nacimiento, mientras las neuronas migran a sus ubicaciones asignadas, establecen conexiones sinápticas y son sometidas a los procesos de integración y diferenciación.

En la figura 3 se observa las partes del cerebro que posibilitan el aprendizaje y el tipo de aprendizaje en que intervienen:

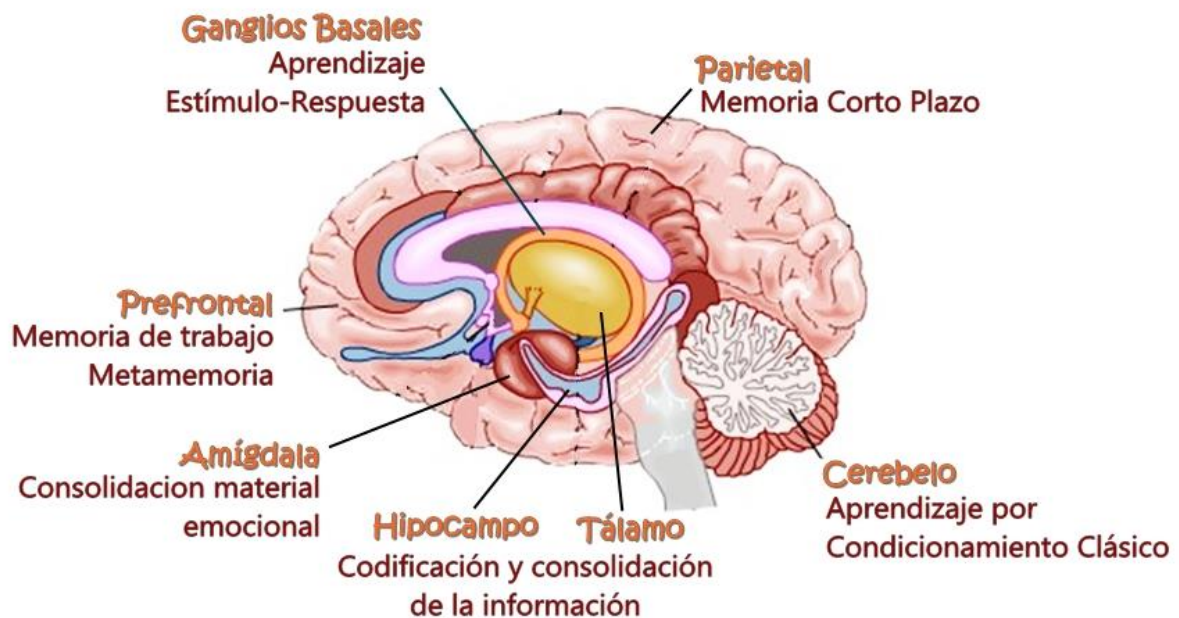


Figura 3: Estructuras cerebrales relacionadas con el aprendizaje. Tomado de:

<https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&id=12C71775871E0B54ED4B6E7D34198E33455AB390&thid>

Los ganglios basales tienen una actuación predominante en el aprendizaje procedimental y en la automatización de la conducta, por ello intervienen en el aprendizaje de estímulo y respuesta.

El lóbulo parietal, es una estructura cerebral que se ha relacionado con el conocimiento numérico, la manipulación sencilla de objetos y la visión espacial, mientras tanto la comparación que realiza el córtex prefrontal de experiencias pasadas, contexto y expectativas podría estar fuertemente implicada en el proceso de aprendizaje y encajaría perfectamente dentro de la teoría ejemplar y de la teoría de prototipos. Las experiencias pasadas serían los ejemplos y prototipos a partir de los cuáles avanzar en el aprendizaje.<sup>39</sup>

Algunos autores afirman que la amígdala nos ayuda a buscar una estrategia adecuada después de haber identificado un estímulo negativo. Por otro lado, el hipocampo juega un papel fundamental en el almacenamiento de la información nueva y la memoria. Entre tanto, el Cerebelo, está implicado en varias funciones intelectuales, desde el análisis sensorial, hasta la solución de problemas y el tálamo actúa de manera primordial como una estación de retransmisión de información hacia el cerebelo.

Como podemos darnos cuenta, muchos son los elementos del S.N. que posibilitan el aprendizaje y todos tienen su nivel de complejidad, de tal forma que toca el turno de hablar de las neuronas: elementos claves en el comportamiento humano.

Pero al referirnos a la complejidad, el tejido nervioso, las redes neuronales, las neuronas, la glía y la combinación de ambas forman el entramado más complejo conocido. Las neuronas son las células responsables de las funciones atribuidas al S.N.: pensar, razonar, control de la actividad muscular, sentir, etc. Son células excitables que conducen los impulsos que hacen posibles todas las funciones del S.N. Representan la unidad básica funcional y estructural del S.N. El encéfalo humano contiene alrededor de 100.000 millones de neuronas.<sup>40</sup>

---

<sup>39</sup> Ponce Mejía, Tomas, *op. cit.* pág. 25

<sup>40</sup> *Ibid.* pág. 26.

Aunque pueden tener distintas formas y tamaños, todas las neuronas tienen una estructura básica y constan de 3 partes esenciales: cuerpo neuronal, dendritas y axones (figura 4).

1. El cuerpo o soma neuronal contiene el núcleo y el citoplasma, con todos sus orgánulos intracelulares, rodeado por la membrana plasmática.
2. Las dendritas son prolongaciones cortas ramificadas, en general múltiples, a través de las cuales la neurona recibe estímulos procedentes de neuronas vecinas con las cuales establece una sinapsis o contacto entre células.

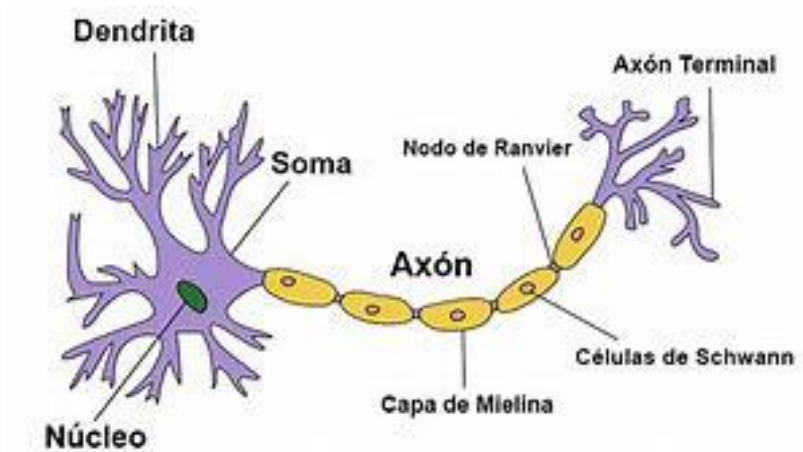


Figura 4: El esquema muestra los 3 elementos gruesos de una neurona. Tomado de: <https://www.psicoadictiva.com/blog/wp-content/uploads/2016/11/corteza-cerebral0.jpg>

3. El axón es una prolongación, generalmente única y de longitud variable, a través de la cual el impulso nervioso se transmite desde el cuerpo celular a otras células nerviosas o a otros órganos del cuerpo. Cerca del final, el axón, se divide en terminaciones especializadas que contactarán con otras neuronas u órganos efectores. El lugar de contacto entre dos neuronas o entre una neurona y un órgano efector es una sinapsis. Para formar la sinapsis, el axón de la célula presináptica se ensancha formando los bulbos terminales o terminal presináptica los cuales contienen sacos membranosos diminutos, llamados vesículas sinápticas que almacenan un neurotransmisor químico. La célula postsináptica posee una superficie receptora o terminal



postsináptica. Entre las dos terminales existe un espacio que las separa llamado hendidura postsináptica.<sup>41</sup>

Las neuronas están sostenidas por un grupo de células no excitables que en conjunto se denominan neuroglia. Las células de la neuroglia son, en general, más pequeñas que las neuronas y las superan en 5 a 10 veces en número.

En contraste con la mayoría de las demás células, las neuronas poseen una característica distintiva: la capacidad de comunicarse con otras células y transmitir información en ocasiones a través de distancias relativamente largas. Los mensajes que viajan a través de la neurona son exclusivamente de naturaleza eléctrica, con lo cual podemos decir que se puede incrementar la cantidad de sinapsis aplicando determinadas cantidades de electricidad.

Existe otro elemento fundamental que participa en la construcción de aprendizajes es la Corteza Cerebral:



Figura 5: Corteza Cerebral. Tomado de: <https://www.psicoadictiva.com/blog/wp-content/uploads/2016/11/corteza-cerebral0.jpg>

La corteza cerebral es la capa más externa del cerebro, compuesta por una fina lámina de neuronas con sus interconexiones, la cual forma una capa de pocos milímetros de espesor que cubre la superficie irregular de los hemisferios cerebrales.

---

<sup>41</sup> Kandel, E.R., J. H. Schwartz y T. M. Jessell. "An Introduction to Synaptic Transmission." (Una introducción a la transmisión sináptica) En *Essentials of Neuroscience and Behavior*. p.179-195

La corteza es la parte más desarrollada del cerebro humano y es responsable de pensar, percibir, producir y entender el lenguaje, hace funciones como el lenguaje y el pensamiento abstracto, junto con aspectos perceptivos, de movimiento y otros. La mayor parte del procesamiento de la información ocurre en la corteza cerebral.

La corteza cerebral está formada por neuronas muy compactas y es la capa más externa y arrugada que rodea el cerebro. También es responsable de procesos de pensamiento más elaborados, incluidos el habla y la toma de decisiones. La corteza se divide en cuatro lóbulos diferentes, el frontal, el parietal, el temporal y el occipital, que son responsables del procesamiento de diferentes tipos de información sensorial.

La corteza está muy plegada y sólo un tercio queda expuesto a la superficie. El resto queda escondido en grandes y pequeñas grietas, más o menos profundas, llamadas cisuras o surcos. Las superficies elevadas forman los giros o circunvoluciones cerebrales.

Las cisuras más importantes son las siguientes:

- a) Cisura central o de Rolando
- b) Cisura lateral o de Silvio
- c) Cisura parietooccipital
- d) Cisura longitudinal (separa los dos hemisferios: derecho e izquierdo)

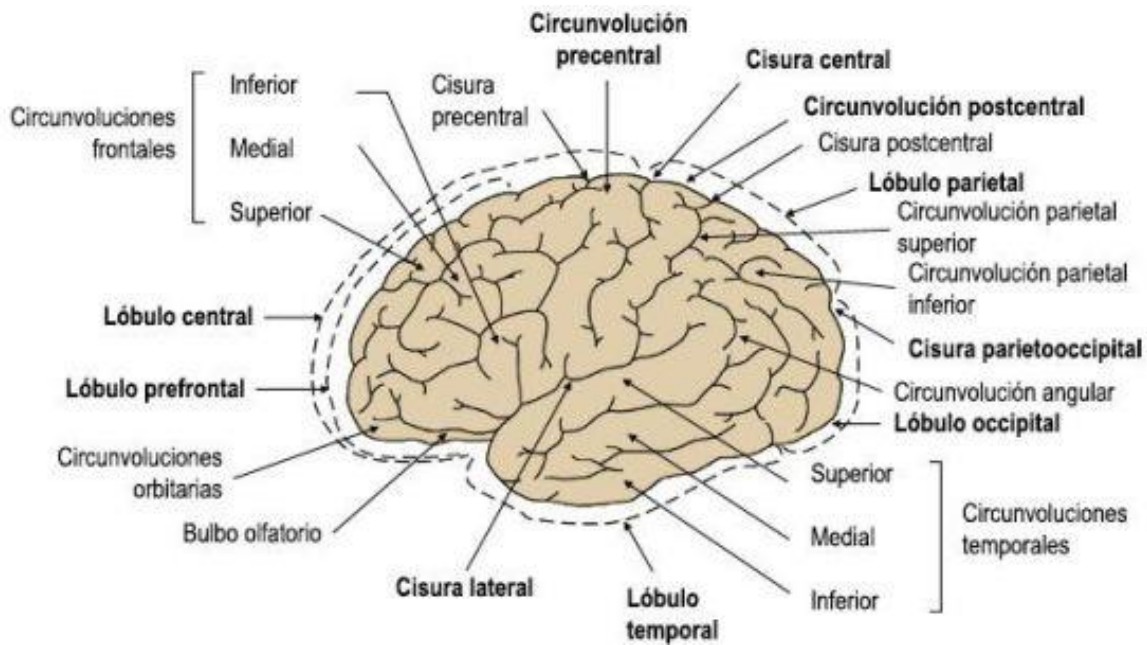


Figura 6: Cisuras del cerebro humano. Tomado de:

<https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&id=CD29215815FDACE36E5B573AE63319D830A9ED9A&thid>

Las cisuras marcan límites en la superficie cortical y la dividen en los cuatro grandes lóbulos: lóbulo frontal (anterior a la cisura central), lóbulo parietal (desde la cisura central hasta la parietooccipital), lóbulo occipital (posterior a la cisura parietooccipital) y el lóbulo temporal (ventral a la cisura lateral).

La corteza cerebral no presenta la misma estructura en todos los lugares. Casi toda la que observamos desde el exterior es de tipo neocorteza. Representa más del 90% en los humanos y recibe este nombre porque apareció bastante tarde en la evolución de los vertebrados.

El resto está formado por la paleocorteza que corresponde a zonas de la base de los hemisferios que se encargan de funciones olfativas y la arquicorteza que corresponde a la formación hipocampal.

Existen dos tipos principales de células de la corteza:

1. Las células estrelladas o granulares. Son pequeñas neuronas de axón corto que no salen de la corteza; son las principales interneuronas corticales.

2. Las células piramidales. Reciben su nombre por la forma piramidal de su soma. Son neuronas que varían de tamaño, y se pueden encontrar células piramidales gigantes en la corteza motora, unas de las más grandes del SNC.

Del vértice superior, sale una dendrita que sube hacia la superficie de la corteza; de la base salen dendritas que se extienden horizontalmente; el axón suele ser largo y sinapta con otras áreas corticales o con estructuras subcorticales. Son las principales neuronas eferentes de la corteza.<sup>42</sup>

Las células del neocórtex están organizadas en seis capas, que llamaremos desde la superficie hacia el interior en la clasificación siguiente:

- a) Capa molecular. Es esencialmente una capa sináptica.
- b) Capa granular externa. Contiene muchas células pequeñas, tanto estrelladas como piramidales; llegan aferencias de otras áreas corticales.
- c) Capa piramidal externa. Contiene células piramidales que envían sus axones hacia zonas de la corteza o destinos subcorticales.
- d) Capa granular interna. Consiste fundamentalmente en células estrelladas, estrechamente agrupadas; muchas de estas neuronas reciben aferencias del tálamo.
- e) Capa piramidal interna. Contiene células piramidales, estrelladas y de Martinotti; los axones son de proyección subcortical, el tronco y la médula, principalmente.
- f) Capa multiforme (o polimórfica). Predominan las células fusiformes y envían información a la corteza, el tálamo, los núcleos estriados.

---

<sup>42</sup> Goldberg, Elkhonon. *El cerebro ejecutivo: lóbulos frontales y mente civilizada*. Editorial Crítica. Madrid 2015. Pág. 32.

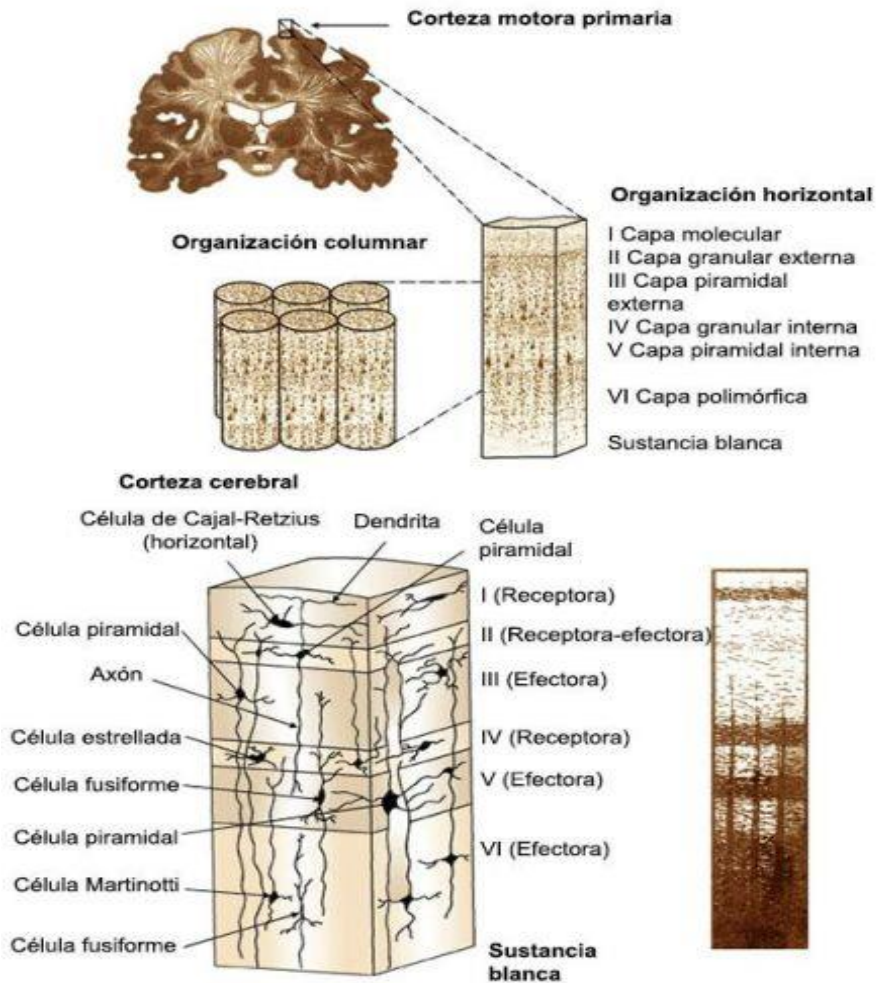


Figura 7: Organización columnar y horizontal. Tomado de:

<https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&id=02D4667E303BF3575D7942FD00D523F89893DDB0&thid>

En la corteza motora, encontramos un predominio de células piramidales con axones largos que envían las órdenes motoras a los músculos (isocórtex agranular), mientras que en las áreas sensoriales hay neuronas pequeñas que conectan con áreas adyacentes (isocórtex granular).

