

TECANA AMERICAN UNIVERSITY

Post-doctoral Program in Cognitive Neuroscience Applied to Education



INFORME N° 4

**CN908 Métodos de Neuroimagen**

Autor: Dr. Jolié Mc Guire Aros

“Por la presente juro y doy fe que soy el único autor del presente informe y que su contenido es fruto de mi trabajo, experiencia e investigación académica”

Mayo 2020

# ÍNDICE GENERAL

LISTA DE FIGURAS.....	iv
RESUMEN.....	v
<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>5</b>
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>6</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>6</b>
<b>JUSTIFICACIÓN</b>	<b>6</b>
<b>METODOLOGÍA</b>	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO I LA IMPORTANCIA DE TECNOLOGÍA DE NEUROIMAGEN PARA UNA FUTURA INVESTIGACIÓN EN LA EDUCACIÓN</b>	<b>9</b>
1.1 Tecnología Neuroimagen en Neurociencias cognitivas	12
1.2 Contexto histórico de tecnología de Imagen de resonancia magnética	13
1.3 Resultado de la tecnología para leer el cerebro: la Neuroimagen	13
<b>CAPÍTULO II TECNOLOGÍAS AVANZADAS DE CEREBRO QUE POSIBILITAN COMPRENDER FUNCIONAMIENTO Y CONDUCTA CEREBRAL</b>	<b>17</b>
2.1 El campo de la electrofisiología del cerebro EEG	17
2.2 Tomografía de emisión positrón TEP	19
2.3 Magnetoencefalografía (MEG)	22
<b>CAPÍTULO III INVESTIGACIÓN DE IMPLICACIONES EDUCATIVAS GRACIAS A TÉCNICAS DE NEUROIMAGEN</b>	<b>25</b>
3.1 La música y el resultado de su entrenamiento en desarrollo cerebral	26
3.2. Pensamiento y funcionamiento matemático	26
3.3 Hallazgos de procesamiento en el Lenguaje	27
3.4 Procesos de aprendizaje de metacognición	29
3.5 Implicaciones de EEG en estudio de Trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH)	30

<b>CONCLUSIONES</b>	<b>31</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>33</b>
<b>REFERENCIAS ELECTRÓNICAS</b>	<b>35</b>

**LISTA DE FIGURAS**

IMAGEN 1	14
IMAGEN 2	15
TABLA 1	16
IMAGEN 3	18
IMAGEN 4	20

## **RESUMEN**

El presente informe recopila tecnologías, herramientas y métodos de investigación que las neuroimágenes han entregado a la comunidad científica para el entendimiento del cerebro y mente. Cada una de las tecnologías que se detallan, tienen la facultad de ser no invasivas, pero logrando introducirse a verificar las actividades cerebrales que ocurren en un paciente por mientras hace una tarea, o para detectar alguna anomalía en el funcionamiento del cerebro. Es fascinante como el campo de la Neurociencia cognitiva ha unido el trabajo de equipos interdisciplinarios con innovadores e informáticos que proveen de datos para luego analizarlos mediante modelos de investigación provistos de la Neurociencia cognitiva. La información que se puede obtener acerca del cómo aprendemos y de cuáles son los factores sociales que inciden en nuestra conducta cognitiva y representaciones mentales, será un insumo del comienzo de una etapa de investigación para la Neurociencia educativa. Lo que ya se ha registrado con experimentaciones que los neurocientíficos aplican para explicar fenómenos del proceso de aprendizaje de ciertas disciplinas por parte de los estudiantes. Es un desarrollo que mantiene a equipos interdisciplinarios en alerta para comprender el funcionamiento del cerebro, en los distintos contextos de un mundo en la era de la información, algo que incide en el desarrollo del cerebro desde su niñez. Lo que puede ser comparado mediante fMRI con neuroimágenes en pacientes en reposo, o ejecutando una tarea. Este curso postdoctoral entrega información relevante acerca del trabajo primordial que se hace con los resultados de neuroimagen, y como el trabajo continuo de actualización tecnológica permite que los descubrimientos del cerebro sean más exactos y nítidos en los datos.

### **Descriptores**

Neurociencia cognitiva, Resonancia magnética, fMRI, Tomografías, EEG, aprendizaje

## **ABSTRACT**

This report compiles technologies, tools and research methods that neuroimaging has provided to the scientific community for understanding the brain and mind. Each of the technologies detailed, have the ability to be non-invasive, but they manage to introduce a verification of the brain activities that occur in a patient by while doing a task, or to detect any abnormality in the functioning of the brain. It is fascinating how the field of cognitive neuroscience has united the work of interdisciplinary teams with innovators and computer scientists who provide data and then analyze it using research models provided with cognitive neuroscience. The information that can be obtained about how we learn and detect the social factors that affect our cognitive behavior and mental representations will be an input to the beginning of a research stage for educational neuroscience. What has already been recorded with experiments that neuroscientists specified to explain phenomena of the learning process of certain disciplines by students. It is a development that keeps interdisciplinary teams on alert to understand the functioning of the brain, in the different contexts of a world in an information age, something that affects the development of the brain from childhood. Something that can be compared by fMRI with neuroimaging from patients at rest, or executing a task. This postdoctoral course provides relevant information about the critical work being done with neuroimaging results, and how continued work in technological updating enables the brain's discoveries to be more accurate and sharper in the data.

### **Keywords**

Cognitive neuroscience, MRI, fMRI, Tomography, EEG, learning

## **OBJETIVO GENERAL**

Investigar los aportes que hacen las tecnologías de neuroimagen al campo clínico y social en base a estudios de las Neurociencias cognitivas para experimentar y comprender fenómenos de aprendizaje en contextos escolares.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Reconocer el contexto histórico y evolutivo de donde el funcionamiento del cerebro es investigado con tecnologías no invasivas como neuroimagen.
- Determinar los tipos de tecnologías de neuroimagen que abren el campo de conocimiento de funcionamiento del cerebro y desarrollo cognitivos.
- Presentar evidencias de funcionamiento del cerebro y procesos mentales extraídos desde las técnicas de neuroimagen en cuanto aprendizaje en contextos escolares.

## **INTRODUCCIÓN**

El estudio de neurociencias cognitivas se relaciona como principal tarea la investigación del comportamiento humano y del funcionamiento del cerebro, que es posible a nuevas tecnologías avanzadas como Imagen de resonancia magnética (fMRI), Electroencefalograma (EGG), entre otros.

Los avances tecnológicos van de la mano con la necesidad de dar soluciones a problemáticas que no encuentran respuestas. Por eso, el hecho que se reúnan distintas disciplinas como Neurociencias, neuroquímica, Psicología, Neuropsiquiatría, entre otras. Donde ahora se añade la tecnología y el procesamiento de imágenes como datos fidedignos para interpretar qué sucede en el cerebro tanto como planos 2D, y 3D.

Desde este texto se podrán encontrar los inicios y evolución de las tecnologías de neuroimágenes y los científicos que lograron ese avance desde los años 1950.

Se podrán encontrar los tipos de fuentes de energía y qué tecnologías se están utilizando para investigación experimental de Neurociencias cognitivas y las que también

entregan datos de zonas cerebrales que se activan o desarrollan ante la ejecución de algunas tareas.

Para los profesores es indispensable conocer en profundidad los avances tecnológicos y cómo estos han descubierto cómo el individuo aprende y bajo qué entornos.

## **JUSTIFICACIÓN**

Los procedimientos que realizan los científicos con resultados de técnicas de neuroimagen, han sido eficientemente utilizados para prevenir enfermedades o trastornos mentales que se pueden detectar mediante una experimentación del paciente que se sumerja a una de estas tecnologías y ser objeto de estudio. Que muestran imágenes claras el funcionamiento y activación de ciertas áreas cerebrales de pacientes, lo que entrega significado e información de cómo se entrelazan las zonas y áreas cerebrales con respecto a los pensamientos y estímulos que se entregan al momento en que el individuo se encuentra sometido al dispositivo como el scanner de una resonancia magnética.