Las diversas áreas corticales presentan diferencias estructurales bastante evidentes (por ejemplo, corteza agranular ante granular). Algunos anatomistas intentaron trazar mapas de la corteza teniendo en cuenta estas diferencias y parcelar la corteza en diferentes áreas. (Figura 8)

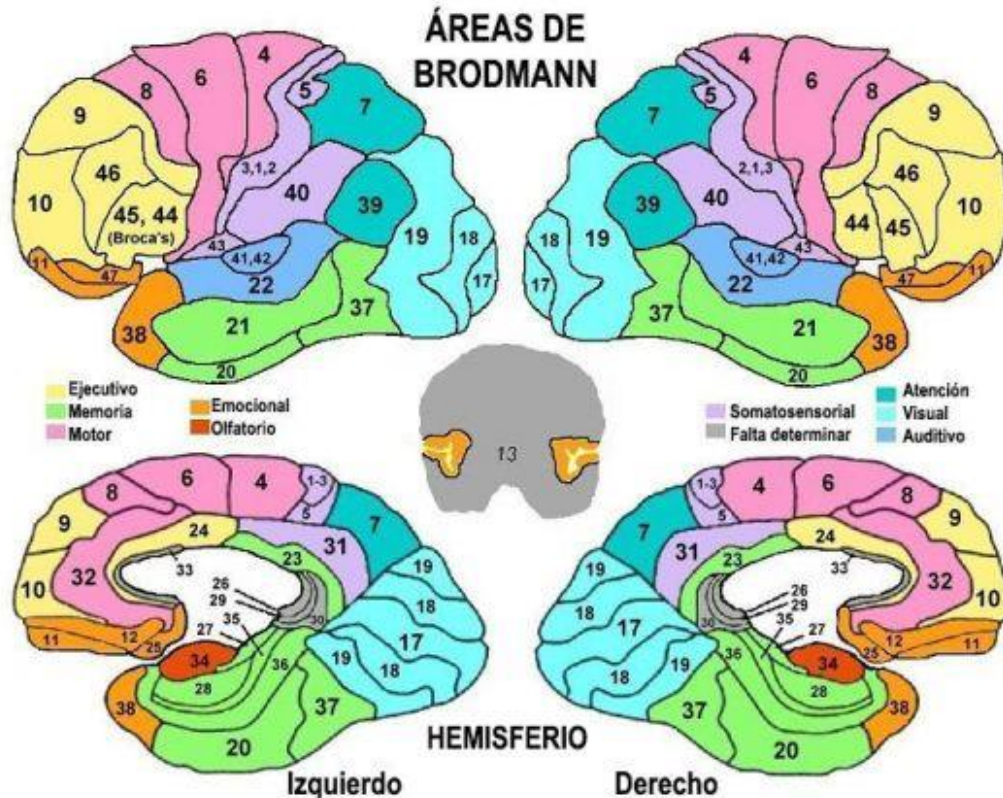


Figura 8: Sistema de referencia de Brodmann. Áreas de la Corteza Cerebral. Tomado de: <https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&id=AA0CD2B5F9F9DFEAFD7B6A927DCDE0EBE7D4BF04&thid>

El sistema más utilizado como referencia es el que creó Brodmann en 1909; dividió la corteza de cada hemisferio en cincuenta y dos áreas con diferentes estructuras, y sugirió que hacían también funciones diferentes.

La neocorteza de cada hemisferio está formada por las siguientes áreas:

1. Áreas sensoriales primarias

Reciben información sensorial directamente los núcleos talámicos específicos. Cada sentido (visión, audición, etc.) tiene su área sensorial primaria, que codifica esta información sensorial.

Tienen una organización topográfica, en la que están representados en la superficie de la corteza la superficie corporal, el mundo externo o el rango de frecuencias audibles.

Hay tres principales, que son los que tenemos a continuación:

- a) Corteza somestésica o somática primaria. Recibe información de sensibilidad general (tacto, dolor, temperatura, presión, etc.) a partir del núcleo ventral posterior del tálamo.
- b) Corteza visual primaria. Recibe información visual del núcleo geniculado lateral del tálamo.
- c) Corteza auditiva primaria. Recibe información auditiva del núcleo geniculado medial del tálamo.

## 2. Área motora primaria

Está localizada en el lóbulo frontal. Se originan los tratos motores descendientes (por ejemplo, fascículo piramidal) que van desde la corteza a las motoneuronas del tronco y la médula para controlar la ejecución de los movimientos del cuerpo.

## 3. Áreas de asociación

La mayor parte de la neocorteza humana es de asociación y se subdivide en los dos tipos siguientes:

### ✓ Unimodal

- También es llamada corteza sensorial de nivel superior.
- Es junto a un área primaria.
- Elabora la información que recibe del tálamo o del área primaria a un nivel más complejo.
- Las áreas que rodean el área visual primaria (17 de Brodmann), son las áreas de asociación visual o áreas visuales de nivel superior (18 y 19).

### ✓ Multimodal

- Integran más de una modalidad sensorial y reciben información de las diferentes áreas sensoriales de asociación.
- Planifican movimientos.

- Tienen funciones intelectuales superiores (lenguaje, escritura, pensamiento abstracto, percepción integrada, etc.).<sup>43</sup>

Recientemente un equipo de investigadores del Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT) ha descubierto de qué forma el cerebro humano es capaz de absorber y de analizar rápidamente nueva información, lo que llamamos aprendizaje.

Para el experimento, los investigadores realizaron varias pruebas de aprendizaje con monos mientras eran monitoreados mediante electroencefalografía (EEG) con objeto de medir las ondas cerebrales. En las tareas de aprendizaje, los científicos ya habían demostrado que las neuronas en la zona del cuerpo estriado del cerebro, la que controla la formación de los hábitos, eran las que se activaban en primer lugar y luego eran seguidas por una activación más lenta de las neuronas de la corteza prefrontal, el sistema de control ejecutivo del cerebro.<sup>44</sup>

La clave estaba en averiguar si esta activación escalonada era provocada por una comunicación entre ambas regiones cerebrales o se trataba de dos sistemas independientes. Gracias a la medición de ondas cerebrales, los investigadores descubrieron que mientras los monos estaban aprendiendo la tarea, aparecieron nuevos patrones de ondas cerebrales, las llamadas ondas beta, que, para sorpresa de los expertos, comenzaron a sincronizarse, lo que demuestra que ambas regiones, el cuerpo estriado y la corteza prefrontal, se están comunicando.

Se cree que debe existir algún mecanismo desconocido que permite a estos patrones de resonancia formarse, para que estos circuitos comiencen a 'sonar' juntos. Y ese zumbido entonces pueda fomentar posteriores cambios de plasticidad a largo plazo en el cerebro, pero la primera cosa que sucede es que empiezan a sincronizarse.

---

<sup>43</sup> Goldberg, E. *El cerebro ejecutivo: lóbulos frontales y mente civilizada*. Crítica. 2009. Pág. 34.

<sup>44</sup> *Investigadores del MIT descubre como el cerebro humano absorbe y analiza la información*. Viernes 13 de junio 2014. En: <https://tengasepresente.blogspot.com/2014/06/investigadores-del-mit-descubre-como-el.html>. consultado: 21/01/19.



Según las conclusiones del estudio, nuestros 'circuitos' están en constante actualización para mantener la expansión de nuestro conocimiento, y “ahora estamos viendo la evidencia directa de las interacciones entre estos dos sistemas durante el aprendizaje, que no se había visto antes”, sentencia Miller.<sup>45</sup>

En el siguiente capítulo, revisaremos los tipos de sinapsis comunes y sus características, a fin de vislumbrar los procesos comunicativos en el cerebro y sus características electroquímicas, las cuales determinan los procesos de aprendizaje.

---

<sup>45</sup> Kirkwood, Alfredo. et. al. [Distinct Eligibility Traces for LTP and LTD in Cortical Synapses](https://www.tendencias21.net/dx.joi.org/10.1016/j.neuron.2015.09.037) en: <https://www.tendencias21.net/dx.joi.org/10.1016/j.neuron.2015.09.037> Consultado: 29-09-18 10:40 horas.

## Capítulo IV. Sinapsis Eléctrica y Química: Procesos electrofisiológicos

*“Cuando todos piensan igual, nadie piensa”*

*Anónimo*

Las neuronas se comunican entre sí mediante las uniones llamadas sinapsis. En una sinapsis, una neurona envía un mensaje a otra neurona. A finales del siglo XIX y principios del XX, hubo mucha controversia sobre si la transmisión sináptica era eléctrica o química.

Algunas personas pensaban que en la señalización de la sinapsis participaba del flujo directo de iones de una neurona a otra, o transmisión eléctrica. Otras personas pensaban que dependía de la liberación de sustancias químicas de parte de una neurona, lo que causaba una respuesta en la neurona receptora; es decir transmisión química. Ahora sabemos que la transmisión sináptica puede ser eléctrica o química, e incluso en algunos casos, puede realizar ambas sinapsis.

La transmisión química es más común, que la transmisión eléctrica. La mayoría de las sinapsis son químicas, las cuales se comunican con mensajeros químicos y otras sinapsis son eléctricas, en ellas los iones fluyen directamente entre células. Y en recientes investigaciones en biofísica se ha encontrado que todas las reacciones químicas que ocurren en las células están gobernadas por las reglas del electromagnetismo.<sup>46</sup> Lo cual apunta a una a que los organismos se encuentran relacionados entre sí también por fenómenos físicos externos.

La acción sucede en la sinapsis, el punto de comunicación entre dos neuronas o entre una neurona y una célula blanco, como un músculo o una glándula. En la sinapsis, el disparo de un potencial de acción en una neurona -la neurona presináptica, o emisor- provoca la transmisión de una señal a otra neurona -la

---

<sup>46</sup> Lozano Leyva, Manuel. *La biofísica. La ciencia interdisciplinar de la vida*. RBA Coleccionables S.A. Navarra 2017. p. 68

neurona postsináptica, o receptora-, lo que aumenta o disminuye la probabilidad de que la neurona postsináptica dispare su propio potencial de acción.

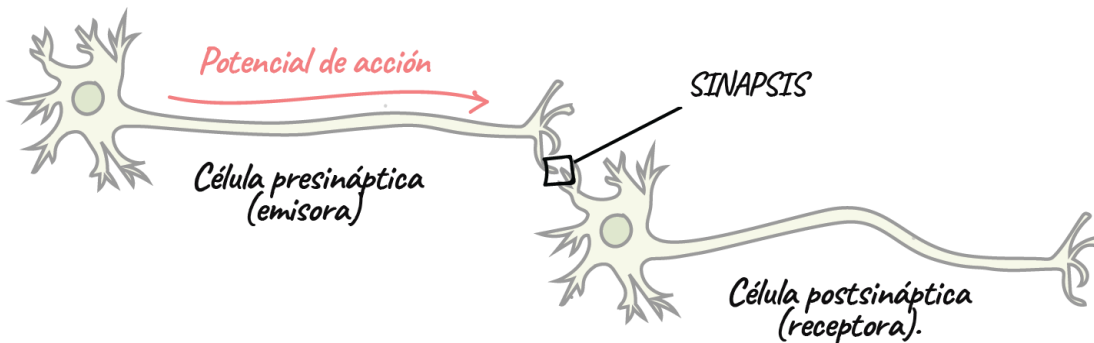


Figura 9: Un potencial de acción viaja por el axón de la célula presináptica o emisora, y llega a la terminal axónica. La terminal axónica es adyacente a la dendrita de la célula postsináptica o receptora. Este punto de estrecha conexión entre axón y dendrita es la sinapsis. Tomado de: <https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&id=5E86DBD14BED73F5A63471E539BD4E69C8AFF59A&thid><sup>47</sup>

#### 4.1. Sinapsis Eléctrica.

En las sinapsis eléctricas, a diferencia de las sinapsis químicas, existe una conexión física directa entre la neurona presináptica y la neurona postsináptica. Esta conexión toma la forma de un canal llamado unión en hendidura, que permite que la corriente -los iones- fluyan directamente de una célula a otra.<sup>48 \*</sup>

Las sinapsis eléctricas transmiten señales con mayor velocidad que las sinapsis químicas. Algunas sinapsis son eléctricas y químicas. En estas sinapsis, la respuesta eléctrica ocurre antes que la respuesta química. Así, tenemos que son rápidas, lo que podría ser importante, por decir algo, en un circuito que ayuda a un organismo a escapar de un depredador. Además, las sinapsis eléctricas permiten la actividad sincronizada de grupos de células. En muchos casos, pueden llevar corriente en ambas direcciones, de forma que la despolarización de la neurona

<sup>47</sup> Pereda, Alberto E. "Electrical Synapses and Their Functional Interactions with Chemical Synapses," (*Las sinapsis eléctricas y sus interacciones funcionales con las sinapsis químicas*) Nature Reviews Neuroscience. 2014.pág. 175-176

<sup>48 \*</sup> Las neuronas expuestas al campo electromagnético son capaces de disparar potenciales de acción más rápidamente, ya que la neurona se despolariza ante la presencia de este.

postsináptica producirá la despolarización de la neurona presináptica. Las ventajas que poseen las sinapsis eléctricas en relación con las químicas son básicamente las siguientes:

1. Las sinapsis eléctricas poseen una transmisión bidireccional de los potenciales de acción, en cambio la sinapsis química solo posee la comunicación unidireccional.
2. En las sinapsis eléctricas hay una sincronización en la actividad neuronal lo cual hace posible una coordinada acción entre ellas.
3. La comunicación es más rápida en las sinapsis eléctricas que en las químicas, debido a que los potenciales de acción pasan a través del canal proteico directamente sin necesidad de la liberación de los neurotransmisores.

Para proporcionar al cerebro las condiciones en que funcione mejor es necesario conocer su funcionamiento y sus requerimientos. El cerebro necesita mucho oxígeno y energía para desarrollar sus funciones en forma eficiente.

Desde el punto de vista funcional, la comunicación interneuronal a través de las sinapsis eléctricas difiere marcadamente de la comunicación a través de las sinapsis químicas. La principal diferencia estriba en la velocidad. Mientras que en las últimas existe un retraso sináptico, tiempo que transcurre desde que el potencial de acción alcanza el terminal presináptico hasta que se libera el neurotransmisor y éste interactúa con el receptor produciendo la respuesta en la célula postsináptica (unos pocos milisegundos), en las sinapsis eléctricas este retraso es prácticamente nulo. Esta alta velocidad en la comunicación intercelular permite el acoplamiento funcional simultáneo (sincronización) de redes de neuronas que estén unidas por sinapsis eléctricas.

Otra importante diferencia entre las sinapsis eléctricas y las químicas es su regulación. El complicado proceso que conduce a la liberación y unión del neurotransmisor con el receptor en las sinapsis químicas (que de una forma resumida incluiría al menos los siguientes pasos: llegada del potencial de acción al terminal presináptico, apertura de canales de calcio dependientes de voltaje, incremento del calcio intracelular, fusión de las vesículas sinápticas con la

membrana presináptica, exocitosis del neurotransmisor, unión de éste con los receptores postsinápticos y, en el caso más simple, apertura de canales iónicos en la membrana postsináptica) está sujeto a numerosos puntos de control. Cualquiera de los procesos mencionados puede ser regulado o modificado, lo cual puede conducir a una mayor o menor liberación del neurotransmisor en determinadas circunstancias. Igualmente, las sinapsis químicas pueden ser muy variadas, ya que no solamente puede variar el mediador químico liberado, el neurotransmisor, sino que también pueden existir diferentes receptores para un mismo neurotransmisor, con lo que las acciones sinápticas en las sinapsis químicas pueden ser muy complejas.

#### 4.2. Sinapsis Química

Durante la transmisión química ocurre la liberación de mensajeros químicos conocidos como neurotransmisores, los cuales llevan información de la neurona presináptica o emisora, a la célula postsináptica o receptora. Las sinapsis generalmente se forman entre las terminales nerviosas -terminales axónicas- de la neurona emisora y el cuerpo celular o las dendritas de la neurona receptora.

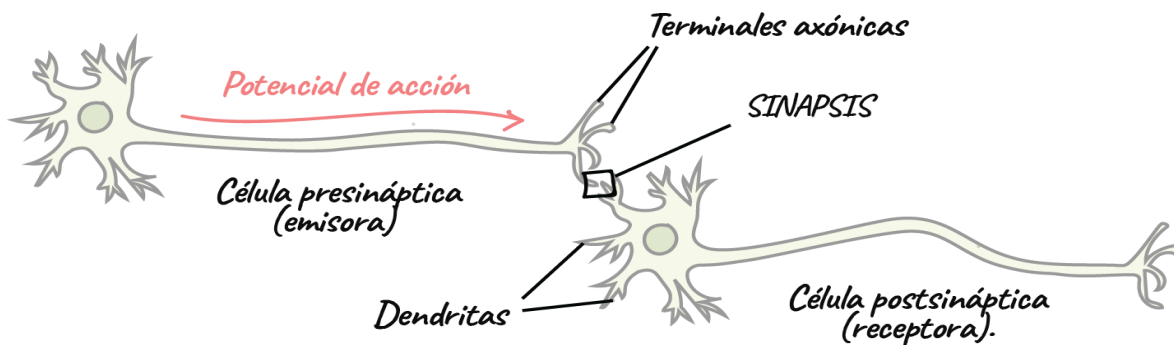


Figura 10. Un potencial de acción viaja por el axón de la célula presináptica o emisora, y llega a múltiples terminales axónicas que ramifican del axón. La terminal axónica es adyacente a la dendrita de la célula postsináptica o receptora. Este lugar de estrecha conexión entre axón y dendrita es la sinapsis. Tomado de:

<https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&id=5E86DBD14BED73F5A63471E539BD4E69C8AFF59A&thid><sup>49</sup>

<sup>49</sup> Nicholls, J.G., A. R. Martin, B. G. Wallace y P. A. Fuchs. "Principles of Direct Synaptic Transmission." (Principios de transmisión sináptica directa). En: From Neuron to Brain. 4ª ed. Sunderland, 2001. p.81.