Es necesario conocer cuáles son las ventajas de ciertas tecnologías no invasivas de neuroimagen y su potencial para profundizar en conocimiento de alteraciones o enfermedades que necesitan ser estudiadas. Es por eso, que cada tecnología es presentada en este informe con datos intencionados a mostrar qué trastornos o fenómenos de estudio se enfoca. Aclarando que a través de los años los científicos han utilizado mayormente tecnología como resonancia magnética o Electroencefalograma, pero que al momento de dominar otra tecnología más actualizada puede entregar más respuestas confiables de lo que sucede en el cerebro. La evolución de la construcción y tipos de insumos que se requieren para proveer neuroimagen, ha sido el resultado de trabajo interdisciplinario y de profundo dominio de manifestaciones a estudiar, las que se presentan ante fenómenos mentales interesantes de estudiar. Estas tecnologías han sido basadas en electricidad, magnetismo, comportamientos de los átomos y gracias a energía nuclear, sudoración de la piel, entre otros.

Cada característica que las tecnologías de neuroimagen tiene y se destaca servirá para dar indicaciones a los neurocientíficos, de qué dispositivo se aplica a cada fenómeno cerebral o mental. Lo que se ha experimentado con investigación primero con una tecnología y luego en otra: como se realiza con el EEG y la FMRI. Algo que entrega al estudiante de Neurociencias cognitivas la comprensión del papel que tienen las tecnologías de neuroimagen y cómo las actualizaciones de modelos de investigación proveen datos en lo cognitivo social, como insumos para profesores que quieran profundizar en las neurociencias educativas.

## **METODOLOGÍA**

Se recurre a metodología de análisis documental descriptivo acerca de diseños de investigación experimentales por medio de algunas técnicas de neuroimagen que han evidenciado avances en funcionamiento de cerebro en procesos de aprendizaje y pensamientos cognitivos por medio de estímulos externos. de neurociencias cognitivas. Es descriptivo, ya que es “un discurso que evidencia y significa el ser de una realidad a través de sus partes, sus rasgos estructurales, sus cualidades, sus propiedades, sus caracteres estructurales o sus circunstancias” (Saravia, J., 1999;Pág. 57 citado en Arandes, 2013). Los artículos que se analizaron provienen de libros, artículos de revistas científicas que presentan hallazgos clínicos desde el año 2000 a la fecha, donde el método de técnica de resonancia magnética funcional ha entregado mayores datos de lo que sucede mente-cerebro, dando una respuesta a preguntas desde neurociencias cognitivas. Las que se describe en profundidad en el capítulo final, donde se visualiza en qué tipo de estudios se han aplicado para investigar lo que sucede en el cerebro cuando los niños aprenden ciertas disciplinas.

## CAPÍTULO I

### LA IMPORTANCIA DE TECNOLOGÍA DE NEUROIMAGEN PARA UNA FUTURA INVESTIGACIÓN EN LA EDUCACIÓN

Las técnicas que utilizamos sea de cualquier índole, provienen de la experiencia, del aprendizaje y errores de quienes buscan dar respuesta a sistemas que aporten hacia objetivos favoreciendo a una persona con ese uso. La palabra “tecnología” proviene del griego *tekne* (técnica, oficio) y *logos* (ciencia, conocimiento). Le da el sentido a la búsqueda del conocimiento de nuestra fuente de cognición: cerebro y mente.

En ese proceso, tanto de aprendizaje como de descubrimiento, es alimentado por la determinación de dos elementos: la técnica y quien la ejecuta. Esta combinación de tecnología y quien la diseña pone de manifiesto el querer incrementar la búsqueda de otras tecnologías. Creadas por hombres experimentados, con ánimo de llegar a un resultado eficaz, con las medidas y tiempo en que la técnica va a proveer al resultado. Las técnicas permiten traspasar a las personas las soluciones a problemas que sin la tecnología no se podría observar.

Así el investigador es delimitado como dice el autor:

Transformando y produciendo, según sus propias directrices, modificando lo que de suyo es cambiante, el mundo; añade a este rápidamente un nuevo modelado, reconfigurándolo según su *ser-necesario*; (...) Nos referimos al *ser-necesario*, como a la imposibilidad de que el humano no genere tecnología; al *ser-saber*, en la medida en que la tecnología es un corpus de conocimiento con sus características propias; al *ser-acción* en tanto que la tecnología es un *facio hominis (Yo hombre)* (Rubio & Esparza, 2016, pág. 5).

Por eso, en el campo de las Neurociencias cognitivas, gracias a la búsqueda de las técnicas que respondan a descubrir qué sucede en nuestro cerebro y nuestra mente, se han desarrollado tecnologías, para visualizar, preguntar, profundizar en todo objeto de

estudio y fenómenos, que ameritan una continua revisión de la utilización de las tecnologías (entendidas como aquellas que son una extensión del hombre).

Los procesos de ir y venir en los descubrimientos y experimentos, ha llegado a permitir que seres humanos imaginemos qué sucede con nuestros fenómenos dentro de nuestro cerebro. Porque es el órgano más importante para comprender la naturaleza humana, y entrega las infinitas posibilidades que biológicamente tenemos para adaptarnos a una cultura y sociedad en cambio constante. Las formas en que nos equivocamos y aprendemos de la experimentación, fortalecerá más rápidamente el encuentro de resultados : ¿Qué se puede descubrir si se llega a observar y medir lo que sucede en el cerebro? ¿Se podrá replicar ese órgano al llegar a ser artificial? ¿Se podrá comprender a sí mismo el investigador y el por qué de su búsqueda de fenómenos?

Es cierto, que la sed de verificar y cuestionarse con tanta información de lo que sucede en el cerebro, hace que se requiera buscar una nueva técnica, y avanzar hacia una tecnología más avanzada. Como es en parte el caso del cerebro donde aún no está revelado del todo, como el universo hacia las estrellas, se visualiza un universo de neuronas dentro de nosotros, otro mundo por descubrir. Y con ello, se requiere conocer otros lenguajes, otras disciplinas que aporten con respuestas, como la psicología, la neurología, la neuropsiquiatría, entre otras, para formar y entrenar a nuevos profesionales y expertos que puedan dominar elementos necesarios de la tecnología avanzada. Quienes lleguen a preguntarse en profundidad y logren experimentar y recibir respuestas. Decifrar un dispositivo que aporte a obtener conocimientos del cerebro. Esa investigación se relaciona con las neurociencias cognitivas sociales, porque el cerebro siendo uno solo, interacciona y se desarrolla con otros, se da la necesidad de responder cuáles son las conductas y el por qué de comportamientos de los individuos, ante esa relación con otros. Una disyuntiva que lleva a preguntarse qué sucede en los espacios donde las personas están interactuando con la intención de aprender: las escuelas. Lugares donde se produce y se concentra la dinámica de interactuar, de conocer cuáles son las motivaciones de aquellas personas que ingresan. En el estudio neurocientífico social se presenta la necesidad de observar la dinámica entre el aprendiz en la integración con otros con aprendizaje de técnicas/tecnologías.

Que lleva a los expertos neurocientíficos a encontrar respuestas acerca de los pensamientos, procesos cognitivos y funcionamiento del cerebro mientras el estudiante aprende. Cómo incide el lugar, las personas que tienen la responsabilidad y guían el aprendizaje, como son los profesores. Determinar el proceso de neurodesarrollo, que cada uno por sus historias desde el nacimiento y la relación familiar llega a poseer.