Un solo axón puede tener múltiples ramificaciones, pudiendo hacer sinapsis con varias células postsinápticas. Del mismo modo, una sola neurona puede recibir miles de entradas sinápticas de muchas neuronas emisoras diferentes. Dentro de la terminal axónica de una célula emisora hay muchas vesículas sinápticas, es decir esferas membranosas llenas de moléculas de neurotransmisor. Hay un pequeño espacio entre la terminal axónica y la membrana de la célula postsináptica, este espacio se llama espacio sináptico.<sup>50</sup> (Fig. 10)

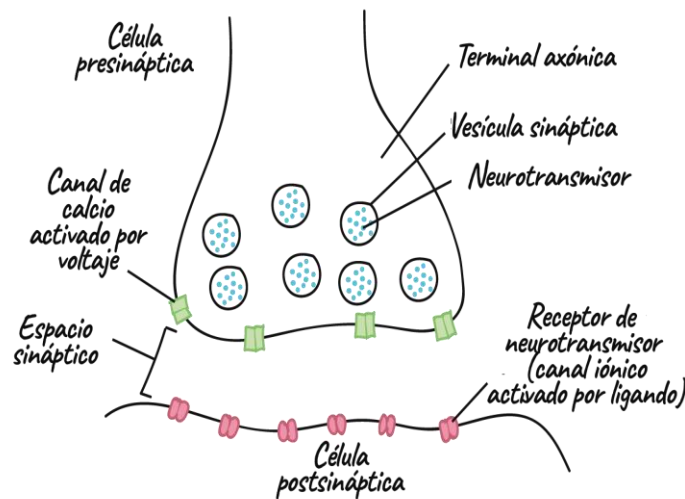


Figura 11: Imagen mostrando la terminal axónica de la célula presináptica que contiene vesículas sinápticas con neurotransmisores. Tomado de:  
<https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&id=14E30E458E4347F34751F8FBF17347C8E23F8B75&thid><sup>51</sup>

Cuando un potencial de acción, o impulso nervioso, llega a la terminal axónica, acciona canales de calcio activados por voltaje en la membrana celular. Lo cual permite que las vesículas sinápticas se fundan con la membrana de la terminal axónica, liberando los neurotransmisores en el espacio sináptico. (Fig. 11)

Las moléculas de neurotransmisor se difunden por el espacio sináptico y se unen a las proteínas receptoras en la célula postsináptica. La activación de los receptores postsinápticos provoca la apertura o cierre de canales iónicos en la membrana celular. Esto puede ser despolarizante -el interior de la célula se vuelve más

<sup>50</sup> Nicholls, J.G., A. R. Martin, B. G. Wallace y P. A. Fuchs. *op. cit.* p. 82.

<sup>51</sup> Nicholls, J.G., A. R. Martin, B. G. Wallace y P. A. Fuchs. *op. cit.* p. 83.

positivo- o hiperpolarizante -el interior de la célula se vuelve más negativo- según qué iones participen.

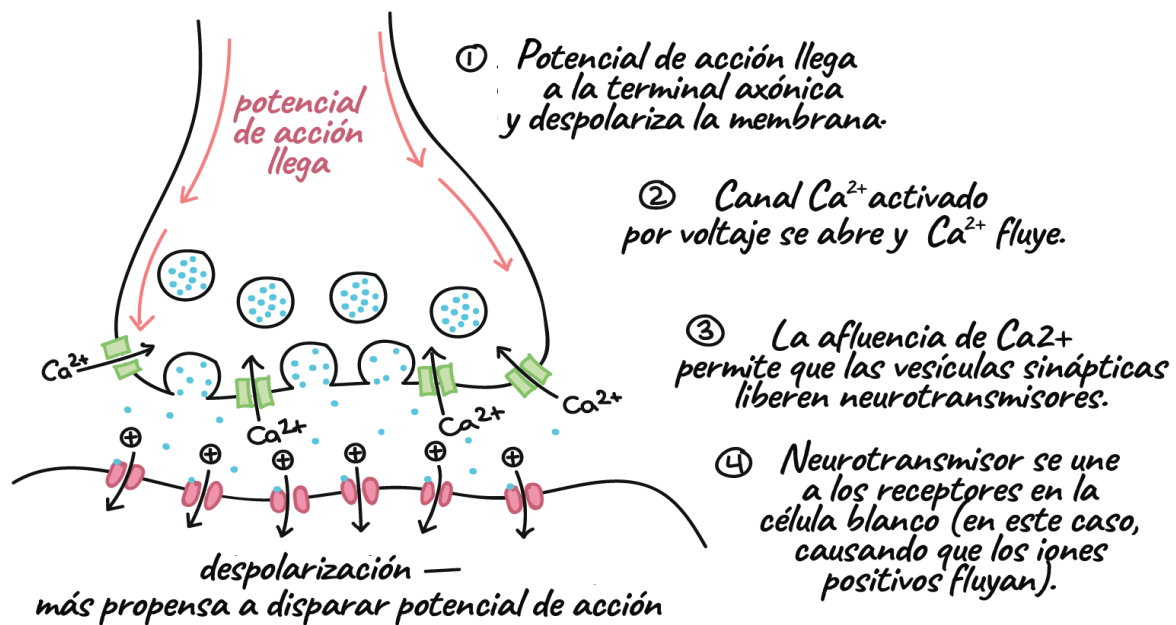


Figura 12. Imagen que muestra lo que sucede cuando el potencial de acción llega a la terminal axónica, y se provoca un flujo de iones y la despolarización de la célula objetivo. Paso a paso: 1. El potencial de acción alcanza la terminal axónica y despolariza la membrana. 2. Se abren los canales de calcio activados por voltaje y los iones de calcio entran. 3. El ingreso de iones de calcio hace que las vesículas sinápticas liberen el neurotransmisor. 4. El neurotransmisor se une a los receptores en la célula objetivo (lo que provoca en este caso, la entrada de iones positivos).

Tomado de:

<https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&id=14E30E458E4347F34751F8FBF17347C8E23F8B75&thid><sup>52</sup>

En algunos casos, estos efectos sobre el comportamiento del canal son directos: el receptor es un canal iónico activado por iones, como en la imagen anterior. En otros casos, el receptor no es un canal iónico, pero activa canales iónicos mediante una vía de señalización.<sup>53</sup> Cuando un neurotransmisor se une a su receptor en una célula receptora, causa la apertura o cierre de canales iónicos. Esto puede producir un cambio localizado en el potencial de membrana, o voltaje a través de la membrana, de la célula receptora.

<sup>52</sup> Nicholls, J.G., A. R. Martin, B. G. Wallace y P. A. Fuchs. *op. cit.* p. 84.

<sup>53</sup> Nicholls, J.G., A. R. Martin, B. G. Wallace y P. A. Fuchs. *op. cit.* p. 85.

- En algunos casos, el cambio provoca que la célula blanco sea *más* propensa a disparar su propio potencial de acción. En este caso, el cambio en el potencial de membrana se llama potencial excitatorio postsináptico o PEPS.
- En otros casos, el cambio provoca que la célula blanco sea *menos* propensa a disparar su propio potencial de acción y se llama potencial inhibitorio postsináptico o PIPS.

Un PEPS es despolarizante: hace que el interior de la célula sea más positivo, y acerca el potencial de membrana a su umbral de disparo de un potencial de acción. A veces, no es suficiente un PEPS aislado para llevar a la neurona al umbral, pero puede sumarse junto con otros PEPS para desencadenar un potencial de acción.

Los PIPS tienen el efecto contrario. Es decir, tienden a mantener el potencial de membrana de la neurona postsináptica por debajo del umbral de disparo de un potencial de acción. Los PIPS son importantes porque pueden contrarrestar, o cancelar, el efecto excitatorio de los PEPS.<sup>54</sup>

Básicamente, una neurona postsináptica suma, o integra, todas las señales inhibitorias y excitatorias que recibe y "decide" si disparar o no un potencial de acción.

- La integración de potenciales postsinápticos que ocurren en diferentes lugares, pero casi al mismo tiempo se conoce como sumatoria espacial.
- La integración de potenciales postsinápticos que ocurren en el mismo lugar, pero en momentos ligeramente diferentes se llama sumatoria temporal.

Una neurona tiene dos sinapsis en dos diferentes dendritas, ambas excitatorias. Ninguna de las dos sinapsis produce un potencial excitatorio postsináptico, PEPS, lo suficientemente grande para llegar al umbral en el cono, el lugar donde el axón se une al cuerpo celular y donde se inicia el potencial de acción. Sin embargo, cuando las sinapsis se disparan casi al mismo tiempo, los PEPS se suman para

---

<sup>54</sup> Nicholls, J.G., A. R. Martin, B. G. Wallace y P. A. Fuchs. *op. cit.* p. 85.



producir una despolarización por arriba del umbral, lo que desencadena un potencial de acción.

Un punto clave es que los potenciales postsinápticos no son instantáneos; por el contrario, duran un ratito antes de disiparse. Si una neurona presináptica se dispara rápidamente dos veces seguidas, y causa dos PEPS, el segundo PEPS puede llegar antes de que el primero se disipe, lo que lleva el potencial hacia el umbral de membrana. Este es un ejemplo de sumatoria temporal.<sup>55</sup>

Una sinapsis solo puede funcionar con eficacia si hay alguna manera de "apagar" la señal una vez que se envió. La terminación de la señal permite a la célula postsináptica regresar a su potencial de reposo normal, lista para recibir nuevas señales. Para poder terminar la señal, el espacio sináptico debe limpiarse del neurotransmisor. Hay varias maneras diferentes de lograr esto. El neurotransmisor puede ser degradado por una enzima, la neurona presináptica lo puede reabsorber, o simplemente puede difundirse hacia otro lado. En algunos casos, las células gliales cercanas también pueden "limpiar" el neurotransmisor.

La recaptura por la neurona presináptica, la degradación enzimática y la difusión, disminuyen los niveles de neurotransmisores, y finalizan la señal. Cualquier cosa que interfiera con los procesos que terminan la señal sináptica puede tener importantes efectos fisiológicos. Por ejemplo, algunos insecticidas matan a los insectos mediante la inhibición de una enzima que degrada el neurotransmisor acetilcolina.<sup>56</sup>

La señalización sináptica, por el contrario, es mucho más flexible. Por ejemplo, una neurona emisora puede "subir" o "bajar" la cantidad de neurotransmisor que libera en respuesta a la llegada de un potencial de acción. Del mismo modo, una célula receptora puede alterar el número de receptores que pone en su membrana y la facilidad con que responde a la activación de los receptores. Estos cambios pueden fortalecer o debilitar la comunicación en una sinapsis particular.

---

<sup>55</sup> Nicholls, J.G., A. R. Martin, B. G. Wallace y P. A. Fuchs. *op. cit.* p.86.

<sup>56</sup> Nicholls, J.G., A. R. Martin, B. G. Wallace y P. A. Fuchs. *op. cit.* p. 87.

Las células presinápticas y postsinápticas pueden cambiar dinámicamente su comportamiento de señalización según su estado interno o por señales que reciben de otras células. Este tipo de plasticidad, o capacidad de cambio, hace que la sinapsis sea un sitio clave en la modificación de la intensidad de los circuitos neurales y desempeña un papel en el aprendizaje y la memoria. La plasticidad sináptica también participa en la adicción.

En conclusión, ¿cómo es que aprendemos a nivel sináptico? Algo que es muy cierto es que lo mejor que hace el cerebro es aprender. Un aprendizaje modifica el cerebro con cada nueva estimulación, experiencia y conducta. Cuando algún tipo de estímulo llega al cerebro se desencadena el proceso. Puede ser interno (una tormenta de ideas) o una nueva experiencia, como resolver un rompecabezas. Luego el estímulo se distribuye y se procesa a varios niveles y finalmente, tiene lugar la formación de la memoria potencial.

Después de que se recibe una entrada de estímulo, cada célula cerebral actúa como una diminuta pila eléctrica, impulsada por la diferencia en la concentración de iones de sodio y potasio a lo largo de la membrana celular. Los cambios en el voltaje favorecen la transmisión de señales necesarias para el desarrollo dendrítico. Los neurotransmisores se acumulan en los extremos del axón de la célula, que llegan a tocar las dendritas de otra célula. Cuando el cuerpo celular envía una descarga eléctrica hacia afuera del axón, estimula la liberación de esos componentes químicos almacenados en un espacio intersináptico.

Una vez llegado al espacio intersináptico, la reacción química dispara (o inhibe) una nueva energía eléctrica en los receptores de la dendrita contactada. Va de eléctrica a química y de nuevo a eléctrica; se repite el proceso hasta la siguiente célula. Finalmente, la estimulación eléctrica repetida fomenta junto con la entrada incrementada de nutrientes, el desarrollo celular mediante la ramificación dendrítica. Estas ramas nos ayudan a establecer más conexiones hasta incluso “árboles neuronales”<sup>57</sup> que nos ayudan a comprender mejor.

---

<sup>57</sup> Jensen, Eric. *Cerebro y aprendizaje. Competencias e implicaciones educativas*. Narcea S.A. Ediciones. Madrid 200. Pág. 31

Una célula estimulada eléctricamente repetidas veces hasta que excita a una célula cercana, si poco tiempo después se aplica un estímulo más débil a la célula vecina, se incrementa la capacidad de la célula de excitarse.

Las células cambian su receptividad a los mensajes basándose en la estimulación previa. Es como si las células hubiesen aprendido y cambiado su conducta. En pocas palabras, nuestro aprendizaje se hace mediante la alteración de la eficacia sináptica.

Usando técnicas para la localización de las proteínas que forman los canales comunicantes (conexinas), así como técnicas de registro intracelular de células emparejadas, se ha podido conocer mejor la distribución y funciones de las sinapsis eléctricas, devolviendo así el protagonismo a esas grandes olvidadas.

Además de su papel bien demostrado durante el desarrollo embrionario del S.N.C., permitiendo el acoplamiento funcional de las neuronas, su presencia en numerosas regiones del cerebro adulto, como son el tálamo dorsal, estriado, cerebelo, corteza cerebral o hipocampo, sugiere que también desempeñan un papel importante en la fisiología del cerebro después del desarrollo.

La presencia de sinapsis eléctricas entre redes de interneuronas GABAérgicas (recordemos que el GABA es el principal neurotransmisor inhibitor en el cerebro), están implicadas en la generación de actividades oscilatorias en regiones como el hipocampo o la corteza cerebral. Ya que una sola interneurona inhibitora puede inervar cientos de neuronas excitadoras (al menos en el hipocampo), la activación de estas redes podría producir la inhibición simultánea de numerosas neuronas, causando ritmos sincronizados en una gran población neuronal.

Estas actividades rítmicas podrían jugar un papel importante en la formación de las memorias, en la cognición y en otras funciones nerviosas superiores, incluido el aprendizaje.

## Capítulo V. Influencia de los Fenómenos Físicos en el Cerebro, Sistema Nervioso (S.N) y Aprendizaje humano

“no cesaremos en la exploración  
Y el final de todo nuestro explorar  
Será llegar a donde comenzamos  
y conocer el lugar por la primera vez”

*Thomas S. Elliot, Four Quartets, “Little Gidding”, 1942.*

Nuestra vida diaria está rodeada de campos electromagnéticos: hornos microondas, teléfonos móviles, señales de televisión y radio; un poco más allá, antenas, onda corta de radioaficionados, taxis o policía, radares, etc. Así mismo nos vemos afectados por diversas fuentes de radiación electromagnética y algunas influencias en torno al geomagnetismo terrestre y tormentas solares las cuales irradian un tipo u otro de emisiones mismas que nos han afectado en mayor o menor medida.

Es un hecho la larga lista de padecimientos que la radiación electromagnética, sobre todo la de baja frecuencia, provoca al interactuar con nuestras células, pero también lo es, desde los años noventa, la compleja relación que existe entre los campos magnéticos y el cerebro humano, entre cuyos componentes se encuentran los magnetosomas, es decir aquellas partículas de magnetita rodeadas de una membrana biológica, la cual permite la interacción con las neuronas.<sup>58</sup>

La existencia de los magnetosomas en los animales era algo conocido por la Biología, puesto que son los que permiten, a modo de brújula, orientar a seres como las aves migratorias, ballenas, delfines y tortugas marinas. Y, de hecho, se ha demostrado que la perturbación electromagnética es causa de algunos episodios de desorientación en dichos animales.

---

<sup>58</sup> Townley, John. *El uso de los ciclos planetarios de tomar decisiones personales y de carrera*. Inner Traditions, Vermont, USA, 1997.

Todo esto no sólo es aplicable a los campos electromagnéticos de origen artificial, sino también a los naturales. Se sabe que las alteraciones bruscas del campo magnético, como las que se producen antes de un terremoto, son percibidas por los animales.

Con el tiempo se ha podido analizar la relación entre la glándula pineal, un órgano atrofiado y gran desconocido que los científicos apenas alcanzan a asociar con la segregación de melatonina y con cierta capacidad fotosensible, y los campos magnéticos.