Son tantos elementos que se podrían investigar de manera reduccionista, que se relacionaría con algo no contextualizado: un cerebro antisocial como fenómeno de estudio. Algo que es contraproducente, porque la experimentación que se basa en el individuo aprendiendo en un laboratorio, no dará respuestas a lo que sucede en el cerebro y su mente si estuviera imaginando la Escuela. Donde se produce el intercambio del lenguaje, las perspectivas y la genuina interrelación de las maneras en que se manifiestan. Con personas que lo rodean y descubren de otros como él.

En los laboratorios a diferencia de las Escuelas, se pueden encontrar técnicas de imágenes de resonancia magnética, que dan respuesta magistral de la combinación de la necesidad de visualizar qué sucede en el cerebro y de dónde provienen los pensamientos entre otros cuestionamientos. Las imágenes digitales representan datos del cerebro instantáneamente, con la ayuda de otros dispositivos y tecnología digitales, dando la posibilidad a quienes quieren aprender el poder comprenderlo de una manera más clara. En las imágenes de resonancia magnética (RM), está la respuesta a la búsqueda por años de continuar investigando para encontrar sanidad a las personas, con la ayuda de farmacología, intervenciones quirúrgicas, o quizás tratamiento psicológico.

Por otro lado, en el contexto educativo propiamente tal, las imágenes de resonancia magnética no se han utilizado, sino que se ha realizado estudio en laboratorio y de manera individual. Por ello se hace difícil la relación de Neurociencias cognitivas y Educación, porque se buscan relaciones entre datos desde una resonancia magnética de una sola persona desde el laboratorio, quitando el contexto de la escuela y con ello el núcleo de lo cognitivo que son las relaciones interpersonales dentro de un entorno. Lo que deja solo la experiencia de recibir información que debe ser memorizada.

A pesar de eso, las imágenes de resonancia magnética (RM) pueden aportar a los profesores a conocer cuáles son fenómenos que suceden en el cerebro de un individuo cuando está aprendiendo. Lo que quizás produciría que profesores transformen sus técnicas de enseñanza para potenciar habilidades que los estudiantes poseen para potenciarlos.

Se hace necesario entonces que las técnicas y las tecnologías que entregan datos sobre aprendizaje, sean conocidos por todo aquel que quiere enseñar. Para aquellos educadores y guías que se atrevan a cuestionarse a sí mismos y sobre sus formas de entrenar. Se necesitan neuro-educadores, como profesionales que tengan una mirada de investigador que recurra a los neurocientíficos, y desde ellos recurran a una práctica educativa como fuente de conocimiento en sí mismo. Es decir, ambas partes (neurociencia cognitiva y profesores) se pueden nutrir.

### **1.1 Tecnología Neuroimagen en Neurociencias cognitivas**

Las neurociencias cognitivas han tenido un desarrollo formidable y uso creciente de las neuroimágenes funcionales, como la resonancia magnética funcional (RMf) que se relaciona con el estudio de neurobiología a capacidades psicológicas, relacionando neurociencias con psicología cognitiva. La denominación “funcional”, se refiere a que el sujeto está en alguna tarea dentro del scanner donde muestra actividad cerebral. El uso de la RMf presenta ideas modulares y locales acerca de la actividad del cerebro en relación con distintas habilidades cognitivas: como la visión, el lenguaje, la percepción, entre otras, que fue facilitado por las neuroimágenes funcionales que detectaron cómo se activaban áreas del cerebro en un momento delimitado. Es así, como la RMf captura patrones de dinámicas neuronales emergentes, tomando al cerebro como un sistema complejo, utilizándose para su posterior análisis un modelo matemático de los datos, o desde simulaciones computacionales.

Esto unió a muchos científicos a responder a la medida de la técnica, las posibilidades que daban a la Salud y en especial a la posibilidad de mejorar problemas mentales en

las personas. Es una historia de búsqueda de respuestas y de construcción tangible de esa necesidad, que culmina con el formato de la RMf (Cohen, 2017).

## **1.2 Contexto histórico de tecnología de Imagen de resonancia magnética**

El estudio de la función cerebral basada en imágenes de resonancia magnética funcional (fMRI) (Jardetzky, 2008), proviene de la resonancia magnética nuclear (RMN) descubierta por Felix Bloch cuando absorbe radiación electromagnética por núcleos atómicos de materia en masa, junto con sus compañeros de la Universidad de Stanford: (Bloch et al. 1946 citado en Jardetzky, 2008), Edward Purcell y otros compañeros de la Universidad de Harvard en el año 1945, resultando en un trabajo de descubrimiento de cambio químico por Bloch en 1950, quien mostró el espectro de RMN (resonancia magnética nuclear). Desde allí nace la importancia de mostrar las miles de contribuciones de la aplicación de la RMN al estudio de la estructura molecular y las interacciones moleculares en química, la ciencia de los materiales y la biología molecular (Jardetzky, 2008).

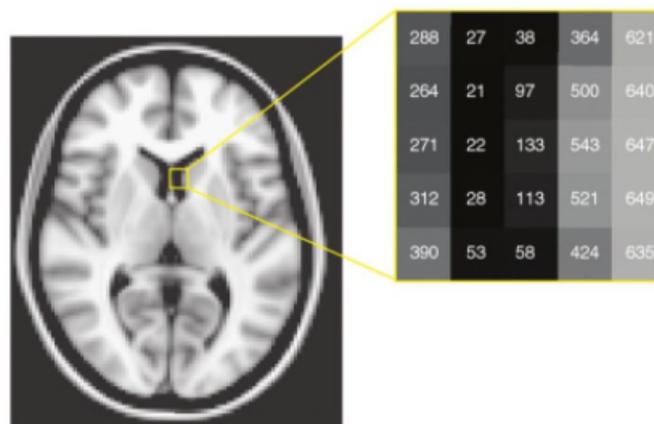
Inicialmente el término utilizado para las imágenes de "nuclear" se eliminó para evitar cualquier asociación con las armas nucleares. Y así la resonancia magnética funcional se produjo gracias a observaciones en el cerebro de un ratón en 1990 donde se pudieron obtener resultados que mostraban características en las imágenes de RM que dependían del grado de oxigenación lo que variaba con el estado funcional. Por lo tanto, se requiere un aumento en el flujo sanguíneo del cerebro, que se puede realizar suministrando oxihemoglobina, y el consumo del oxígeno se reflejará al aumentar la intensidad de la imagen, y la desoxihemoglobina lo disminuirá. Esta técnica basada en esa observación se conoce bajo el acrónimo BOLD (dependiente del nivel de oxigenación de la sangre) y ahora se usa ampliamente (Jardetzky, 2008).

### 1.3 Resultado de la tecnología para leer el cerebro: la Neuroimagen

La neuroimagen usa varias técnicas de imagen para obtener información estructural y funcional del cerebro, desde donde se analiza cuantitativamente y así lograr una precisa cuantificación gracias a imágenes exactas. Dentro de las técnicas de neuroimagen están: la tomografía computarizada (TC), resonancia magnética (RM), tomografía computarizada por emisión de fotón único (SPECT), tomografía por emisión de positrones (PET) (Araya & Falcon, 2015).

Para detallar a qué se refiere una imagen digital, se tiene que comparar con una matriz de números que corresponden a ubicaciones espaciales, representados en números en la imagen con valores grises (como es común para las imágenes anatómicas de resonancia magnética como en el ejemplo de la Imagen 1) o valores de color (como es común para los mapas paramétricos estadísticos). Cada elemento en la imagen se le denomina un “vóxel”, que es el análogo tridimensional de un píxel. La que se procesa realizando algún tipo de operación matemática en la matriz. Por ejemplo, en una operación para que la imagen sea más brillante (es decir, más blanca) se tienen que aumentar los valores de la matriz (Poldrack, Mumford, & Nichols, 2011).

Como en una computadora las imágenes se representan como datos binarios, es decir, se representan con la forma de unos y ceros (0-1-0-1). Una descripción más detallada de este proceso se representa en la Imagen 1.

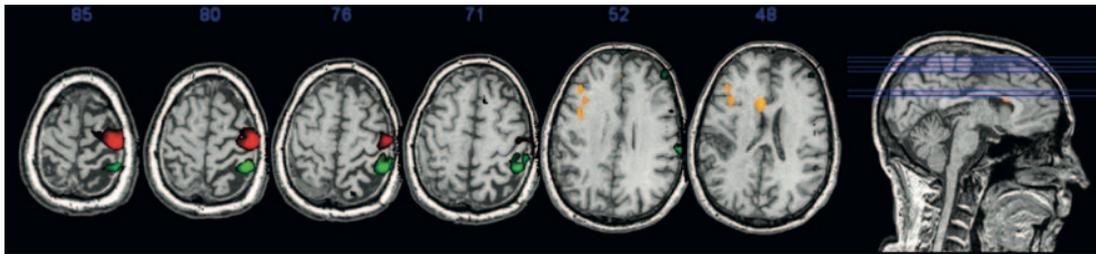


*Imagen 1: Representación gráfica de la matriz de una imagen. El grado de escala de grises a la izquierda de la imagen corresponde a número, el cual es mostrado con un set de pixeles particulares en la sección más aumentada en el recuadro de la derecha (Poldrack, Mumford, & Nichols, 2011).*

Para que una imagen digital tenga mayor o menor intensidad, o nitidez, depende de la cantidad de pixeles que se recrean las escalas de grises. Esa es la llamada resolución, teniendo menores complicaciones en la traducción de datos, por su nitidez y se obtienen mejores datos para su análisis posterior. Esa es la ventaja que tiene la IRM sobre otros métodos de imagen por su alta resolución de contraste, porque se pueden seleccionar tipos de contraste para que predominen en la imagen (Lafuente, García, & Hernando, 2020).

Por otra parte, la imagen de resonancia magnética (RM) funcional (Functional Magnetic resonance Imaging, fMRI) se utiliza una parte solamente de la resonancia magnética funcional para la detección de la actividad cerebral, por el efecto BOLD (siglas de Blood Oxygen Level Depend). Mediante este, el efecto de la señal de RM dependerá del nivel de oxígeno en la sangre, y detectará algunos cambios metabólicos funcionales cuando existe una activación neuronal. Luego, cuando una región del cerebro se activa produce un aumento de la actividad neuronal, dilatando los capilares y aumentando el flujo sanguíneo para aumentar el aporte de oxígeno (Lafuente, García, & Hernando, 2020). La resonancia magnética (MRI) mide la señal que surge de los núcleos de los átomos de hidrógeno del tejido (ej. Protones) (Stroman, 2016).

En un experimento clínico con fMRI-BOLD, se le pidió al individuo realizar varias tareas de forma intermitente (como tocar con los dedos o decir silenciosamente algunas palabras) mientras se encuentra dentro del equipo de RM. Lo que posibilitó que la fMRI proporcionara información sobre la localización cortical de funciones cerebrales en pacientes que requieren cirugía cerebral (Lafuente, García, & Hernando, 2020).



*Imagen 2: Estudio mediante fMRI-BOLD de un paciente que iba a ser operado de una malformación vascular cerebral. El movimiento de la mano derecha activa la corteza cerebral, y aumenta levemente la señal que se muestra coloreada. Así el cirujano obviará el paso por esta zona, si es posible, para evitar déficits motores tras la cirugía (Lafuente, García, & Hernando, 2020).*

Otras tecnologías que permiten el estudio de dualidad mente-cerebro y que son primordiales para trabajar en conjunto con las imágenes de resonancia magnética, tienen funciones y técnicas que se pueden distanciar a las utilizadas por neuroimagen, pero que son parte de los modelos de investigación en neurociencias cognitivas. Dos métodos que se utilizan de resonancia magnética se basan en principios similares a los desarrollados para métodos de rastreo radiactivo (Buxton, 2009). Algunos ejemplos son:

Método	Principio físico
<b>Tomografía computarizada (CT)</b>	Absorción de rayos X
<b>Tomografía por emisión de positrones (PET)</b>	Emisión / detección de positrones
<b>Resonancia magnética (MRI)</b>	Resonancia magnética nuclear (RMN)
<b>Imagen óptica</b>	Absorción de luz, dispersión, fluorescencia.
<b>Electroencefalografía (EEG)</b>	Potenciales eléctricos
<b>Magnetoencefalografía (MEG)</b>	Campos magnéticos
<b>Tomografía de impedancia eléctrica (EIT)</b>	Cambios en la impedancia eléctrica.

<b>Ecografía Doppler transcraneal funcional (fTCD)</b>	Efecto Doppler en ultrasonido
--	-------------------------------

*Tabla 1: Métodos de imagen cerebral no invasivos (Mulert & Lemieux, 2009)*

## **CAPÍTULO II TECNOLOGÍAS AVANZADAS DE CEREBRO QUE POSIBILITAN COMPRENDER FUNCIONAMIENTO Y CONDUCTA CEREBRAL**

La neuroimagen funcional puede dividirse a su vez en métodos hemodinámicos o que miden el metabolismo cerebral y métodos de actividad electromagnética. Los métodos hemodinámicos son registros de la actividad cerebral que se hacen mientras el sujeto ejecuta una tarea mental. Las técnicas más utilizadas son la Tomografía por emisión de positrones (TEP), la Tomografía por Emisión de Fotón simple (TEFS), la Imagen por Resonancia Magnética funcional (fMRI) y la técnica más reciente Espectrografía Óptica (Gento & Sanchez, 2009).

Los métodos electromagnéticos son una técnica que tienen una resolución temporal mejor que las técnicas hemodinámicas, las cuales sobresalen de una mejor resolución espacial. Como indica su nombre miden la actividad eléctrica o magnética de las neuronas. Donde están la Electroencefalografía (EEG) y la Magnetoencefalografía (MET) (Gento & Sanchez, 2009).

A continuación se verán en detalles la TEP, EEG, RM, y MET:

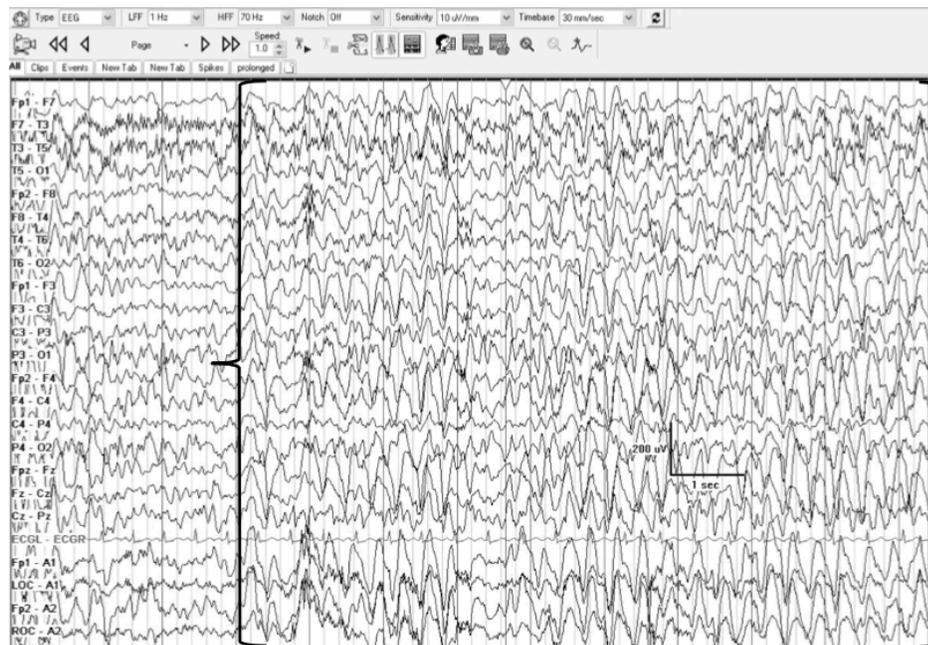
### **2.1 El campo de la electrofisiología del cerebro EEG**

El electroencefalografía EEG es una medida de la función eléctrica del cerebro, como visualización gráfica de una diferencia en los voltajes de dos sitios en la función cerebral registrados a lo largo de un tiempo, ya que las neuronas son células excitables con características y propiedades eléctricas intrínsecas que producen señales eléctricas generadas por el cerebro, actividad de campos eléctricos y magnéticos. Descubierta en 1924 , por Hans Berger (citado en Stroman, 2016), sirvió como diagnóstico médico para detectar epilepsia, y pasó a ser parte de tecnología de interface cerebro-ordenador, no invasivo más importante . Fue difícil que se aceptara como método de análisis de funciones cerebrales en la salud y enfermedad (Stroman, 2016; Tatum, 2014;Sanguineti, 2014).