La glándula pineal, o epífisis, es un órgano situado justo en el centro geométrico de nuestro encéfalo. A partir de los siete años, se produce su atrofia debido a un proceso de deshidratación común a diferentes órganos, lo que hace que esta glándula termine por contraerse hasta alcanzar el tamaño de un piñón.<sup>59</sup>

Hasta hace poco se la consideraba un residuo procedente de fases anteriores de nuestra evolución, un vestigio sin utilidades importantes en nuestra actual fase evolutiva. Sin embargo, los últimos descubrimientos científicos han cambiado radicalmente el concepto que hasta ahora se tenido de ella. Hoy sabemos que su misión biológica es la secreción interna de melatonina, hormona cuya cantidad disminuye con la edad y que está relacionada con la regulación de los ciclos de vigilia y sueño, los llamados “ritmos circadianos”, y con los procesos de la pubertad, además de ser un poderoso antioxidante. Es una glándula fotosensible, es decir, responde a las variaciones de luz que se dan a nuestro alrededor. De esta manera, se activa en la oscuridad para segregar melatonina, la cual nos induce a un estado de calma e introspección.<sup>60</sup>

La circulación de hormonas por nuestro organismo provoca una serie de emociones y sensaciones concretas. Las sustancias endorfinas segregadas por la glándula pineal nos ayudan a entrar en un estado de conciencia más íntimo provocado por la sensación de tranquilidad que aporta la melatonina.

---

<sup>59</sup> Nobelprize.org. *A descubridores del mecanismo del reloj biológico, el Nobel de Medicina*. En la jornada: martes 3 de octubre de 2017. pág. 2a.

<sup>60</sup> Nobelprize.org. op. cit. pág. 2a.

Esta segregación de endorfinas permite disminuir y relajar los sentidos, lo que se refleja en el cuerpo mediante una reducción del glucógeno en la sangre, induciéndonos al sueño y llevándonos a un estado de adormecimiento. Al ser éste un estado en el que la actividad cerebral está bajo mínimos reduce las interferencias del mundo externo y la concentración sobre uno mismo es superior. Esto, a nivel práctico, nos permite distanciarnos de los problemas y observarlos con una nueva perspectiva, por lo que la mayoría de nosotros lo aprovechamos para reflexionar y repasar los acontecimientos cotidianos, encontrando a veces respuestas y soluciones que sin esa calma y concentración nos resultarían difíciles de intuir.

Más allá de su capacidad fotosensible, la glándula pineal es también un magnetorreceptor, es decir, resulta sensible a los campos magnéticos y transforma sus ondas en estímulos neuroquímicos.

El profesor Bardasano, de la Universidad de Alcalá de Henares, es uno de los mayores especialistas en temas relacionados con bioelectromagnetismo. Considera que en el organismo existen dos sistemas de comunicación: el de base química y el de base eléctrica. En el primero (sistema endocrino), comenta que las señales de información (mensajes) son las hormonas que se transmiten a través de canales de información: vasos sanguíneos, vasos linfáticos, canal neural, etc. alcanzando los órganos diana o efectores. Mientras que en el segundo (sistema nervioso) las señales son electromagnéticas y poseen una red de distribución con centros y “subestaciones” que asienta sobre las células neuronales (neuronas) alcanzando los músculos, corazón, glándulas, etc. Estos dos sistemas han evolucionado paralelamente y colaboran mutuamente desde sus orígenes en perfecta armonía cronobiológica (la cronobiología es la ciencia que estudia los ritmos). Los ritmos y ciclos que en estos dos sistemas se suceden están coordinados por la “glándula pineal”.<sup>61</sup>

Para el profesor Bardasano, la luz es el temporizador o sincronizador principal de los ciclos vitales, mientras que los campos electromagnéticos constituyen el

---

<sup>61</sup> Cañedo Dorantes, Luis Enrique. *Bioelectromagnetismo*. Revista Ciencia y Desarrollo. Nov. 2006. Vol. 36 N°200. pp. 17-19.

sincronizador adicional. Los estudios realizados han llevado a concluir que las alteraciones electromagnéticas, al igual que lo hace la luz, interrumpen el proceso de secreción de melatonina. Una exposición continuada y la consiguiente reducción de actividad en la glándula pineal provocan casos habituales de fatiga, estrés, trastornos del humor, trastornos del sueño, rendimiento profesional disminuido, depresión e incluso riesgos de padecer cánceres.<sup>62</sup>

Según esto, no sólo hemos de tener cuidado con las alteraciones provocadas por los campos electromagnéticos artificiales (antenas, telefonía, radares, etc.), sino también con las variaciones de los campos magnéticos naturales, como pueden ser las provocadas por fuertes tormentas solares. Así, la glándula pineal sería receptiva no sólo a las ondas emanadas del campo geomagnético, sino a otras tan importantes como la resonancia Schuman, las micro-pulsaciones de origen cósmico y cualquier campo electromagnético o de baja frecuencia en general.

Todas ellas influyen en nuestro estado de ánimo debido a que afectan a nuestros biorritmos y neurotransmisores, rompiendo la sincronización de los ritmos circadianos y la producción de melatonina. Así mismo impactan los procesos en que nos relacionamos con el entorno, es decir los aprendizajes.

## **5.1. Electromagnetismo y aprendizaje**

Como ya hemos comentado anteriormente, existen campos electromagnéticos neuronales cuya importancia es fundamental en los procesos mentales y vitales para el ser humano.

En el medio en el que vivimos, hay campos electromagnéticos por todas partes, aunque son invisibles al ojo humano. Se producen campos eléctricos por acumulación de cargas en determinadas zonas de la atmosfera por efecto de las

---

<sup>62</sup> Ibid. pp. 23-24

tormentas. El campo magnético de la tierra provoca la orientación de las agujas en dirección Norte y Sur.

Desde siempre los seres vivos hemos estado expuestos a influencias electromagnéticas: la luz del sol y sus rayos infrarrojos, los rayos cósmicos, y otras radiaciones naturales.

La radiación electromagnética es la combinación de campos eléctricos y magnéticos que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro.

Los seres humanos tenemos una naturaleza bioeléctrica natural, nuestras células funcionan a base de impulsos eléctricos que generan campos electromagnéticos gracias a la presencia en nuestro organismo de agua, sal, metales y minerales. Los procesos celulares, metabólicos e incluso nuestros pensamientos son generados por procesos electromagnéticos.<sup>63</sup>

Actualmente se conoce que el desplazamiento de corriente eléctrica a lo largo de las vías nerviosas significa que las neuronas cuentan con un campo electromagnético. Este campo electromagnético, como no podía ser de otra forma, existe y se denomina campo electromagnético neuronal.

Una de las hipótesis lanzadas sobre la existencia de estos pequeños campos electromagnéticos neuronales es que afectan a las propias neuronas que están produciéndolos, sirviendo como una especie de retroalimentación de su actividad que ayuda a mejorarla.

Uno de los estudios llevados a cabo para probar esta hipótesis tomó como circuito de prueba una porción del córtex visual que se mantuvo en laboratorio en un líquido similar al líquido extracelular en el que se bañan nuestras neuronas dentro de nuestro cuerpo. Aplicaron a esta porción cortical en condiciones similares a las del cerebro vivo campos eléctricos en amplitudes similares a las que emiten las neuronas vivas y encontraron que las neuronas expuestas a este campo similar a un campo electromagnético neuronal eran capaces de disparar potenciales de

---

<sup>63</sup> Sadava, David E. et. al. *How Do Neurons Communicate with Other Cells? (¿Cómo se comunican las neuronas con otras células?)*. 9a ed. En *Life: The Science of Biology*. 2010. pp. 650-652.



acción más rápidamente debido a que la presencia de este campo despolarizaba ligeramente la neurona. Es decir, si una neurona en reposo presenta un voltaje de unos -70mV y precisa alcanzar un voltaje de unos -50mV para que se dispare, en este estudio encontraron que la presencia de un campo eléctrico similar al que forman la actividad de las neuronas “ayudaba” a las neuronas al presentar un voltaje de base mayor, por lo que precisaban menor presencia de iones positivos para alcanzar ese voltaje de -50 mV y dispararse.<sup>64</sup>

También se halló que el campo electromagnético neuronal “artificial” aplicado servía como una especie de “director de orquesta” al tener un efecto coordinador entre lo que el campo marcaba y la actividad de las neuronas afectadas por el campo. Al aplicarse este campo electromagnético neuronal “artificial”, los disparos de las neuronas tendían a producirse en los momentos de mayor potencia del campo eléctrico, de modo que se coordinaba su actuación: las neuronas afectadas por el campo empezaban a disparar al mismo tiempo y así generar conexiones para potencializar procesos como el aprendizaje.

Así mismo existen campos electromagnéticos naturales en la tierra que influyen positivamente en los seres vivos. Los campos eléctricos naturales son considerados como de una influencia superficial y los campos magnéticos influyen de manera más integral, dado que entran a los cuerpos de los seres vivos.

Se ha encontrado en pequeñas cantidades magnetita en los cuerpos de los seres vivos, y esto hace que los cuerpos sean sensibles a los campos magnéticos. En el cuerpo humano se encuentra magnetita en las pestañas, la hipófisis, los tendones del cuello, en el talón de Aquiles y también en el cerebro.

Los campos electromagnéticos de baja frecuencia influyen en los iones dentro de las células. Se piensa que con el magnetismo se puede aumentar la fluidez de palabra, facilitar el pensamiento y hasta convertir a un individuo cualquiera en un ser virtuoso.

---

<sup>64</sup> Sadaba, David. E. *op. cit.* pág. 651

Existe una técnica conocida como estimulación magnética transcraneal (EMT), que pone en práctica la inducción electromagnética descubierta por Faraday en 1831. Dicha técnica consiste en colocar sobre el cráneo un dispositivo formado por una bobina por la que se hace pasar corriente eléctrica; así se genera un campo magnético que penetra en el cerebro e induce una corriente secundaria en el circuito neuronal, que es la que se encarga de producir los efectos. Un ejemplo muy sencillo: si el estimulador se aplica en el área motora, el individuo moverá la mano.<sup>65</sup>

Las frecuencias bajas, entre 1 y 5 hercios, tienden a deprimir la actividad cerebral, mientras que las más altas, 25 hercios, la incrementan. Existe una correspondencia entre el efecto de las distintas frecuencias de la EMT y las ondas que emite el propio cerebro. Las ondas alfa se detectan durante los estados de relajación y tienen frecuencias entre 7,5 y 13 hercios. En los estados de alerta aparecen las ondas beta, entre 13 y 28 hercios, y en situaciones de estrés y confusión, la frecuencia cerebral supera los 28 hercios.

El campo magnético terrestre se ubica alrededor de los 7,8 hercios. Una posible explicación del efecto calmante de la naturaleza es que el cerebro entra en resonancia con la vibración terrestre y, por tanto, emite en ondas alfa, las de la relajación.

Existen experimentos como el conocido caso del llamado HAARP: "Proyecto de la Fuerza Aérea norteamericana (HAARP, High Frequency Advanced Auroral Research Project). Mismo que traducido al español sería, Programa de Investigación de Aurora Activa de Alta Frecuencia. En unas instalaciones militares situadas en Gakona, Alaska, se está desarrollando un misterioso proyecto el cual consiste en 180 antenas que funcionando en conjunto será como una sola antena que emitirá 1 GW =1.000.000.000 W, es decir un billón de ondas de radio de alta frecuencia las cuales penetran en la atmósfera inferior.<sup>66</sup>

---

<sup>65</sup> Álvaro Pascual, Leone. *Mente, Cerebro y Conducta*. Boston Harvard Medical School 2015. Pp.187-194.

<sup>66</sup><http://www.meteored.com/ram/913/el-proyecto-haarp-mquinas-para-modificar-y-controlar-el-tiempo-el-proyecto-haarp-mquinas-para-modificar-y-controlar-el-tiempo-atmosfrico/> consultado: 25-marzo-2018.

Si la naturaleza vibra en consonancia con nuestro organismo, es de suponer que la alteración o intervención en ella producirá algún tipo de efecto en nuestra salud y conductas. Y aplicada de forma más o menos específica y controlada podría ofrecer una fuente de conexiones sinápticas que potencialicen la capacidad de aprender.

No se nos ha informado suficientemente sobre las repercusiones que experimentos de este calibre pueden tener en nuestras ondas cerebrales, aunque es evidente que deben tenerlas. Si está reconocido que el verano, el sol y la luz natural son buenos antidepresivos, o que el otoño y los días nublados hacen que nos sintamos decaídos con mayor frecuencia, es indiscutible que la modificación de la ionosfera y su repercusión en la atmósfera y el clima influirán en nosotros en mayor medida.

La radiación electromagnética es la consecuencia de la existencia de campos electromagnéticos que alcanzan nuestros receptores, la experiencia sensorial se guarda en el mismo cerebro a través de un código grabado mediante impulsos eléctricos, el cual permanece en la medida que el cerebro se mantiene activo, así lo afirma el investigador Ranulfo Romo Trujillo, conferencista magistral e integrante de El Colegio Nacional en el Centenario de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Reconocido internacionalmente por su descubrimiento de cómo los circuitos cerebrales que construyen la percepción se enlazan con la memoria para tomar una decisión, Ranulfo Romo mencionó que el cerebro es el órgano del cuerpo que más energía requiere (glucosa y oxígeno).

A través de varias gráficas de impulsos eléctricos entre los sensores de la piel y áreas específicas del cerebro, Romo explicó que el mecanismo para percibir la realidad a través de los sentidos de la vista, olfato, oído, gusto y tacto se basa en su expresión más simple, en impulsos que se transmiten al cerebro, éste los guarda y compara con un segundo impulso, lo cual le permite decidir al individuo ante un nuevo suceso. Estos circuitos cerebrales producen la percepción de la realidad en

el ser humano y las especies animales, además de la residencia de la mente a través de la memoria de trabajo y la memoria a largo plazo; determina la dirección motriz y la forma en que ésta afecta las decisiones que día a día se toman.<sup>67</sup>

Señala que uno de los problemas que tienen los científicos es encontrar tanto unidades de medida como instrumentos que permitan conocer y dar un valor numérico a los procesos cerebrales como son la percepción, memoria, toma de decisiones, los movimientos voluntarios y hasta en los procesos de aprendizaje. Respecto a las fallas en la memoria, el científico ejemplificó que cada una de las neuronas en el cerebro es como una luz, que se apaga lentamente al llegar a determinado uso, por lo que, al ejercitar la mente a través de la lectura, escritura, reflexión, pensamiento crítico y deportes, se aplazan algunas enfermedades mentales.<sup>68</sup>

## **5.2. Radiaciones<sup>69</sup>: Ondas gravitacionales, Ondas electromagnéticas, Ondas sonoras, Radiación cósmica y Radiación solar y aprendizaje**

Aunque el tema de la radiactividad se ha escuchado y leído, sobre la base de algunos acontecimientos ocurridos, desgraciadamente estos son relacionados con accidentes, como el de Chernóbil en 1986 en Pripyat, Ucrania, donde hubo un escape de radiación y como la sobreexposición de pacientes de radioterapia que sufrieron decenas de personas en el año 1996 en San José, Costa Rica, también

---

<sup>67</sup> Romo, Trujillo. *El conocimiento del mundo parte de impulsos eléctricos emitidos por el cerebro: Romo Trujillo*. <https://www.sistemamichoacano.tv/noticias/19-michoacan/20716-el-conocimiento-del-mundo-parte-de-impulsos-electricos-emitidos-por-el-cerebro-romo-trujillo> 14/ 06/18 Del día 10-agosto-2017.

<sup>68</sup> Romo, Trujillo. op. cit. 7:00 pm. Del día 10-agosto-2017.

<sup>69</sup> \* Radiación: Es una forma invisible de energía en la forma de onda transversal. De los muchos tipos de energía que hay en nuestro universo, esta clase de energía es la única que no requiere un medio o materia para viajar o transmitirse en o hacia adentro. Esta forma de energía puede viajar a través del espacio vacío en forma de una onda transversal. Hay muchos tipos de radiación. En la física clásica, el flujo de energía a la velocidad universal de la luz a través del espacio libre cruza a través de un medio material en forma de campos eléctricos y magnéticos que forman ondas electromagnéticas como ondas de radio, luz visible y rayos gamma. Cerca del 0.01 por ciento de la masa/energía de todo el universo ocurre en forma de radiación. Toda la vida humana está inmersa en ella, y la tecnología moderna de las comunicaciones y los servicios médicos son particularmente dependientes de una u otra de sus formas. De hecho, todos los seres vivos en la Tierra dependen de la radiación recibida del Sol y de la transformación de la energía solar por fotosíntesis en plantas o por biosíntesis en zooplancton, el paso básico en la cadena alimenticia de los océanos. La vida cotidiana está impregnada de radiación artificial. Tomado de: 8. Brandan, María Esther, et. al. *La radiación al servicio de la vida*. FCE. N°99 Ciencia para Todos. 2003. Pág. 23.

se habla mucho de la problemática de los desechos radiactivos y desde luego la historia resalta sobre las bombas atómicas utilizadas en la segunda guerra mundial. Pero realmente es poco lo que se conoce del tema. Hace falta conocer los beneficios que causa, los alcances científicos y las precauciones que se debe tener con el manejo de la radiactividad.

Son muchas las radiaciones que existen, por lo que se han clasificado en ionizantes y no ionizantes. Entre las primeras están los rayos X, rayos alfa, beta y gama, estas radiaciones son capaces de ionizar la materia por donde pasan, esto significa que provocan desprendimiento de electrones de los átomos, y si éstos están formando moléculas en células, afectará el comportamiento del organismo. Esto se debe a la gran cantidad de energía que poseen.

La radioactividad o radiactividad es un fenómeno natural o artificial, por el cual algunas sustancias o elementos químicos llamadas radiactivos, son capaces de emitir radiaciones, las cuales tienen la propiedad de impresionar placas fotográficas, ionizar gases, producir fluorescencia, atravesar cuerpos opacos a la luz ordinaria, etc. Las radiaciones emitidas por las sustancias radiactivas son principalmente partículas alfa, partículas beta y rayos gamma.<sup>70</sup>

Descubrir cómo pedalear en bicicleta y memorizar las reglas del ajedrez requieren dos tipos diferentes de aprendizaje, y ahora, por primera vez, los investigadores han podido distinguir cada tipo de aprendizaje por los patrones de ondas cerebrales que produce.