Existe el EEG extracraneal, que se realiza en el cuero cabelludo y proporciona información de la actividad electrocerebral en los dos hemisferios del cerebro, lo que beneficia en detectar estados de conciencia como la vigilia, el sueño en sus diversos sub-estados. Por otro lado, el EEG intracraneal proporciona una grabación cerebral que se obtiene a través de electrodos que se dirigen a regiones específicas del cerebro implantados quirúrgicamente cuando, por ejemplo, ocurre una muerte cerebral (García-Alix & Quero, 2012) (Tatum, 2014).

Los EEG convencionales son registrados desde la superficie del cuero cabelludo donde se representa la actividad eléctrica generada por un gran número de neuronas, donde se crean las señales eléctricas cuando las cargas se mueven dentro del sistema nervioso central. Luego, para extraer esos datos, se amplifican y se muestra el registro en pequeñas cantidades de corrientes eléctricas (de microvoltios) desde la actividad cerebral con una duración suficiente (Tatum, 2014).

Para interpretar un EEG que tiene resultados anormal, primero se deben comprender los criterios para definir los patrones normales: un EEG normal no excluye un diagnóstico clínico (por ejemplo, epilepsia), ya que un hallazgo anormal en el EEG puede ser diagnóstico particular de otro diagnóstico (por ejemplo, estado epiléptico no convulsivo), puede indicar proceso para la disfunción cerebral (por ejemplo, desaceleración focal o generalizada), o se revelan características en el EEG que son irrelevantes para la razón por la que se realizó el estudio (por ejemplo, en dolor de cabeza) (Tatum, 2014).



*Imagen 3: Paciente en reposo y sueño. Acumulación normal durante la hiperventilación. Se presenta un delta (paréntesis) de alta amplitud frecuentemente entremezclado que ocurre durante una vigilia. (Tatum, 2014)*

Por otra parte, en el campo de la investigación el EEG da opciones y parámetros para la adquisición, preprocesamiento y cuantificación de datos; por lo que se tienen que elegir opciones apropiadas en cada paso y tener una planificación cuidadosa por adelantado. Se registra el EEG mientras los participantes realizan una tarea experimental, donde el inicio de cualquier estímulo y respuesta durante el experimento tiene una marca de tiempo durante la grabación del EEG, que permite alinear las respuestas del EEG a tiempo con su inicio. Con este tipo de datos cuantitativos también se han podido estudiar el cambio del cuerpo ante un estímulo de un participante en cuanto a la afectividad combinado con actividad con Electrocardiograma (Gu Ji & Choi, 2014; Carter & Covey, 2015).

Para estudio de neurodesarrollo de infantes, se ha utilizado con éxito para valorar el grado de maduración cerebral, donde además el profesional registra la conducta y actividad del bebé, como movimiento de los ojos, estiramientos, hipos, movimientos espontáneos como sacudida, etc (García-Alix & Quero, 2012).

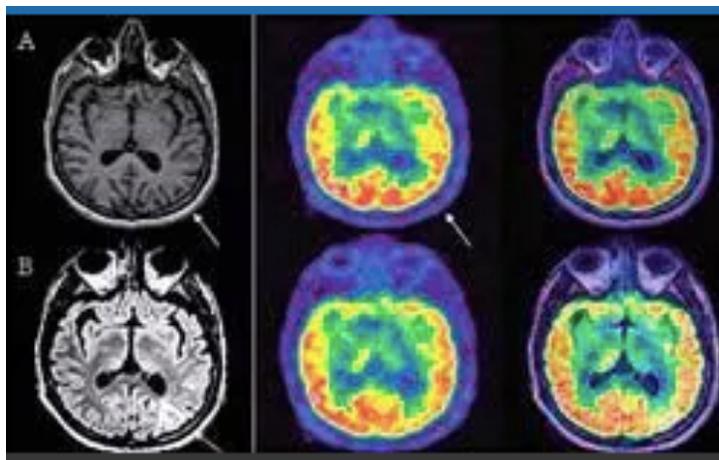
Por otro lado, el electroencefalograma cuantitativo (QEEG) permite estudiar la actividad oscilatoria cortical, investigar los correlatos clínicos que subyacen a los trastornos psiquiátricos y valorar el efecto de diversas opciones terapéuticas.

## **2.2 Tomografía de emisión positron TEP**

La tomografía de emisión positron (TEP) es una tecnología no invasiva, donde el individuo no tiene que ser expuesto a dispositivos que se coloquen en su cabeza. Este permite mapear patrones de actividad cerebral con una alta resolución espacial porque puede medir los cambios del flujo sanguíneo y el metabolismo energético en el cerebro, como muestra el ejemplo de la Imagen 4 (Buxton, 2009). En 1974 se fabricó el primer

tomógrafo que se empleó con seres humanos (Borrajo & Cabrera, 2010). El flujo de la sangre a través del tejido cerebral varía con el metabolismo y la actividad en el tejido. “los cambios de la actividad en las regiones cerebrales se reflejan en la cantidad relativa de sangre que fluye por estas regiones, pues el flujo de sangre es muy sensible a variaciones muy pequeñas de actividad neuronal” (Gento & Sanchez, 2009)

Para comprender el funcionamiento de TEP y los avances que se realizan para conocimiento del funcionamiento del cerebro, está la técnica de “imagen molecular”, donde la información se complementa con técnicas como Resonancia Magnética Nuclear (RM) o la Tomografía Axial Computarizada (TAC), las cuales producen imágenes que pueden aplicarse para el área de oncología donde más se utiliza, cardiología, neurología y otras especialidades (Burbano, 2012).



*Imagen 4: Paciente de 30 años de edad portador de epilepsia refractaria al tratamiento. De El hospital. Com (Burbano, 2012)*

El procedimiento para realizar el examen es, primero suministrar una sustancia radiactiva llamada “marcador”, en una pequeña cantidad, ya que ayuda a buscar alguna enfermedad o alguna lesión cerebral. Ella mostrará cómo está funcionando el cerebro y sus tejidos, a diferencia de las imágenes de resonancia magnética (IRM) o la Tomografía Computarizada (TC), que solo muestran la estructura del cerebro. Luego, el material radiactivo (marcador), es administrado a una vena (IV), que está en la parte

interna del codo, o bien inhalando el material radiactivo como un gas (Biblioteca Nacional de Medicina de los EEUU, 2019).

A continuación, el material radioactivo (marcador) es absorbido por el paciente, y viaja a través de la sangre acumulándose en órganos y tejidos, ayudando al individuo a tomar precauciones sobre alguna atención que requiera investigación de otras alteraciones, o verificación de lo que sucede en otras áreas del cerebro, que sirve para detectar enfermedades de manera más clara, precisa y confiable. Por ejemplo, si se está evaluando la memoria, detectando enfermedades como el Alzheimer, el Parkinson u otras demencias, puede solicitarse al paciente que mientras se realiza el examen, diga su nombre deletreándolo (Biblioteca Nacional de Medicina de los EEUU, 2019).