Estas distintivas firmas neuronales podrían guiar a los científicos mientras estudian la neurobiología subyacente de cómo ambos aprendemos habilidades motoras y trabajamos a través de tareas cognitivas complejas, dice Earl K. Miller, profesor de neurociencias de Picower en el Instituto Picower para el Aprendizaje y la Memoria y el Departamento de Brain and Cognitive Sciences,<sup>71</sup> que cuando las neuronas

---

<sup>70</sup> Brandan, María Esther, et. al. *La radiación al servicio de la vida*. FCE. N°99 Ciencia para Todos. Pág. 29.

<sup>71</sup> Schinder, A.2002 *Develan una de las incógnitas del cerebro*. Artículo periodístico de La Nación. URL: [http://lanacion.com.ar/02/03/07/sl\\_378923.asp?...](http://lanacion.com.ar/02/03/07/sl_378923.asp?...) 2002. consultado: 27-marzo-2018.

disparan, producen señales eléctricas que se combinan para formar ondas cerebrales que oscilan a diferentes frecuencias. La intención de tales estudios es ayudar a las personas con déficits de aprendizaje y memoria, Miller señala que podrían encontrar una forma de estimular el cerebro humano es optimizar las técnicas de entrenamiento para mitigar esos déficits.

Los científicos solían pensar que todo el aprendizaje era el mismo, explica Miller, hasta que se enteraron de pacientes como el famoso Henry Molaison o "HM", quien desarrolló severa amnesia en 1953 después de haber eliminado parte de su cerebro en una operación para controlar sus convulsiones epilépticas. Molaison no pudo recordar desayunar unos minutos después de la comida, pero pudo aprender y retener las habilidades motoras que aprendió, como rastrear objetos como una estrella de cinco puntas en un espejo. La brecha reveló que el cerebro se involucra en dos tipos de aprendizaje explícito e implícito.

Aprendizaje explícito es aprender de lo que tienes conciencia, cuando piensas en lo que estás aprendiendo y puedes articular lo que has aprendido, como memorizar un largo pasaje en un libro o aprender los pasos de un juego complejo como el ajedrez<sup>72</sup>. El aprendizaje implícito es lo opuesto. Podría llamarse aprendizaje de habilidades motoras o memoria muscular, es el tipo de aprendizaje al que no tenemos acceso consciente, como aprender a andar en bicicleta o hacer malabares. Al hacerlo, se sienten mejor y mejor, pero no pueden articular realmente lo que se está aprendiendo.

Muchas tareas, como aprender a tocar una nueva pieza de música, requieren ambos tipos de aprendizaje.

Cuando los investigadores estudiaron el comportamiento de los animales que aprenden diferentes tareas, encontraron signos de que diferentes tareas pueden requerir aprendizaje explícito o implícito. En las tareas que requerían comparar y combinar dos cosas, por ejemplo, los animales parecían usar respuestas correctas e incorrectas para mejorar sus próximos partidos, lo que indica una forma explícita

---

<sup>72</sup> Ibid. Consultado: 27-marzo-2018.

de aprendizaje. Pero en una tarea en la que los animales aprendieron a mover su mirada en una dirección u otra en respuesta a diferentes patrones visuales, solo mejoraron su desempeño en respuesta a las respuestas correctas, lo que sugiere un aprendizaje implícito.

En el año 1896 Henry Becquerel (físico francés), descubrió accidentalmente el proceso de radioactividad, el cual puede ser natural (en los núcleos de los átomos de los elementos inestables) y artificial (en los núcleos de los átomos de los elementos estables que necesitan ser bombardeados con partículas).<sup>73</sup> Asimismo se tipificaron entonces los diversos tipos de ondas radiactivas:

- a) Rayos Alfa (a): Estos rayos están formados por partículas materiales que presentan dos unidades de carga eléctrica positiva y cuatro unidades de masa. Son ligeramente desviados por la acción de fuerzas magnéticas intensas. Pueden ionizar los gases y penetrar en la materia. Son detenidos o absorbidos cuando se pone ante ellos una lámina metálica. Su velocidad inicial varía desde  $10^9$  cm. /s hasta  $2 \times 10^9$  cm. /s.
- b) Rayos Beta (b): Las partículas que conforman a los Rayos Beta son de una masa menor a la de los rayos alfa y son de unidad de carga negativa. Se proyectan a grandes velocidades, aunque ésta depende de la fuente de procedencia y en ocasiones son emitidos a una velocidad próxima a la de la luz ( $3 \times 10^{10}$  cm. /s).
- c) Rayos Gamma (g): Su naturaleza es diferente a los rayos alfa y beta, puesto que no experimentan desviación ante los campos eléctricos y/o magnéticos. A pesar de que tienen una menor longitud de onda que los rayos X, actúan como una radiación electromagnética de igual naturaleza. Pueden atravesar láminas de plomo y recorre grandes distancias en el aire. Su naturaleza es ondulatoria y no tiene carga eléctrica, ni masa. Su capacidad de ionización es más débil en comparación con los rayos alfa y beta.

---

<sup>73</sup> Brandan, María Esther. *op. cit.* Pág. 35-39.

Hacia el año de 1898, los esposos Curie dedicados al estudio de la radiación observada por Becquerel (físico) descubrieron dos nuevos elementos radiactivos: el Polonio y el Radio, caracterizados por: Ionizar gases, impresionar placas fotográficas y originar destellos de luz en algunas sustancias.<sup>74</sup>

Según los investigadores, los diferentes tipos de comportamiento en la radiación van acompañados de diferentes patrones de ondas cerebrales.

Durante las tareas de aprendizaje explícito, hubo un aumento en las ondas cerebrales alfa2-beta (oscilando a 10-30 hercios) después de una elección correcta, y un aumento de las ondas delta-theta (3-7 hercios) después de una elección incorrecta. Las ondas alfa2-beta aumentaron con el aprendizaje durante tareas explícitas, luego disminuyeron a medida que progresaba el aprendizaje. Los investigadores también vieron signos de un aumento neural en la actividad que ocurre en respuesta a errores de comportamiento, denominados negatividad relacionada con eventos, solo en las tareas que se pensaba requerían un aprendizaje explícito.

El aumento de ondas cerebrales alfa-2-beta durante el aprendizaje explícito podría reflejar la construcción de un modelo de la tarea, explica Miller. Y luego, una vez que el animal aprende la tarea, los ritmos alfa-beta caen, porque el modelo ya está construido.<sup>75</sup>

Por el contrario, los ritmos delta-theta solo aumentaron con las respuestas correctas durante una tarea de aprendizaje implícita, y disminuyeron durante el aprendizaje. Miller dice que este patrón podría reflejar el "recableado" neural que codifica la habilidad motriz durante el aprendizaje.

Esto mostró que hay diferentes mecanismos en juego durante el aprendizaje explícito versus implícito. Loonis dice que las firmas de ondas cerebrales pueden ser especialmente útiles para dar forma a cómo enseñamos o entrenamos a una persona a medida que aprenden una tarea específica.

---

<sup>74</sup> Brandan, María Esther. *op. cit.* pp. 16-20

<sup>75</sup> Tomado de: <https://www.sciencedaily.com/releases/2017/10/171012122820.htm> consultado: 26-marzo-2018.



Ciertas partes del cerebro como el hipocampo son más estrechamente relacionados con el aprendizaje explícito, mientras que áreas como los ganglios basales están más involucradas en el aprendizaje implícito. Pero Miller dice que el estudio de ondas cerebrales indica mucha superposición en estos dos sistemas, ya que comparten muchas de las mismas redes neuronales.<sup>76</sup>

En la industria, las radiaciones ionizantes pueden ser útiles para la producción de energía, para la esterilización de alimentos, para conocer la composición interna de diversos materiales y para detectar errores de fabricación y ensamblaje. En el campo de la medicina, las radiaciones ionizantes también cuentan con numerosas aplicaciones beneficiosas para el ser humano. Con ellas se pueden realizar una gran variedad de estudios diagnósticos (Medicina Nuclear y Radiología) y tratamientos (Medicina Nuclear y Radioterapia). Las exposiciones médicas en radiología se miden en miliroentgens (mR = 0.001 roentgen). Para fines médicos se debe proporcionar una referencia temporal, por lo que las unidades utilizadas son mR/unidad de tiempo (que puede ser minuto, segundo, hora, etc.).

La radiactividad potencialmente es una propiedad que resulta muy importante y muy útil para la humanidad debido a sus propiedades químicas, ya que, resulta muy benéfico para la salud y para los procesos cotidianos tales como estudios médicos buscar huellas indelebles a la vista común, aunque pueden causar problemas devastadores.

Lo importante de esto es tratar de controlar al máximo esa energía tomando todas las medidas necesarias de prevención y control porque esa energía bien controlada puede ser de muchísima utilidad y puede ayudar a mejorar la vida del hombre aplicando toda esa energía en fines pacíficos que lo ayudan no solo a vivir mejor, sino que también a curar y a prevenir enfermedades.

Debido a la línea tan extremista de este tema que nos lleva desde beneficios increíbles para la humanidad hasta efectos devastadores quizá más atroces que la

---

<sup>76</sup> Tomado de: <https://www.sciencedaily.com/releases/2017/10/171012122820.htm> consultado: 27-marzo-2018.

misma muerte, debemos poner manos a la obra y así mismo informarnos cuidar y continuar estudiando minuciosamente este tipo de energía ya que tal vez algún día podamos erradicar todos los males que este conlleva y poder explotar al máximo todos los beneficios que nos ofrece este tan inestable elemento.

### **5.3. Geomagnetismo y aprendizaje**

En 1952, tras la II Guerra Mundial, el físico alemán Winfried Otto Schumann de la Universidad Técnica de Múnich realizó varios trabajos de investigación relacionados con las frecuencias electromagnéticas que se encontraban en la atmósfera terrestre.

Schumann predijo que existen ondas electromagnéticas en la atmósfera de carácter estacionario que se encuentran dentro de la cavidad o el espacio formado entre la superficie de la tierra y la ionosfera.

Uno de los experimentos para demostrar dicha predicción fue la determinación de la frecuencia de resonancia de una botella vacía cuyo valor era de aproximadamente 196 Hz. Dicha frecuencia se debe al rebote de las ondas sonoras que chocan con los extremos de la botella a la velocidad del sonido. Tal propagación tiene lugar gracias a las moléculas de aire que actúan como medio.

En el caso de la radiación electromagnética, la propagación no requiere de moléculas de aire, sino que las ondas viajan a la velocidad de la luz, y, por lo tanto, éstas viajan mucho más rápido que la velocidad del sonido.

En el momento en que el físico W.O. Schumann publicó los resultados de su investigación sobre las resonancias en el diario *Technische Physik*, un Dr. Ankermüller, físico, inmediatamente estableció una conexión entre la resonancia Schumann y el ritmo de ondas cerebrales alfa.<sup>77</sup> Pensar que la tierra tiene las mismas resonancias naturales que el cerebro le pareció muy emocionante, y contactó al Profesor Schumann, quien a su vez pidió a un candidato a doctorado para investigar este fenómeno. Este candidato doctoral era Herbert König, quien se

---

<sup>77</sup> Schinder, A. *op. cit.* Consultado: 29-marzo-2018.

convirtió en sucesor de Schumann en la Universidad de Munich. König demostró la correlación entre las resonancias Schumann y los ritmos cerebrales. Comparó grabaciones de electroencefalogramas (EEG) humanos con los campos electromagnéticos naturales del ambiente y encontró que las primeras cinco resonancias Schumann, 0-35 Hz, son del mismo rango de frecuencia que las ondas del cerebro en un EEG humano, y que la señal de 7.8 Hz está muy cercana a la frecuencia de ritmos cerebrales alfa.<sup>78</sup>

Las primeras cinco resonancias se superponen con las bandas de frecuencia cerebrales. Las ondas del cerebro están agrupadas según sus frecuencias y se etiquetan con letras griegas. Sus frecuencias más comunes son alpha, beta, delta, theta.

Desde aquel primer descubrimiento, más investigaciones científicas han planteado que las resonancias Schumann son ondas electromagnéticas muy importantes que tener en cuenta, actuando como frecuencias de fondo e influenciando los osciladores biológicos dentro del cerebro de los mamíferos.

Mientras que las propiedades de la cavidad electromagnética de la Tierra sean más o menos igual, estas frecuencias no varían. Algunos de los cambios que ocurren en las resonancias Schumann son causados por el ciclo de manchas solares, donde la ionósfera de la Tierra cambia en respuesta al viento solar cambiante asociado con el ciclo de actividad solar de 11 años. Mientras que la intensidad de las resonancias Schumann se incrementa o decrezca debido a las diferencias del día y la noche, cambios en la actividad solar, el clima global, etc., nuestros cerebros y sistemas nerviosos responden a esos cambios.

Resonancia se puede definir como la frecuencia en que un objeto quiere vibrar más naturalmente.

Y existe una clasificación del Estado Rango de Frecuencias State of Mind:

---

<sup>78</sup>Deyhle, Annette. *Influencia del Geomagnetismo y las Resonancias Schumann en la Salud y Comportamiento Humano*. 15/07/2011. En: <https://ecoturismoesoterico.wordpress.com/2011/04/20/influencia-del-geomagnetismo-y-las-resonancias-schumann-en-la-salud-y-comportamiento-humano/> Consultado: 20-marzo-2018.

- ✓ Delta 0.5Hz – 4Hz. Esto ocurre en un sueño profundo donde no soñamos, o en un estado inconsciente.
- ✓ Theta 4Hz – 7Hz. Este se asocia con somnolencia. También se produce en la primera fase del sueño y durante la meditación profunda, cuando estamos despiertos pero abiertos a un imaginario mental. Se ha asociado con la creatividad, intuición, soñar despierto y fantasear. Se cree que refleja la actividad del sistema límbico, y una actividad creciente se observa en la ansiedad, en la activación e inhibición de la conducta.
- ✓ Alpha 8Hz – 12Hz. Este es el ritmo más observado en un adulto normal, relajado. Está presente casi toda la vida. Se considera un estado común durante el estado de alerta, pero no procesa información activamente. Alfa se ha relacionado con la creatividad (personas creativas muestran alfa cuando escuchan y llegan a una solución) y con los trabajos mentales. Actividad Alfa también se asocia a casi toda la coordinación de cuerpo mente, a la quietud, estado de alerta y al aprendizaje.
- ✓ Beta 12Hz – 30Hz. Beta refleja procesamientos altamente activos. Ocurre durante un estado de vigilia normal y de atención hacia el exterior.  
Beta lento: 12-17. Es un procesamiento de información y actividad mental normal.  
Beta rápido: 17-30. Es una alerta intensa, pelea, huida o ansiedad.
- ✓ Gamma 30Hz – 100Hz. Esta se asocia con estados de vigilia y puede ocurrir cuando estamos procesando simultáneamente información en ambos hemisferios cerebrales. Las ballenas y delfines también operan en estas frecuencias.<sup>79</sup>

Desde aquel primer descubrimiento, las resonancias Schumann tuvieron relevancia, ya que han actuado como frecuencias de fondo e influyen los osciladores biológicos dentro del cerebro de los mamíferos.

---

<sup>79</sup> On the Possible Effects of Changes in Schumann's Resonances on Human Psychobiology En: <http://www.nwbotanicals.org>. vol. 6, no. 5 December 1983. Consultado: 23-marzo-2018.

Similar al ejemplo del tenedor de sintonía, hay evidencia que muestra que es posible para el cerebro detectar, sintonizar y responder a una señal de resonancia Schumann. La respuesta es que nuestro cerebro posee Zeitgeber, una palabra alemana que se traduce literalmente en donadores de tiempo y se refiere a agentes o eventos externos que proporcionan señales, o resonancias Schumann. Estas señales externas ayudan al sistema biológico humano a sincronizarse con los ciclos rítmicos diarios de la tierra.

Una alteración significativa en la actividad solar y geomagnética causada por eventos tales como tormentas geomagnéticas, puede precipitar grandes cambios en la intensidad y estabilidad de una señal de resonancia Schumann. Esto podría sacar una señal de resonancia Schumann de su rango normal y provocar alteraciones en la sincronización del cerebro y corazón, y cambios en el nivel de melatonina del cerebro.

En 1974, por ejemplo, König demostró que los tiempos de las reacciones humanas se correlacionaron significativamente con la intensidad de una señal Schumann de 8-10 Hz. Se ha demostrado que 10 Hz aceleran los tiempos de reacción, mientras que señales de 3-Hz de tormentas locales han demostrado que hacen lento el tiempo de reacción. Este fenómeno se puede demostrar por cambios en los patrones de EEG y la absorción de iones de calcio en el cerebro.<sup>80</sup>

Los campos electromagnéticos generados por los sistemas de suministro de energía, telecomunicaciones, electrodomésticos, computadoras y otras tecnologías producidas por los humanos son extremadamente poderosas y en algunos casos se han asociado con la mayor incidencia de cáncer, problemas del corazón, depresión y otros males.<sup>81</sup> La exposición a campos electromagnéticos fuertes en áreas residenciales y ciertas profesiones se ha documentado como de un incremento significativo en la incidencia o riesgo de las enfermedades antes mencionadas. Ciertos grupos de personas, como ancianos, niños, mujeres

---

<sup>80</sup> Cherry, N.J. *Schumann Resonances, a plausible biophysical mechanism for the human health effects of Solar.* pp 279-331.

<sup>81</sup> Tomado de: <https://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/es/index1.html> consultado: 08-02-19

embarazadas y los débiles, se ha encontrado que son más sensibles o susceptibles a los efectos adversos de estos campos que el resto de la población.