En este se observan imágenes a color en una computadora del funcionamiento del cerebro vivo en tiempo real. Se determina una escala de colores, donde el rojo indica un mayor nivel de activación y el azul el menos (Alcaraz, 2001).

Desde el punto de vista de la psicología cognitiva existen innumerables modelos teóricos que intentan explicar un mismo proceso mental. Resulta un error frecuente la tendencia del investigador a adoptar de manera exclusiva uno de estos modelos y no integrar adecuadamente las nuevas adquisiciones experimentales y teóricas que podrían ampliar su campo de acción. En las investigaciones que tienen como objeto de estudio la actividad cognitiva a menudo se aplican varios de los métodos de forma simultánea (Alcaraz, 2001).

El contexto del paciente es que al momento del examen se recuesta en una mesa angosta, ingresando dentro de un escáner en forma de túnel donde se mantiene por 1 hora aproximadamente. Donde el escáner de TEP detecta las señales del marcador, desde una computadora que convierte los resultados en imágenes tridimensionales y las presenta para que el experto pueda interpretarlas. Este último paso requiere que el profesional tenga dominio del funcionamiento del dispositivo tecnológico, el procedimiento que se le tiene que hacer al paciente, el procedimiento de utilización para distintos cuadros clínicos, y luego de ser extraídos los datos poder interpretarlos de acuerdo al conocimiento en neurología o de neuroinvestigación (Biblioteca Nacional de Medicina de los EEUU, 2019).

### **2.3 Magnetoencefalografía (MEG)**

Desde las técnicas de neuroimagen funcional se pueden clasificar en función de parámetros biológicos que definidas en:

- a) Técnicas electromagnéticas: electroencefalografía (EEG) y magnetoencefalografía (MEG)
- b) Técnicas hemodinámicas: Tomografía por emisión de positrones (PET), Tomografía por emisión de fotón único (SPECT), y la Resonancia magnética funcional (fMRI) (Santiuste & Santiuste, 2008).

Como ya vimos algunas tecnologías anteriores, se detallará en qué consiste la MEG (Magnetoencefalografía):

Es una técnica que mide campos magnéticos débiles producidos por las corrientes intracelulares de la dendrita de la neurona. La suma de los campos magnéticos fluctúan entre 10.000 a 100.000 neuronas, las que provocan campos con intensidad suficiente para ser medidos en el exterior mediante más de 300 sensores situados a unos 5cm del cráneo (Maestú, 2010). La MEG puede indicar en qué áreas del cerebro participa una función, y también el momento que lo hace en relación a otras áreas (Santiuste & Santiuste, 2008).

Esto tiene como explicación que la actividad cerebral no solo genera campos eléctricos sino que además campos magnéticos, que acompañan a los campos eléctricos generados por la actividad neuronal en regiones específicas del cerebro. La MEG mide la actividad cerebral pero se hace sobre el campo magnético, que se captan a través de bobinas superconductoras especiales. Por lo que los exámenes tienen que realizarse en lugares protegidos magnéticamente (Gento & Sanchez, 2009).

Tiene la característica que son técnicas electromagnéticas que reflejan la actividad cerebral directa en tiempo real. Como por ejemplo, la lectura de una palabra puede ser un estímulo que se aplique desde el exterior, que produce una respuesta sensorial neuronal hacia algunas regiones cerebrales. Esto se traspa a corrientes electromagnéticas que la MEG recoge de la percepción y procesamiento del estímulo.

La repetición de un mismo tipo de estímulo (por ejemplo, listas de palabras) permite evocar campos electromagnéticos semejantes a los grupos neuronales sensibles a ellos (campos evocados magnéticos) (Santiuste & Santiuste, 2008).

Existen ventajas de las técnicas de neuroimagen comparados unas con otras. En el caso de la MEG facilita el registro simultáneo de la actividad cerebral en toda la superficie del cráneo, permitiendo el estudio de la actividad cerebral, espontánea y que se provoca a la localización superficial precisa y en profundidad. Lo que es mejor que el resto de las técnicas no invasivas, porque resolución temporal es mayor, donde la MEG está por debajo del milisegundo. De esta forma se consigue identificar la actividad cerebral no sólo en el momento en que se produce, sino también medir la secuencia temporal posterior tanto en el lugar donde se produce la activación cerebral y al mismo tiempo en el resto del cerebro (Arias & et. al., 2004). Sin embargo, su costo de mantenimiento es altísimo en comparación con la EEG (Gento & Sanchez, 2009)

También se han descubierto utilidades clínicas de la MEG que no están relacionadas con medidas de mecanismos funcionales.

Martino et.al. (2011) le pide a MEG que analice la conectividad funcional de la llamada "red en reposo". La red de estado de reposo se usa para describir la dinámica cortical que se puede observar en ausencia de cualquier tarea. Las regiones funcionalmente conectadas aún se comunican entre sí y se esperan niveles reducidos de conectividad en esta red en muchos tipos de enfermedades y dolencias (Pang, 2011; pág 18)

Desde los estudios que sirven para el entorno educativo, se destaca la importancia de poder detectar anticipadamente de las Deficiencias de Aprendizaje, lo que produce una mayor posibilidad y efectividad en la intervención temprana y los apoyos educativos que requiera más enfocado a los resultados que haya obtenido de los datos de la MEG (Santiuste & Santiuste, 2008).

### **CAPÍTULO III**

## **INVESTIGACIÓN DE IMPLICACIONES EDUCATIVAS GRACIAS A TÉCNICAS DE NEUROIMAGEN**

Las técnicas de neuroimagen han permitido abarcar algunos comportamientos del cerebro y procesos cognitivos que realizan en su mayoría niños, ante el aprendizaje de áreas educativas o de entretenimiento que permiten tanto a padres como profesores conocer qué estrategias educativas potencian el aprendizaje y la memoria. Consolidando un hábito constante para que su cerebro se desarrolle normalmente y logre que la neuroplasticidad provoque cambios neuronales que permiten que se adapten habilidades en los niños y estudiantes adolescentes que le beneficien a su vida. En este apartado se presentarán algunos hallazgos que han realizado algunas técnicas de neuroimagen en el campo de aprendizaje y educación, desde distintas áreas disciplinares.

El aumento de la activación en la corteza prefrontal izquierda en músicos sugiere que el vínculo hipotético entre el entrenamiento musical y el rendimiento matemático también puede estar asociado con un rendimiento mejorado de la memoria de trabajo semántica, relacionado con una resolución de conflicto mejorada. Un estudio reciente de fMRI ha demostrado una activación diferencial en la corteza prefrontal izquierda durante el procesamiento de ecuaciones incorrectas en comparación con las ecuaciones correctas, interpretadas como mantener resultados en la memoria de trabajo mientras se resuelve el conflicto entre la respuesta externa (incorrecta) y la interna, respuesta calculada (correcta). Se esperaría que el entrenamiento musical genere una mayor competencia en este tipo de resolución de conflictos. Por ejemplo, un músico capacitado detectará instantáneamente la ejecución de una nota incorrecta durante una sesión de práctica (Schmithorst & Holland, 2004).

### **3.1 La música y el resultado de su entrenamiento en desarrollo cerebral**

La música siempre ha sido un fenómeno de estudio por los efectos mentales, estudiados o las creencias tradicionales con efectos positivos o negativos de acuerdo al tipo de música o melodías. Desde estudios de fMRI, se ha explicado mediante un estudio de (Le Bihan, Fagan, & Lavender, 2015) que los músicos tienen la música "en su cabeza", ya que la corteza auditiva se activa más en los pianistas por ejemplo que en los no músicos. También que los sonidos reales no son solo escuchados por el oído, sino que también pueden ser "escuchados" por el cerebro de músicos u otros expertos, como los ingenieros de sonido. La fMRI mostró que más abajo en el cerebro, las melodías que se cantan, especialmente cuando se conocen, activan el lado izquierdo del cerebro (pero generalmente también tienen palabras), mientras que el lado derecho se ocupa del sonido de los instrumentos.

### **3.2. Pensamiento y funcionamiento matemático**

El cerebro tiene respuestas para la trayectoria que el niño tiene en el aprendizaje de las matemáticas desde edades tempranas. Por ejemplo, los ábacos han infundido la vida de los niños, a una edad en que la plasticidad cerebral está al máximo, y usan mentalmente el ábaco para el cálculo mental. A medida que manipulan mentalmente las cuentas, fMRI ha revelado activación de su corteza motora en las operaciones de cálculo mental. Aunque cuentan con los dedos, mentalmente imaginan los movimientos en su ábaco, pero lo hacen mucho más eficientemente de lo que lo hacen "con" los dedos que están limitados a diez (Navas, 2016).

En el campo del entrenamiento de la música, se han encontrado hallazgos gracias a estudios de neuroimagen que han demostrado diferencias en los músicos que tienen un aumento del tamaño del cuerpo calloso. En el estudio (fMRI), se mostraron diferencias en las representaciones corticales para una tarea motora, que aportó a la hipótesis de que el entrenamiento musical formal durante el período de desarrollo afectaría los correlatos neurales del procesamiento matemático. El paradigma de la tarea implicó

una combinación de multiplicación, moderada por el lenguaje y los procesos de memoria, y la suma o resta, moderada principalmente procesos visuoespaciales. Donde también se espera que un componente de memoria de trabajo es necesario para retener resultados intermedios. Por lo tanto, los músicos estarían empleando una representación más "abstracta" de números y especialmente fracciones, por lo que se esperaría que empleen procedimientos de cálculo de memoria en menor medida que los no músicos (Schmithorst & Holland, 2004).

### **3.3 Hallazgos de procesamiento en el Lenguaje**

Las comparaciones entre niños y adultos en tareas de lectura han mostrado diferencias. Por ejemplo, Booth et al. (2000 citado en León, 2009) mostraron niños y adultos utilizan la corteza frontal izquierda cuando participan en la lectura silenciosa, pero que los escáneres fMRI de los niños mostraron aumento de los patrones de activación durante la lectura en comparación con los adultos (Van Gog & et. al., 2007).

La neuroimagen funcional también ha supuesto un avance esencial en el estudio del lenguaje, para explorar en una persona consciente la actividad cerebral y relacionarla con tareas que exploran diferentes aspectos del lenguaje. Lo que ha permitido re-evaluar las teorías clásicas del lenguaje. Hoy se conocen áreas cerebrales que participan en el procesamiento de distintos aspectos del lenguaje: áreas temporales basales y mediales en los aspectos semánticos, y otras áreas frontales en los aspectos sintácticos. En cuanto al lenguaje escrito, el área del lóbulo occipital es responsable del reconocimiento visual de letras y palabras, como las zonas parieto-temporo-occipital y áreas del lóbulo temporal que participan en asociaciones entre información visual, auditiva, reconocimiento de palabras, entre otros (León, 2009).

En un estudio de laboratorio, el investigador y pediatra John Hutton (2018) en el Hospital de Niños de Cincinnati, abarcó lo llamado "alfabetización emergente": proceso de aprender a leer. Donde realizó un estudio, con 27 niños de alrededor de 4 años que entraron en una máquina fMRI. A quienes se les presentaron historias en tres condiciones: la primera presentada como solo audio; la segunda con páginas ilustradas

de un libro de cuentos acompañada de una voz en off de audio; y como tercera condición presentado con una caricatura animada. Mientras los niños prestaban atención a las historias, la resonancia magnética (RM), escaneó la activación dentro de ciertas redes cerebrales y la conectividad entre las redes.

“Entramos en él con una idea en mente de qué redes cerebrales podrían estar influenciadas por la historia”, explica Hutton (Traducción propia, 2018).

Una parte del estudio era para investigar el lenguaje, otro para la percepción visual, y el tercero sobre las imágenes visuales. El cuarto se basaba en una red de modo predeterminado, llamado, “el asiento del alma, reflexión interna”: es decir, cómo algo le importa al individuo (Hutton, 2018).

Los resultados fueron: en la condición de solo audio las redes de idiomas se activaron, pero en general con menos conectividad. En la condición de animación había mucha actividad en las redes de percepción de audio y visual, pero no mucha conectividad entre las diversas redes cerebrales. Cuando los niños podían ver ilustraciones, la actividad de la red de idiomas disminuyó un poco en comparación con la condición de audio. En lugar de solo prestar atención a las palabras, la comprensión de la historia por parte de los niños quedó "anulada" al tener las imágenes como pistas. Con la animación, todo se presenta al mismo momento y no tienen que hacer mucho trabajo de comprensión. Por lo que una preocupación de los investigadores, es que a largo plazo, los niños que están expuestos a demasiada animación estarán en riesgo de desarrollar una integración insuficiente (Hutton, 2018).

Sobre el “el asiento del alma, reflexión interna”, los niños están haciendo más trabajo de lo que parece. La condición de historia con ilustraciones no era tan buena como leer en el regazo de mamá o papá. Por lo que hace falta la unión emocional y la cercanía física. Además agregan que se sugiere que cuando los padres recurren a dispositivos electrónicos para niños pequeños, deben trasladarse hacia versiones más simplificadas de un libro electrónico narrado e ilustrado, en lugar de solo audio o animación (Kamenetz, 2018).

### **3.4 Procesos de aprendizaje de metacognición**

Se cree que durante el aprendizaje se hace un monitoreo que incluye pensamientos de que aportan a verificar la comprensión y hacer juicios, parte de la metacognición. Eso tiene como consecuencia que cuando los estudiantes sienten que no comprenden algo, buscarán formas de corregir sus errores y evaluarán por qué ocurrió el error. Los llamados mecanismos de señalización o retroalimentación sirven para verificar la comprensión durante el aprendizaje. Por ejemplo, un profesor que les dice a los estudiantes que su respuesta matemática es incorrecta, es ahí donde intentarán cambiar sus acciones para corregirlos. A veces esto significa adoptar una estrategia completamente nueva, o simplemente adaptar los pasos dentro de una existente.

Desde la neurociencia cognitiva, la metacognición es un pensamiento de orden superior, que también puede denominarse control ejecutivo. Control ejecutivo representa una serie de funciones que incluyen atención, resolución de conflictos, detección de errores y control inhibitorio, como la capacidad cognitiva de suprimir respuestas dominantes, a cambio de una respuesta más apropiada (Fernandez-Duque, Baird, & Posner, 2000)

La resolución de conflictos es una de las competencias que requiere el estudiante para su formación académica en el siglo XXI, relacionada con la metacognición que se visualiza cuando los alumnos intentan comprender las actividades y las retroalimentaciones (interna o externa) que reciben.

Se han realizado estudios de fMRI con el Test Stroop donde se pide a un individuo que nombre una palabra de color, que a menudo se usan para estudios de neuroimágenes para resolución de conflictos, donde se manifiesta la capacidad de control ejecutivo. En el test, las palabras de color tienen tinta en ese mismo color (congruencia) y en las mismas palabras de los colores impresas en diferentes colores (incongruencia). Cuando el color de la tinta y la palabra de color son incongruentes, se han encontrado patrones de activación consistentes en áreas comunes involucradas en la resolución de conflictos (Van Gog & et. al., 2007).