Así vemos que las resonancias Schumann, la actividad solar y geomagnética influyen en la salud y comportamiento humanos. Es emocionante ver que el estudio de las resonancias Schumann apuntan hacia la interconexión de todo (nosotros, nuestro planeta tierra, el sol, y probablemente muchos otros factores planetarios que no conocemos todavía).

Algunas posibles consideraciones futuras para los científicos con respecto a las resonancias Schumann incluyen aprender porqué algunas personas son adversamente afectadas por los cambios en ellas, mientras que mucha gente no lo es.

Debido a que una incrementada actividad geomagnética puede causar desbalance en la sincronización corazón-cerebro. La ciencia empezó a tomarse en serio este asunto a partir de los años noventa.

## Capítulo VI. Disminuyendo la brecha entre la neurociencia, la biofísica y la educación: Alternativas de Aprendizaje a partir de fenómenos físicos

“el cosmos olmeca surgió de las aguas primordiales,  
Donde flotaba una suerte de cocodrilo, el llamado  
“Dragon Olmeca” ...compuesto por partes de seres  
humanos y de diversos animales; sus manos se hibridan  
con la garra del felino y el ala del pájaro. La gran boca  
de esta criatura es un portal entre la parte natural  
y la sobrenatural del cosmos...”  
*¿Cómo se hace un Dios?, Enrique Florescano.*

A las puertas de siglo XXI, se abre un panorama de computadoras inteligentes y máquinas de todo tipo grandes y miniaturizadas. Ser humano y tecnología parecen estar cooperativamente unidos. Si la tecnología permitió a la humanidad explorar el mundo, ahora se adentra en nuevos territorios, permitiendo la intervención en la biología del ser humano. La conquista del cerebro seguramente revelará cuáles son los engranajes de nuestra mente, sus condiciones y potencialidades, arrojando las claves para descifrar su lenguaje y poder manejarlo, repararlo e incluso rediseñarlo. Nuevas formas de aprender y de pensar.

Desvelar los secretos más íntimos de nuestra naturaleza, o lo que serían los aspectos más extraordinarios de la materia: la capacidad de viajar mentalmente, desarrollando las capacidades cognitivas a niveles superiores pudiendo así traspasar los límites del tiempo y del universo. La mente humana antes acotada por un conjunto de conexiones neuronales, ahora con ayuda de las nuevas tecnologías los límites de nuestra mente pueden ser ampliados.

Surgen conceptos nuevos los cuales abren posibilidades infinitas para entender mejor los procesos educativos desde la parte biológica hasta la filosófica, ya que tendríamos que redefinir también el concepto de hombre, humanidad y universo. En este Capítulo integraremos ideas desde la neurociencia, la física, la biología y

la educación, a fin de acercarnos a una idea multidisciplinaria sobre el aprendizaje humano y la posibilidad de potencializar dicho proceso.

Trataremos el concepto de superconductividad neuronal, la cual no es otra cosa que una “sinapsis artificial” capaz de transmitir electricidad sin resistencia, logrando una aceleración del proceso a través de unidades de flujo magnético y con un uso menor de energía a la que se utiliza en una sinapsis común, la cual representa una alternativa de potencialización sináptica, que aplicándose de forma específica podría representar una oportunidad para incrementar la inteligencia de los seres humanos.

También presentamos la posible aceleración de los impulsos electromagnéticos neuronales, lo cual posibilitaría hacer nuevas conexiones específicas en regiones cerebrales que le permitirían conectar con mayor eficiencia.

Y por último las alternativas de superinteligencia y transhumanismo, dos aspectos ligados hacia el mejoramiento de las capacidades físicas y cognitivas de la especie a partir del uso de tecnología, superando aspectos de nuestra biología que nos hacen vulnerables frente a otras especies.

## **6.1. Superconductividad Neuronal**

La superconductividad es una tecnología en constante desarrollo que está destinada a jugar un importante papel en nuestras vidas. Por ello, los gobiernos de los países industrializados tienen plena conciencia de la relevancia de invertir importantes sumas de dinero en investigación en esta área, dada la ventaja competitiva que puede llegar a brindar el hecho de estar a la vanguardia en la fabricación y utilización de la superconductividad en las diferentes áreas en las que es factible su aplicación.

Imaginemos la posibilidad de acelerar de una forma significativa las conexiones eléctricas en el cerebro que nos permitan hacer sinapsis a mayor velocidad y con mayor capacidad de respuesta. Representaría un importante logro para los procesos de enseñanza y aprendizaje.



¿Pero que es la superconductividad? y ¿porque podría ser una opción para acelerar los procesos de aprendizaje?, la superconductividad es una propiedad de algunos compuestos que no oponen resistencia alguna al paso de corriente ya que los electrones se desplazan sin colisiones y en zigzag a través de los cristales de los átomos, es decir son materiales con resistencia nula con los cuales se puede ahorrar la energía que se disipa en forma de calor en los otros conductores, debido a la colisión de los electrones entre sí y con los átomos del material. Además de lo anterior tienen otra característica muy importante que consiste en que expulsan de su interior los campos magnéticos mientras estos no sobrepasen un valor límite.<sup>82</sup>

El descubrimiento de la superconductividad se remonta a 1908, año en el que el físico holandés Heike Kamerlingh Onnes llegó a enfriar el helio hasta el punto de su licuefacción, a una temperatura próxima al cero absoluto. Esta experiencia le permitió observar fenómenos desconocidos hasta entonces y casi inconcebibles para los científicos de la época: por un lado, la superfluidez y por el otro lado la superconductividad, que Onnes demostró por primera vez en 1911.<sup>83</sup>

La curiosidad que Onnes sentía hacia el comportamiento de la materia a bajas temperaturas lo condujo al descubrimiento de la superconductividad experimentando con el mercurio, siendo posible porque había conseguido la licuación del helio que permitió enfriar los materiales a temperaturas próximas al cero absoluto.

El proceso fue lento y frustrante hasta 1941 cuando se encontraron aleaciones de niobio que se volvían superconductoras a 15°K. No fue hasta 1969 cuando la temperatura crítica volvió a duplicarse nuevamente, alcanzando los 20°K. Este avance fue muy importante, puesto que el hidrógeno se licúa a 20°K. Por primera vez podía utilizarse otro agente refrigerador.<sup>84</sup>

Finalmente, en 1986 dos investigadores de IBM en Zurich anunciaron haber conseguido subir la temperatura crítica a 30°K en un material completamente

---

<sup>82</sup> Magaña Solís, Luis Fernando. *Los superconductores*. FCE. México 2012. pág. 32.

<sup>83</sup> *Ibid.* pág. 34.

<sup>84</sup> *ibid.* pág. 37.

nuevo. Los nuevos materiales superconductores que no son aleaciones metálicas sino cerámicas hechas a base de óxido de cobre mezclados con bario o estroncio y alguno de los elementos conocidos como tierras raras (lantano, itrio y neodimio). Alex Müller y Georg Bednorz habían sintetizado un complejo material cerámico (BaLaCuO) que presentaba superconductividad a 30°K. Este extraordinario descubrimiento impulsó a muchos investigadores a trabajar en otras áreas tales como la neurociencia.

Existe una alternativa de potencialización de procesos cognitivos, principalmente del aprendizaje, ya que, desde la neurociencia, Investigadores del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) de Norteamérica, han construido un interruptor superconductor (sinapsis artificial) que "aprende" igual que un sistema biológico y que podría conectarse a procesadores, lo cual le posibilitaría almacenar recuerdos en computadoras futuras que imiten al cerebro humano.<sup>85</sup>

El interruptor NIST, descrito en *Science Advances*, se llama Sinapsis, como su contraparte biológica. Una sinapsis es una conexión o intercambio entre dos células cerebrales y por imitar esta función el interruptor desarrollado en NIST también se llama Sinapsis.

Para construir computadoras que imitan el cerebro, los investigadores necesitan sinapsis artificiales, por lo que en los últimos años se han acelerado las investigaciones para conseguir prototipos cada vez más sofisticados.

En años anteriores, otros investigadores norteamericanos crearon una sinapsis artificial que imita la forma en que las sinapsis naturales aprenden a través de las señales que las atraviesan. La sinapsis artificial desarrollada en NIST es diferente. Se basa en el conocido Efecto Josephson, un efecto físico que se manifiesta por la aparición de una corriente eléctrica por efecto túnel entre dos superconductores separados.<sup>86</sup>

---

<sup>85</sup> T. Onomi, T. Kondo, K. Nakajima. *8ª Conferencia Europea sobre superconductividad aplicada*. Hoste S., M. Ausloos, EDS. 2008. Pp. 118

<sup>86</sup> *Ibid.* pp. 121

La sinapsis artificial del NIST es un cilindro metálico de 10 micrómetros de diámetro similar a una sinapsis neuronal y puede procesar los pulsos eléctricos entrantes y modular las señales de salida. Este procesamiento se basa en un diseño interno flexible que puede ser ajustado por la experiencia o el entorno. Mientras más impulsos eléctricos circulan entre celdas o procesadores, más fuerte es la conexión. Tanto la sinapsis real como la artificial pueden mantener circuitos viejos y crear otros nuevos.

La sinapsis de NIST mejora incluso la realidad, ya que procesa mucho más rápido que el cerebro humano: mil millones de veces por segundo, en comparación con una célula cerebral, que se limita a 50 veces por segundo. Además, la sinapsis artificial usa sólo una diezmilésima parte de la energía que consume una sinapsis humana. Según el físico del NIST, Mike Scheneider: "La sinapsis NIST tiene menores necesidades de energía que la sinapsis humana, y no conocemos ninguna otra sinapsis artificial que consuma menos energía".<sup>87</sup>

La nueva sinapsis podrá transmitir electricidad sin resistencia, porque es más eficiente. Con esta sinapsis, los datos se transmitirían, procesarían y almacenarían a través de unidades de flujo magnético<sup>88</sup>. En este tenor el comportamiento de la sinapsis también se podría ajustar.

Los superconductores ofrecen cuatro grandes ventajas sobre los conductores normales que podrían ser explotadas en muchas aplicaciones, ellas son:

- Conducen la electricidad sin pérdida de energía, y, por tanto, podrían utilizarse en lugar de los conductores para ahorrar energía.
- No tienen resistencia, y por consiguiente no generan calor cuando se hace pasar corriente eléctrica por ellos. Utilizando superconductores se podrían

---

<sup>87</sup> *Ultralow power artificial synapses using nanotextured magnetic Josephson junctions*. Science Advances 26 Jan 2018: Vol. 4, no. 1. Consultado: 28-04-18 20:09 horas.

<sup>88</sup> El **flujo magnético** (representado por la letra griega  $\Phi$ ), es una medida de la cantidad de magnetismo, y se calcula a partir del campo magnético, la superficie sobre la cual actúa y el ángulo de incidencia formado entre las líneas del campo magnético y los diferentes elementos de dicha superficie. La unidad de flujo magnético en el Sistema Internacional de Unidades es el weber y se designa por *Wb* (motivo por el cual se conocen como *weberímetros* los aparatos empleados para medir el flujo magnético). Tomado de: Brandan, María Esther, et. al. *La radiación al servicio de la vida*. FCE. N°99 Ciencia para Todos. 2003. Pág. 32.

empaquetar herméticamente un gran número de componentes electrónicos, sin preocuparse por la disipación de calor.

- Tienen capacidad para crear campos magnéticos intensos. Estos campos pueden ser generados por imanes superconductores relativamente pequeños. Pueden utilizarse para formar uniones Josephson, que son conmutadores superconductores. Su funcionamiento es similar al de un transistor, pero la unión Josephson es capaz de conmutar a una velocidad 100 veces superior. Conectando dos uniones Josephson de una forma especial, pueden detectarse campos magnéticos extremadamente débiles. Estos detectores tan sensibles de campos magnéticos reciben el nombre de SQUID's (Super-conducting Quantum Interference Devices) es decir dispositivos superconductores de interferencia cuántica.<sup>89</sup>

El cerebro es especialmente poderoso para tareas como el reconocimiento del entorno porque procesa datos, tanto en modo secuencial como simultáneamente, y almacena también recuerdos a través de sinapsis en todo el sistema neuronal. Una computadora convencional procesa los datos sólo en secuencia y almacena la memoria en una unidad separada. La nueva sinapsis, sin embargo, descansa en un estado superconductor, excepto cuando se activa por la corriente entrante y comienza a producir picos de voltaje. Su diseño es similar a cómo funciona el cerebro.

## **6.2. Aceleración de Impulsos electromagnéticos del cerebro**

La aceleración de conducción (propagación) de los impulsos electromagnéticos no se relaciona con la intensidad del estímulo que los desencadena. En vez de ello, el diámetro del axón y la presencia o ausencia de la vaina de mielina son los factores primordiales que determinan tal velocidad. Además, los axones transmiten los impulsos a mayor rapidez cuando están calientes y a velocidad más baja si están

---

<sup>89</sup> *Ultralow power artificial synapses using nanotextured magnetic Josephson junctions*. Science Advances 26 Jan 2018: Vol. 4, no. 1. op. cit. consultado: 28-04-18 20:19 horas

fríos, de modo que el enfriamiento localizado de un nervio puede retrasar tal conducción.

Los impulsos “brincan” intervalos largos a medida que la corriente fluye de un nódulo a otro en la conducción saltatoria, por lo que viajan con velocidad mucho mayor que la posible con la conducción continua en axones amielínicos de igual diámetro. La conducción saltatoria también es más eficaz en el uso de energía. Se despolarizan sólo pequeñas regiones de la membrana, de modo que es mínima la entrada de Na<sup>+</sup> cada vez que un impulso pasa por un nódulo. En consecuencia, las bombas de sodio usan menos ATP para mantener la concentración intracelular baja de Na<sup>+</sup>.<sup>90</sup>

Los axones de diámetro grande conducen los impulsos con mayor rapidez que los de diámetro pequeño. Los primeros (con diámetro de 5 a 20  $\mu\text{m}$ ) se llaman fibras A y siempre son mielínicos. Las fibras A tienen período refractario absoluto breve y conducen los impulsos con velocidad de 12 a 130 m/s. Son de este tipo los axones de neuronas sensoriales que conducen impulsos relacionados con tacto, presión, posición de articulaciones y algunas sensaciones térmicas, al igual que los de motoneuronas que transmiten impulsos a los músculos.

Las fibras B poseen axones con diámetro de 2 a 3  $\mu\text{m}$  y período refractario absoluto un poco más prolongado que el de las fibras A. Son mielínicas, con conducción saltatoria a velocidades hasta de 15 m/s. Estas fibras transmiten impulsos sensoriales de las vísceras al encéfalo y a la médula espinal. También están presentes en las motoneuronas autónomas que se extienden desde el encéfalo y a la médula espinal hasta las estaciones de relevo del SNA llamadas ganglios autónomos.

Las fibras C son las de axones con diámetros más pequeño, de 0.5 a 1.5  $\mu\text{m}$ , y período refractario absoluto más prolongado. La conducción de impulsos en estas fibras tiene velocidad de 0.5 a 2 m/s. Se trata de axones amielínicos que transmiten

---

<sup>90</sup> Ohno, T, T. Hasegawa, T. Tsuruoka, K. Eagle, J. K. Gimzewski, M. Aono. *Plasticidad a corto plazo y la potenciación a largo plazo mímico en sinapsis inorgánico sola*. Mater nacional. 2011. pp. 591-593

impulsos sensoriales de dolor, tacto, presión, calor y frío provenientes de la piel, así como impulsos dolorosos de las vísceras. Son de este tipo las fibras motoras autónomas que nacen de los ganglios autónomos y estimulan corazón, músculo liso y glándulas. Entre los ejemplos de las funciones motoras de las fibras B y C, se encuentran la constricción y la dilatación de las pupilas, la aceleración y la desaceleración de la frecuencia cardiaca, así como la contracción y la relajación de la vejiga (todas ellas funciones del sistema nervioso autónomo).<sup>91</sup>

La forma principal en que se comunica la intensidad de los estímulos es la frecuencia de impulsos, o sea la de su generación en el área de activación. Así el tacto ligero genera frecuencia baja de impulsos nerviosos, muy espaciados en el tiempo, mientras que la presión firme hace que los impulsos se transmitan por el axón con frecuencia más alta. Un segundo factor de la codificación de la intensidad de estímulos es el número de neuronas sensoriales que activa el estímulo. La presión firme estimula más neuronas sensibles a la presión que el tacto ligero.

Las ideas más primitivas en relación con el funcionamiento del sistema nervioso suponían que el encéfalo segregaba unos “espíritus” que, a través de los nervios llegaban a los músculos y los movían. Así elucubraba, por ejemplo, René Descartes (1596-1650). No obstante, Luigi Galvani, al finalizar el siglo XVIII, demostró que los músculos de la rana podían responder a los estímulos eléctricos. Ya en el siglo XIX, Carlo Matteucci primero y Herman von Helmholtz mostraron al mundo, por lo menos al científico, la naturaleza eléctrica del impulso nervioso y que los impulsos nerviosos no viajaban a velocidades tan enormes que no se pudieran medir.<sup>92</sup>

Los impulsos nerviosos son mensajes electroquímicos, ondas transitorias de inversión del voltaje que existen a nivel de la membrana celular y se inician en el sitio en que se aplica el estímulo.

Cuando una neurona no funciona, está inactiva, hay en ella una pequeña diferencia de potencial entre el interior y el exterior que es perfectamente medible. Pues bien, cuando en una neurona, en la que no está ocurriendo nada, se coloca un electrodo

---

<sup>91</sup> Ibid. pág. 594

<sup>92</sup> Ohno. T, T. Hasegawa, T. Tsuruoka, K. Eagle, J. K. Gimzewski, M. Aono. op. cit. pp.564-567

en el interior del axón se observa, después de la amplificación de la señal, que hay una diferencia de potencial de  $-70$  mV (milivoltios), que se llama potencial de membrana. Esto no es exclusivo de las neuronas, al contrario, también se manifiesta en las células musculares, en las sanguíneas y en muchas otras.

Se sabe que, de acuerdo con la distancia que deben recorrer en el interior de los axones del cuerpo humano, su velocidad oscila entre menos de 1 metro/segundo en algunas fibras nerviosas hasta más de 100 metros/segundo en otras.

Hay momentos en los que, en un punto del axón, se observa un cambio en esta diferencia de potencial, que sube desde  $-70$  a  $40$  mV, para después descender de nuevo hasta los  $-70$  mV. Este cambio es el llamado potencial de acción o impulso nervioso, y es debido, respectivamente, a la entrada y salida sucesivas de iones cargados positivamente ( $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ ). Este cambio va discurriendo por todos y cada uno de los puntos del axón hasta llegar al final de la neurona.

En el siglo XVIII, Albrecht von Haller consideró que la velocidad del impulso nervioso en las neuronas humanas era de unos  $50$  m/s (metros por segundo); en el siglo XIX, Johannes Müller estimaba que debían ir a gran velocidad porque “el pensamiento es muy rápido”. En el mismo siglo, el ya citado Helmholtz valoró la velocidad del impulso nervioso en  $26$  metros por segundo.

Hoy sabemos que el impulso nervioso se propaga a una velocidad que, dependiendo de las neuronas, oscila entre los  $5$  y los  $120$  m/s, lo que está bastante lejos de la velocidad de la luz que es de  $300000$  km/s. En la especie humana podemos considerar que, por término medio, la velocidad de conducción del impulso nervioso, en las neuronas que contactan con las células musculares, es de unos  $60$  m/s.

La técnica actual que registra la actividad funcional del cerebro es el magnetoencefalograma y lo hace a través de la captación de campos magnéticos, lo cual permite investigar las relaciones entre las estructuras cerebrales y sus funciones.

Dichos registros están determinados por la actividad postsináptica neuronal y por la activación sincrónica de millones de neuronas, lo que genera una actividad

cerebral diferenciada y localizada, capaz de ser registrada mediante un magnetómetro.

Dicho dispositivo sirve para cuantificar la señal magnética de una muestra. Los hay muy sencillos, como la balanza de Gouy o la balanza de Evans, que miden el cambio en peso aparente que se produce en una muestra al aplicar un campo magnético, y también muy sofisticado, como los dotados de SQUID (instrumento de interferencia cuántica superconductor), que son los más sensibles actualmente.

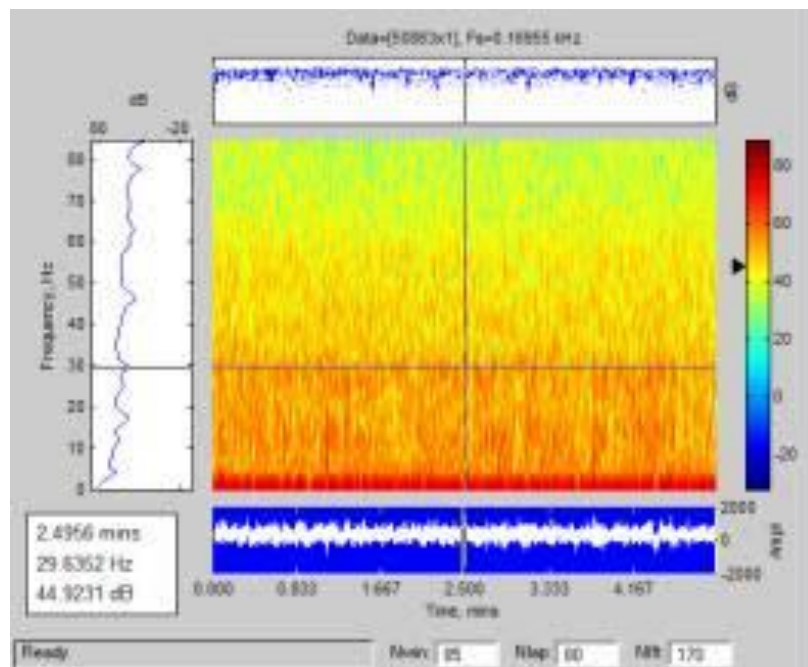


Figura 13: Registro de actividad postsináptica neuronal. Tomado de:

<https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&id=21662F7D9809A00DCB633925ADA5FD944FF13735&thid>

Así es que resultaría interesante, encontrar los espacios sinápticos donde aplicar campos magnéticos para lograr la aceleración de procesos de aprendizajes específicos.

### 6.3. Superinteligencia

La superinteligencia humana, se define como cualquier intelecto que se comporta de manera bastante superior en comparación con los mejores cerebros



humanos en prácticamente todos los aspectos y en especial Creatividad científica, Sabiduría en general y Desempeño científico.<sup>93</sup>

Esta definición deja abierta la forma como se implementa esa superinteligencia la cual puede ser: Artificial (una computadora digital), Colectiva (una red de computadoras), Biológica (cultivo de tejidos corticales) y Mixta (fusión entre computadoras y humanos).

En sus inicios la inteligencia artificial (IA) creía que el hombre resolvía todos los problemas a través de métodos heurísticos<sup>94</sup> y se pensaba que la mente estaba conformada por potentes mecanismos capaces de partir de lo general a lo particular tal como sucedía con los algoritmos de computación. Se creía que todos los problemas se podían resolver recorriendo un árbol de objetivos y la solución del problema, consistía en encontrar el camino correcto, desechando todas aquellas vías que no fueran viables. La dificultad estaba en cómo desechar esas ramas o caminos improductivos, quién podría garantizar que ese camino después no fuese el más adecuado, hasta qué profundidad había que recorrer el árbol para estar seguro de que esa vía era errónea, cómo evitar, qué producto de la ramificación creciente del árbol, un exceso de combinaciones incalculables (explosión combinatoria).<sup>95</sup>

Luego del fracaso en los 80s del paradigma simbólico, basado en los sistemas basados en conocimientos. Se necesitaba de nuevos enfoques de ahí que se retomaran algunas ideas, en muchos casos condenadas por los padres de la IA.

Las nuevas tendencias en la Inteligencia Artificial son:

- Redes neuronales: Las investigaciones comienzan a concentrarse en el cerebro y sus conexiones en lugar de los algoritmos de la mente.
- Agentes inteligentes: Se concentran en la inteligencia distribuida en diferentes agentes (con conocimientos parciales) que al integrarse logran

---

<sup>93</sup> Habermas. J. *El futuro de la naturaleza humana*, Paidós, Barcelona 2002 pág. 37

<sup>94</sup> método heurístico: conocido como "IDEAL", formulado por Bransford y Stein (1984). Incluye cinco pasos: Identificar el problema; definir y presentar el problema; explorar las estrategias viables; avanzar en las estrategias; y lograr la solución y volver para evaluar los efectos de las actividades.

<sup>95</sup> Habermas. J. *op. cit.* pág. 61

resolver problemas complejos en lugar de grandes bases de conocimientos cerradas.

- Máquinas superinteligentes: Se cifra la esperanza en el hardware, máquinas cada vez más potentes, que con el tiempo llegaran a superar la potencia del cerebro, en lugar de aspirar a descifrar la mente por medio del software.
- Algoritmos genéticos: Se aceptan los avances de otras ciencias tales como la biología, en lugar de en lugar de atrincherarse en modelos exclusivamente informáticos.
- Robots reactivos, se desarrollan pequeños robots capaces de interactuar con el medio y que vayan aprendiendo de los obstáculos, en lugar de los sistemas basados en el conocimiento, que están desligado de la realidad y hay que alimentarlos de forma manual, de ahí que recibieran el mote de sistemas autistas.

Los investigadores de la IA han ido perdiendo interés en la programación de sistemas que emulen con la mente por la de un hardware cada vez más potentes y se parte del hecho que las máquinas son cada vez más veloces.

Con la obtención de máquinas superveloces, estas podrán efectuar un billón de operaciones por segundos, con lo cual según Moravec estarán en condiciones de alcanzar el nivel de la inteligencia humana. Aún más, teniendo en cuenta que el cerebro humano trabaja a una frecuencia de 100 hertzios o ciclos por segundo y que no se vislumbra una cota que limite la velocidad de procesamiento de la computadora basada en un hardware cada vez más sofisticado, con mayor capacidad de memoria, varios procesadores centrales (la materia gris de la máquina), mayor velocidad de acceso a los periféricos; parece posible, incluso, que la máquina pueda superar al hombre.<sup>96</sup>

Para muchos es preocupante que los aciertos de la IA surjan de métodos tan simples como búsqueda por fuerza bruta, y que la contribución más importante para

---

<sup>96</sup> Fukuyama. F. *El fin del hombre*. Ediciones B, Barcelona 2002. Pág. 23

el avance de la IA haya sido la Ley de Moore<sup>97</sup> y los aumentos implacables en la velocidad de la computadora.

Vemos que esta idea sigue la tendencia de priorizar el hard sobre el soft y se apoya sobre los siguientes conceptos:

- La evolución de las máquinas es más rápida que la de los humanos, mientras las máquinas sufren un crecimiento acelerado, la evolución natural de los humanos está prácticamente detenida.
- La aceleración de las tecnologías se seguirá incrementando hasta llegar a un punto que escapa a las capacidades de los humanos (singularidad tecnológica).
- Las máquinas que se irán auto construyéndose a sí misma cada vez más perfeccionadas, más veloces, más memorias, dotadas de mejores algoritmos podrán llegar a convertirse en máquinas superinteligentes que superen a los humanos.
- La inteligencia de las máquinas dada la complejidad que irán adquiriendo y las conexiones internas (circuitos) o externas (redes) podrá despertar como una entidad auto consciente.

Hoy la máquina supera al campeón del mundo en ajedrez, no sería esto razón suficiente. Sin embargo, la máquina no utiliza la misma forma de pensar que el humano, su fuerza se basa en su velocidad de cálculo que le permite explorar de forma casi exhaustiva todas las variantes, además, por supuesto, de contar con valoraciones estratégicas, pero lo que la hace invencible es su velocidad para calcular las variantes, lo que se llama algoritmo de fuerza bruta. Pero, esto apoya la tesis que según las máquinas mejoren su hardware obtendrán resultados mejores así, hasta superar a los humanos en todas sus facetas.

---

<sup>97</sup> La Ley de Moore es un término informático originado en la década de 1960 y que establece que la velocidad del procesador o el poder de procesamiento total de las computadoras se duplica cada doce meses. En un principio, la norma no era muy popular pero sí se sigue utilizando hasta el día de hoy. Quien la acuñó fue Gordon Moore, el cofundador de la conocida empresa Intel de microprocesadores. Cuando las revistas de electrónica le preguntaron cómo se desarrollaría el área en los próximos diez años, él escribió un artículo en el que predijo el funcionamiento del mercado. Tomado de: <https://hipertextual.com/2015/04/ley-moore> consultado: 16/01/19

## 6.4. Transhumanismo

Hace ya mucho tiempo que el paradigma sobre lo inmutable de la condición humana ha quedado obsoleto. Es un hecho nuestra evolución biológica. Pero detengámonos, por otro lado, a reflexionar sobre cada uno de los inventos e innovaciones que, desde tiempos inmemoriales, han surgido de nuestra mente creativa. Todos ellos han tenido un impacto y han supuesto una evolución en la misma esencia humana. Pensemos en avances como el habla, la rueda, la escritura, la filosofía, las matemáticas... Desde hace milenios forman parte de nuestro día a día y, lo queramos o no, hace tiempo que cambiaron nuestra "esencia".

El transhumanismo se apoya en el desarrollo de las llamadas tecnologías convergentes (nanotecnología, biotecnología, tecnologías de la información y ciencia cognitiva). A ellas se suman la inteligencia artificial, las neurociencias y el uploading (transferir una mente con todos sus detalles desde un cerebro biológico a un cerebro artificial).

Los transhumanistas piensan que el cerebro equivale a la persona misma, la cual sobrevive tanto como ciertos elementos de información se conservan (recuerdos, valores, actitudes, emociones), y tanto como exista una continuidad causal.

La Asociación Mundial Transhumanista define así el transhumanismo:

...un acercamiento interdisciplinario para comprender las posibilidades de superar las limitaciones biológicas a través del progreso tecnológico. Los transhumanistas buscan extender las oportunidades tecnológicas para que la gente viva más tiempo, con vidas más saludables y puedan mejorar sus capacidades intelectuales, físicas y emocionales.<sup>98</sup>

No se habla de que un robot adquiriera características humanas sino de amplificar las capacidades de la mente humana. La cognición se refiere a los procesos para organizar la información. Estos incluyen la adquisición (percepción), la selección

---

<sup>98</sup> Rivera, Andrea. *El transhumanismo y la evolución cibertecnológica hacia los seres del futuro*. Noviembre 2016 <http://www.milenio.com/cultura/el-transhumanismo-y-la-evolucion-cibertecnologica-hacia-los-seres-del-futuro> Consultado: 02-06-2018 15:30 horas

(atención), la representación (entendimiento) y la retención (memoria) de dicha información, así como el uso de esta información para guiar la conducta (razonamiento y coordinación motora).

Ahora es posible no solamente estudiar la anatomía funcional de las redes del cerebro sino también examinar, por ejemplo, cómo las diferencias genéticas podrían llevar o conducir a variaciones individuales en el potencial para usar estas redes en la adquisición y desarrollo de habilidades. Hoy es viable examinar el rendimiento individual en redes neuronales específicas combinando métodos con modernos estudios genéticos.<sup>99</sup>

Parece claro que la naturaleza humana no permanece impasible ante los acontecimientos, sino que avanza y se adapta.

Las ideas en esta línea, a menudo concebidas para películas y novelas de ciencia ficción, parten de una base expuesta por el biólogo Julian Huxley en 1957 (que a su vez se inspiró en el genetista J. B. S. Haldane y su ensayo *Daedalus*) según el cual la humanidad puede desligarse de su miserable y efímera existencia para redimirse en una condición poshumana. Esta idea es el origen del transhumanismo y así lo expresó en *Religion without revelation* (1927), escribió:

La especie humana puede, si lo desea, trascenderse a sí misma –no sólo esporádicamente, un individuo aquí de cierta manera, un individuo ahí de otra- sino en su totalidad, como humanidad. Necesitamos un nombre para esta nueva creencia. Tal vez transhumanismo servirá: el hombre permaneciendo hombre, pero trascendiéndose mediante la realización de nuevas posibilidades de y para su naturaleza humana.<sup>100</sup>

El transhumanismo engloba un conjunto de filosofías que han evolucionado hacia un movimiento científico, cultural e intelectual que bebe de las bases del humanismo (fundamentado en la razón, el compromiso con la ciencia y el progreso) y que persigue mejorar las capacidades físicas y cognitivas de la especie a través de la tecnología, superando aspectos de nuestra biología que nos hacen

---

<sup>99</sup> De la Barrera, María Laura. *op. cit.* Pág. 16.

<sup>100</sup> Rivera, Andrea. *op.cit.* Consultado: 02-06-2018 16:00 horas

vulnerables: la enfermedad, la inteligencia limitada, el envejecimiento o la propia muerte.

Pueden definirse tres principios del transhumanismo:

1. Una gran confianza en las posibilidades de la ciencia: el desarrollo de tecnologías como la inteligencia artificial, la ingeniería genética, la nanotecnología o la informática permitirán mejorar nuestra calidad de vida, abriendo además nuevas vías para facilitar el bien común e incluso desafiar nuestra propia mortalidad.
2. La naturaleza humana, pura materia: la mistificación de lo humano, la visión antropocéntrica y el culto a lo “natural” complican el camino hacia el progreso libre y consciente.
3. Lo que se busca en definitiva es emplear las oportunidades que brinda la tecnología para que la sociedad en su conjunto, y cada ser humano en particular, pueda rebasar la cima de su potencial físico, intelectual y emocional, e ir más allá.

Llegados a este punto se diversifican las teorías. Como todo movimiento, el transhumanismo está en constante desarrollo y abarca corrientes que sitúan el foco en distintas cuestiones de mayor o menor contenido social, individual o filosófico. Incluso existe un grupo de pensadores que trata de conciliar las ideas transhumanistas con determinados conceptos de índole espiritual.

Los filósofos Nick Bostrom y David Pearce crearon en 1998 la World Transhumanism Association, una organización que trabaja en pro del transhumanismo y la investigación científica para sus fines. Y la Singularity University, que forma y prepara a los emprendedores del movimiento. Ambos defienden que las aspiraciones transhumanistas están presentes desde hace mucho tiempo, de forma subyacente o explícita, en numerosas investigaciones

científicas, desarrollos tecnológicos, avances sociales, expresiones artísticas e intelectuales.<sup>101</sup>

Hablamos, al cabo, de tomar las riendas definitivamente: decidir nuestra propia evolución, construir la humanidad del mañana. Una posibilidad que, para las mentes más conservadoras, resulta simplemente inconcebible.

Las dudas, por supuesto pueden aparecer si nos dejamos dominar por el miedo a decidir el futuro de la humanidad. Para los transhumanistas, sin embargo, el avance tecnológico constituye una visión hermosa que brinda la oportunidad de perfeccionar nuestra naturaleza y elegir qué persona, y qué especie, queremos ser en el futuro.

---

<sup>101</sup> Bostrom. N. *Una historia del pensamiento transhumanista*. Argumentos de Razón Técnica 2011. Pp.157-161.

## Conclusiones

El objetivo principal de esta tesina es fundamentalmente proponer alternativas para facilitar y optimizar los procesos de aprendizaje del ser humano, desde la mirada de la neurociencia, la biofísica y la educación.

Durante este breve recorrido por algunos registros electrofisiológicos y su relación con el aprendizaje humano, pudimos encontrar determinadas relaciones en el estudio del sistema nervioso y el cerebro desde aspectos estructurales y funcionales, que han mejorado la comprensión acerca del proceso de aprendizaje.

Los avances en Neurociencia han confirmado afirmaciones teóricas que la psicología y la pedagogía habían adelantado, tales como la importancia de la experiencia temprana en el desarrollo, detalles acerca del aprendizaje y el desarrollo han convergido para formar un cuadro mas completo acerca del desarrollo intelectual.

La clarificación de algunos mecanismos de aprendizaje ha sido mejorada por la llegada de tecnologías de imágenes. Los espectrómetros, el electroencefalograma, la magnetoencefalografía y el mapeo de la actividad eléctrica neuronal.

En este sentido podemos llegar a las primeras reflexiones acerca del vínculo entre dichos registros, el cerebro y el aprendizaje:

1. El proceso de aprendizaje involucra todo el cuerpo y el cerebro, quien actúa como una estación receptora de estímulos y se encarga de seleccionar, priorizar, procesar información, registrar, evocar, emitir respuestas motoras, consolidar capacidades, entre otras miles de funciones. El aprendizaje cambia la estructura física del cerebro.
2. El cerebro es el único órgano del cuerpo que tiene la capacidad de aprender y a la vez enseñarse a sí mismo. Esto por su enorme capacidad plástica, le permite reorganizarse y reaprender de una forma espectacular, continuamente. Con aproximadamente 100 mil millones de células nerviosas llamadas neuronas, el cerebro va armando una red de conexiones,



conformando un cableado único de cada ser humano, donde las experiencias juegan un rol fundamental. Este gran sistema de comunicación entre las neuronas, se llama sinapsis y es lo que permite que el cerebro aprenda segundo a segundo.

3. El aprendizaje es una cuestión eléctrica porque en los millones de neuronas que tiene el ser humano, circula una fuerza poderosa que gobierna la vida y la naturaleza del hombre: la electricidad.
4. Los seres vivos a la hora de enfrentarse con el medio ambiente, no solo se ven dotados de una serie de actividades congénitas, sino que poseen, además, la capacidad de modificar sus modos de reacción en el curso de su evolución ontogenética, con lo cual pueden lograr una mejor vinculación con su entorno.

Para vincular la práctica pedagógica con los aportes neurocientíficos y de la biofísica, es muy importante que el educador tenga conocimiento elemental de la estructura macroscópica del cerebro, zonas esenciales del sistema nervioso, de los hemisferios, los lóbulos y la corteza cerebral. Así mismo, es importante entender la estructura microscópica del cerebro, al conocer las células nerviosas que componen neuronas y glías y del sistema de comunicación que establecen entre ellas.

De la misma manera, es necesario como educadores entender cómo el cerebro desempeña varias funciones, cómo se organiza en sistemas y cómo estos sistemas posibilitan el aprendizaje y otras funciones más.

El conocimiento acerca de la estructura y funcionamiento del cerebro nos dará la base y fundamentación para emprender nuevos estilos de enseñanza considerando el uso de mecanismos y registros electrofisiológicos que permitan el desarrollo del potencial humano:

1. Mediante la estimulación transcraneana aplicada en partes específicas de los lóbulos parietales, se puede alcanzar un alto nivel de rendimiento en determinadas tareas, lo cual podría aplicarse en otras áreas y lograr aprendizajes de diversos tipos.

2. El desplazamiento de corriente eléctrica a lo largo de las vías nerviosas significa que las neuronas cuentan con un campo electromagnético. Con un campo electromagnético neuronal “artificial” aplicado que tiene un efecto coordinador: las neuronas afectadas por dicho campo se disparan al mismo tiempo y generan conexiones para así potencializar procesos de aprendizaje.
3. Las células cambian su receptividad a los mensajes basándose en la estimulación previa. Es como si las células hubiesen aprendido y cambiado su conducta. En pocas palabras, nuestro aprendizaje se hace mediante la alteración de la eficacia sináptica.
4. La estimulación eléctrica repetida fomenta junto con la entrada incrementada de nutrientes, el desarrollo celular mediante la ramificación dendrítica estableciendo más conexiones e incluso “árboles neuronales” que nos ayudan a comprender mejor.
5. Las alteraciones provocadas por los campos electromagnéticos artificiales (antenas, telefonía, radares, etc.), así como las variaciones de los campos magnéticos naturales, tienen impacto en los procesos de aprendizaje y conducta del ser humano.
6. Diversos estudios en torno a cómo las neuronas producen señales eléctricas que se combinan para formar ondas cerebrales a diferentes frecuencias permitirán en un futuro apoyar a las personas con déficits de aprendizaje y memoria, estimulando el cerebro humano para optimizar las técnicas de entrenamiento y superar tales déficits.
7. El descubrimiento de que la tierra tiene las mismas resonancias naturales que el cerebro permitió establecer una conexión entre la resonancia Schumann y el ritmo de ondas cerebrales alfa, lo cual abre un campo de oportunidades en cuanto a la influencia de los osciladores biológicos dentro del cerebro de los mamíferos y de los seres humanos, estableciendo una relación más directa entre el geomagnetismo y algunos procesos de aprendizaje.

8. La mente humana antes acotada por un conjunto de conexiones neuronales, ahora se apoya de las nuevas tecnologías lo cual nos permite saber que los límites de nuestra mente pueden ser ampliados.
9. Reconocemos la existencia y utilidad del interruptor superconductor (sinapsis artificial) que "aprende" igual que un sistema biológico y que podría conectarse a procesadores, el cual podría realizar funciones tan complejas como las del cerebro humano.
10. Sabemos que a través de un magneto encefalograma es posible la captación de campos magnéticos y el estudio de las relaciones entre las estructuras cerebrales y sus funciones, así como los registros sinápticos y su posible incremento.
11. Con la obtención de máquinas superveloces, estas podrían efectuar un billón de operaciones por segundos generando las condiciones para alcanzar el nivel de la inteligencia humana.
12. El transhumanismo engloba un conjunto de filosofías que han evolucionado hacia un movimiento científico, cultural e intelectual que tiene su base en el humanismo (fundamentado en la razón, el compromiso con la ciencia y el progreso) y que no busca otra cosa que mejorar las capacidades físicas y cognitivas de la especie a través de la tecnología, superando aspectos de nuestra biología que nos hacen vulnerables: la enfermedad, la inteligencia limitada, el envejecimiento o la propia muerte.

El compromiso de ser un profesional de la educación no es únicamente social sino universal, la interpretación del mundo y del universo en constante expansión, es una invitación al reconocimiento del cambio y trasmutación humana.

Una vez que los profesionales de la educación tengamos mayor conocimiento sobre lo que sucede en el cerebro humano y evidencia de los factores que ejercen influencia en el crecimiento, desarrollo y funcionalidad, podremos abordar de mejor manera las necesidades de aprendizaje.

La oportunidad de interpretar desde múltiples campos disciplinarios nos permite construir nuevos discursos y saberes educativos desde diversos ángulos teóricos y epistemológicos.

El trabajo arduo y la creatividad nos han enseñado que hace millones de años fuimos polvo de estrellas, fragmentos de materia espacial; en el futuro, entenderemos las leyes universales que rigen la vida y cuando esto suceda, habremos encontrado la interpretación quizá más hermosa de la naturaleza, lo que nos llevará a crear una nueva vida, cruzando fronteras inalcanzables, y será entonces cuando posiblemente lograremos emprender un nuevo viaje buscando la conexión cósmica con nuestro destino.

## Bibliografía

1. Álvarez Marín, Mauricio. *Vygotski: Hacia la psicología dialéctica*". Material Utilizado en el Seminario de Psicología Social de la Escuela de Psicología de la Universidad Bolivariana Santiago de Chile, 2002.
2. Álvaro Pascual, Leone. *Mente, Cerebro y Conducta*. Boston Harvard Medical School 2015. Pp.187-194.
3. Anderson, John. R. *Aprendizaje y memoria. Un enfoque Integral*. Mc Graw-Hill. París 2013. Pp. 21-26
4. Azcoaga, Juan. *Sistema Nervioso y Aprendizaje*. Centro Editor de América Latina S.A. Cuenca 1979. pp. 10-16.
5. Bandura, Albert. *Teoría del aprendizaje social*. Alianza Editorial. Madrid 1990. Pp. 145.
6. Bostrom, N. *Una historia del pensamiento transhumanista*. Argumentos de Razón Técnica 2011. pp. 157-161.
7. Broncano, Fernando. *Humanismo Cyborg: A favor de unas nuevas humanidades más allá de los límites disciplinares*. Revista Educación y Pedagogía, vol.24, no.62, enero-abril 2012.
8. Brandan, María Esther, et. al. *La radiación al servicio de la vida*. FCE. N°99 Ciencia para Todos. 2003. Pág. 29.
9. Cañedo Dorantes, Luis Enrique. *Bioelectromagnetismo*. Revista Ciencia y Desarrollo. Nov. 2006. Vol. 36 N°200. pp. 17-19.
10. Carvalho Gómez, Carla Andreia, *Neuropsicología*. Lisboa 2006.
11. Changeux, Jean-Pierre, *El hombre neuronal*. Fayard. 6ª ed. París 1983.
12. Cherry, N.J. *Schumann Resonances, a plausible biophysical mechanism for the human health effects of Solar*. París 2002. pp 279-331.
13. David E. Sadava, David M. Hillis, H. Craig Heller y May Berenbaum, *How Do Neurons Communicate with Other Cells? (¿Cómo se comunican las neuronas con otras células?)* En *Life: The Science of Biology*, 9a ed. (Sunderland: Sinauer Associates, 2009), 961 págs.
14. De la Barrera, María Laura. *Neurociencias y su importancia en contextos de aprendizaje*. Revista Digital Universitaria. Vol. 10 Número 4. UNAM. Pág. 16.

15. Deyhle, Annette. *Influencia del Geomagnetismo y las Resonancias Schumann en la Salud y Comportamiento Humano* Publicado el 20/04/2011 15 de Julio de 2009.
16. Europa Press. *Cientos de proteínas permiten a las plantas sentir lo que las rodea*, La Jornada, martes 23 de enero de 2018, año 34, numero 12028. Ciencias 2ª.
17. Feldman, Robert, *Introducción a la Psicología*, 4a. ed., México, Mc Graw Hill. Interamericana, año 2002.
18. Friedrich, G. y Preiss, G. *Neurodidáctica. Mente y Cerebro*, Vol. 1, Nº4, 2003. p. 39-45.
19. Fukuyama, F. *El fin del hombre*, Ediciones B, Barcelona 2002, 23.
20. Goldberg, E. *El cerebro ejecutivo: lóbulos frontales y mente civilizada*. Crítica.2009.
21. Guttmann, Giselher. *Introducción a la Neuropsicología*. Editorial Herber. París 1976. Págs. 225.
22. Habermas, J. *El futuro de la naturaleza humana*, Paidós, Barcelona 2002 pp. 37 y 61
23. Hernández Rojas, Gerardo. *Paradigmas en Psicología de la educación*. Paidós. México 1998. 267 págs.
24. Jensen, Eric. *El cerebro que aprende*. Narcea, S. A de ediciones. Pág. 31.
25. Kandel, E.R., J. H. Schwartz y TH. Jessell. *Neurociencia y conducta*. Prentice Hall. Madrid 2002. Págs. 57-59.
26. Kandel, E.R., J. H. Schwartz y TH. Jessell. *An Introduction to Synaptic Transmission*. (Una introducción a la transmisión sináptica) En *Essentials of Neuroscience and Behavior*. Norwalk: Appleton & Lange, 1995. 210 págs.
27. Loewi, Otto. *Nobel Lecture: The Chemical Transmission of Nerve Action*. (Conferencia Nobel: la transmisión química de la actividad nerviosa) NobelPrize.org. Consultado el 22 de marzo de 2016. [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/medicine/laureates/1936/loewi-lecture.html](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1936/loewi-lecture.html).

28. Lorenz, Konrad. *Sobre la Agresión. El pretendido mal*. RBA Ediciones S. A., Barcelona 1993. Págs. 47.
29. Lozano Leyva, Manuel. *La biofísica. La ciencia interdisciplinar de la vida*. RBA Coleccionables S.A. Navarra 2017.
30. Magaña Solís, Luis Fernando. *Los superconductores*. 4ª ed. México 2012. FCE, SEP, CONACyT. 166 pp. Colec. LA CIENCIA PARA TODOS.
31. Nicholls, J.G., A. R. Martin, B. G. Wallace y P. A. Fuchs. *Principles of Direct Synaptic Transmission*. (Principios de transmisión sináptica directa). En *From Neuron to Brain*, pp.155-176. 4a ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2001.
32. Nobelprize.org. *A descubridores del mecanismo del reloj biológico, el Nobel de Medicina*. En la jornada: martes 3 de octubre de 2017. Pág. 2ª.
33. Ohno, T, T. Hasegawa, T. Tsuruoka, K. Eagle, J. K. Gimzewski, M. Aono. *Plasticidad a corto plazo y la potenciación a largo plazo mímico en sinapsis inorgánico sola*. Mater nacional, 2011. Pp. 591-595.
34. Openstax College, Biology. *How Neurons Communicate*. (Cómo se comunican las neuronas) OpenStax CNX. Última modificación 29 de febrero de 2016. [http://cnx.org/contents/GFy\\_h8cu@10.4:cs\\_Pb-GW@5/How-Neurons-Communicate](http://cnx.org/contents/GFy_h8cu@10.4:cs_Pb-GW@5/How-Neurons-Communicate).
35. Onomi, T, T. Kondo, K. Nakajima, *8ª Conferencia Europea sobre superconductividad aplicada*, Hoste S., M. Ausloos, EDS (IOP Publishing Ltd, 2008) 36 págs.
36. Ormrod, Jeanne Ellis. *Aprendizaje humano*. Pearson Educación. 4ª Ed. Madrid 2005. Págs. 57-80.
37. Pereda, Alberto E. *Electrical Synapses and Their Functional Interactions with Chemical Synapses*, (Las sinapsis eléctricas y sus interacciones funcionales con las sinapsis químicas). *Nature Reviews Neuroscience* 15 año 2014. 300 págs.
38. Ponce Mejía, Tomas. *Fundamentos Psicopedagógicos*. Red Tercer Milenio. S.C. México 2012.
39. Romero, Sarah. *Así funciona el cerebro cuando aprende*. Tomado de: [www.labioguia.com/habitos-que-perjudican-el-cerebro/](http://www.labioguia.com/habitos-que-perjudican-el-cerebro/)

40. Romo, Trujillo. *El conocimiento del mundo parte de impulsos eléctricos emitidos por el cerebro: Romo Trujillo*.  
<https://www.sistemamichoacano.tv/noticias/19-michoacan/20716-el-conocimiento-del-mundo-parte-de-impulsos-electricos-emitidos-por-el-cerebro-romo-trujillo> 14/ 06/18 6:43 pm. Del día 10-agosto-2017.
41. Sadava, David E. et. al. *How Do Neurons Communicate with Other Cells?* (¿Cómo se comunican las neuronas con otras células?). 9a ed. En *Life: The Science of Biology*. 2010. pp. 650-652.
42. Schinder, A. *Develan una de las incógnitas del cerebro*. Artículo periodístico de La Nación. URL: [http://lanacion.com.ar/02/03/07/sl\\_378923.asp](http://lanacion.com.ar/02/03/07/sl_378923.asp)
43. Thibodeau GA, Patton KT. *Anatomía y Fisiología*, 6a Ed. Madrid. Editorial Elsevier España, S.A 2007. p. 393.
44. Townley, John. *El uso de los ciclos planetarios de tomar decisiones personales y de carrera*. Inner Traditions, Vermont 2017. USA.

### **Páginas Internet**

45. <https://www.sciencedaily.com/releases/2017/10/171012122820.htm>
46. <http://www.meteored.com/ram/913/el-proyecto-haarp-mquinas-para-modificar-y-controlar-el-tiempo-el-proyecto-haarp-mquinas-para-modificar-y-controlar-el-tiempo-atmosfrico/>
47. <https://asociacioneducar.com/monografias-docente-neurociencias/monografia-neurociencias-luis.lopez.rodriguez.pdf>
48. <https://www.buscabiografias.com/biografia/verDetalle/6321/John%20Eccles>
49. <https://www.academia.edu/3981529/Changeux. El hombre neuronal>
50. Patri Tezanos. *Campos electromagnéticos neuronales: ¿sirven para algo?* Antroporama. Divulgación sobre el ser humano. Revisado en: <http://antroporama.net/campos-electromagneticos-neuronales-sirven-para-algo/> 06/03/18
51. Kirkwood, Alfredo, et. al. [Distinct Eligibility Traces for LTP and LTD in Cortical Synapses](#) . *Neuron*, 2015. Consultado: 29-09-2018.



52. On the Possible Effects of Changes in Schumann's Resonances on Human Psychobiology En: <http://www.nwbotanicals.org>. vol. 6, no. 5 December 1983. Consultado: 23-marzo-2018.
53. REVISTA DIGITAL UNIVERSITARIA. *Neurociencias y su importancia en contextos de aprendizaje*. [www.revista.unam.mx/vol.10/num.4/art20/art20pdf](http://www.revista.unam.mx/vol.10/num.4/art20/art20pdf).
54. Rivera, Andrea. *El transhumanismo y la evolución cibertecnológica hacia los seres del futuro*. Noviembre 2016 <http://www.milenio.com/cultura/el-transhumanismo-y-la-evolucion-cibertecnologica-hacia-los-seres-del-futuro> Consultado: 02-06-2018 15:30 horas.
55. *Ultralow power artificial synapses using nanotextured magnetic Josephson junctions*. Science advanced. Vol. 4, no. 1. consultado: 28-04-18 20:09 horas.
56. Velásquez, M. *Transhumanismo, libertad e identidad humana*. tomado de <http://institucional.us.es/revistas/themata/41/36velazquez.pdf>. Consultado: 30-06-2018 13:20 horas.