### **3.5 Implicaciones de EEG en estudio de Trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH)**

Parte de trastornos que inciden en el Control ejecutivo e inhibitorio es el trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH), que es un trastorno de la conducta con una base neurobiológica. Se caracteriza por un desarrollo crónico de diferentes grados de inatención, impulsividad y de hiperactividad, por lo que es un problema psiquiátrico que afecta a los niños en edad escolar, siendo asimismo originario de graves disfunciones personales para el propio niño, pero también para la familia, la escuela y la sociedad (Quintero, Navas, Fernandez, & Ortiz, 2009).

La utilización de neuroimagen desde EEG ha jugado históricamente un rol importante en la evaluación del funcionamiento neural en niños con TDAH. Se ha considerado el registro con EEG con los ojos cerrados como el más exacto, debido a la menor interferencia de artefactos por movimientos de ojos. Y otros registros de EEG han sido a través de cuatro contextos: mirar un punto fijo, leer, escuchar y dibujar las figuras del Test de Bender-Gestalt. Donde sus resultados mostraron que la ratio theta/beta, en la tarea de dibujar, era más elevada en comparación con las demás condiciones (Ortiz & Moreno, 2015).

Por su parte, la fMRI ha aportado al conocimiento del TDAH con hallazgos sobre alteraciones en el cíngulo anterior, que también es denominado “división cognitiva” crucial para la atención, cognición, control motor y toma de decisiones basadas en la recompensa. Sin embargo, otros estudios realizados con fMRI no permiten discriminar en qué momento del procesamiento cognitivo de los controles, empieza a diferir la activación cerebral de niños con TDAH. Para visualizar esto podrían resultar más útiles técnicas con mayor resolución temporal como la MEG. Aunque existen pocos trabajos que estudien el funcionamiento cerebral de niños diagnosticados de TDAH desde la perspectiva de la MEG (Quintero, Navas, Fernandez, & Ortiz, 2009).

## CONCLUSIONES

Las enfermedades y preguntas sin respuestas acerca de lo que pasa en el cerebro, en áreas específicas no tenían apertura de encontrar información si no fuera por la aparición de la neuroimágenes que se crearon gracias al encuentro de energía nuclear. Los científicos encuentran tipos de aplicación que no solo ha sido de beneficio para el estudio del cerebro sino que para distintas patologías en todo el cuerpo humano. Al inicio los estudios indicaban algunos procesos y actividad cerebral en individuos que están en reposo. Sin embargo, con la resonancia magnética funcional, los hallazgos permitieron abrir el campo de las Neurociencias cognitivas para permitir visualizar lo que pasa en el cerebro por mientras el individuo está realizando una tarea, o recibe estímulos externos. El proceso de creación de las tecnologías de neuroimagen fueron presentadas en el primer capítulo de este informe que se enlaza con el primer objetivo de “Reconocer el contexto histórico y evolutivo de donde el funcionamiento del cerebro es investigado con tecnologías no invasivas como neuroimagen”.

Las neuroimágenes son extraídas con diferentes tecnologías que leen tanto la electricidad que emana de la actividad cerebral, o el magnetismo del cuerpo: la electroencefalografía, la Tomografía, la Magnetoencefalografía, la resonancia magnética y la resonancia magnética funcional. Cada una de ellas provee de información de manera más exacta o con diferentes características, donde los resultados son representados de una manera gráfica entendible tanto para aplicar diagnósticos como para el apoyo en interpretación del paciente. Estas tecnologías también han ayudado a comprender cuáles son las áreas cerebrales que se activan cuando un individuo hace alguna tarea, lo que ha contribuido al estudio de estímulos que aportan a aprendizaje en etapas de neurodesarrollo del niño. Lo que apoya el segundo objetivo de “Determinar los tipos de tecnologías de neuroimagen que abren el campo de conocimiento de funcionamiento del cerebro y desarrollo cognitivos”.

Las investigación de neurociencias cognitivas tiene un aporte directo a comprender cómo los entornos escolares y los tipos de estrategias que se utilizan en la enseñanza puede mejorar los procesos de aprendizaje. También la disciplina puede entregar bases

que si se aplican en el currículum pedagógico puede aumentar la disposición del niño al aprendizaje, como es el caso de entrenamiento de idiomas, música y cómo inciden en aumentar la capacidad de resolver problemas, de crear historias o narraciones de mayor habilidad, y donde la neuroplasticidad y la continuidad de esa práctica puede ayudar a moldear un cerebro creativo. Esto se presentó como tercer objetivo de “Presentar evidencias de funcionamiento del cerebro y procesos mentales extraídos desde las técnicas de neuroimagen en cuanto aprendizaje en contextos escolares”.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaraz, V. (2001). *Texto de neurociencias cognitivas*. Mexico D.F: UNAM.
- Arandes, J. (2013). El análisis de contenido como herramienta de utilidad para la realización de una investigación descriptiva. Un ejemplo de aplicación práctica utilizado para conocer las investigaciones realizadas sobre la imagen de marca de España y el efecto país de origen. *Provincia*(29), 135-173.
- Araya, G., & Falcon, C. (2015). Control de calidad en imagen por resonancia magnética: Evaluación de parámetros de calidad en protocolos de neuroimagen. *Revista Chilena de Radiología*, 21(1), 10-17.
- Arias, J., & et. al. (2004). *Cuaderno de Practicas en Neurociencias*. Universidad de Oviedo.
- Biblioteca Nacional de Medicina de los EEUU. (13 de Marzo de 2019). *Midlineplus.gov*. Obtenido de Tomografía por emisión de positrones (TEP) del cerebro: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/007341.htm>
- Borrajo, J., & Cabrera, F. (2010). Tomografía por emisión de positrones (PET): fundamentos y limitaciones tecnológicas. *Arch Soc Esp Oftalmol*, 85(94), 129-130.
- Buxton, R. (2009). *Introduction to Functional Magnetic Resonance Imaging: Principles and Techniques*. Cambridge University Press.
- Carter, M., & Shieh, J. (2015). *Guide to Research Techniques in Neuroscience*. Oxford: Elsevier.
- Carter, M., & Covey, E. (2015b). *Basic Electrophysiological Methods*. New York: Oxford University Press.
- Cohen, J. (2017). Computational approaches to fMRI analysis. *Nat Neurosci*, 20(3), 304–313.

- Fernandez-Duque, D., Baird, J., & Posner, M. (2000). Executive Attention and Metacognitive Regulation. *Consciousness and Cognition*, 9(2), 288-307.
- Garcia-Alix, A., & Quero, J. (2012). *Estudios complementarios: Evaluación neurológica del recién nacido*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Gento, S., & Sanchez, E. (2009). *Bases Neurológicas Y Psicopedagógicas Del Tratamiento Educativo de la Diversidad*. Madrid: Editorial UNED.
- Gu Ji, Y., & Choi, S. (2014). *Advances in Affective and Pleasurable Design*. United Stated of America: AHFE Conference.
- Hutton, J. (2018). Goldilocks Effect? Illustrated Story Format Seems ‘Just Right’ and Animation ‘Too Hot’ for Integration of Functional Brain Networks in Preschool-Age Children. *Platform and expert panel. Reach Out and Read national leadership conference*. Cincinnati.
- Kamenetz, A. (2018). *Story?, What's Going On In Your Child's Brain When You Read Them A Story?* Recuperado el Mayo de 2020, de NprEd: <https://www.npr.org/sections/ed/2018/05/24/611609366/whats-going-on-in-your-childs-brain-when-you-read-them-a-story>
- Lafuente, J., García, M., & Hernando, A. (2020). La imagen por resonancia magnética: sus fundamentos. *Revista Española de Física*, 31(1), 17-24.
- León, J. (2009). Neuroimagen de los procesos de comprensión en la lectura y el lenguaje. *Revista Nebrija de Lingüística Aplicada*, 7(4), 99-116.
- Maestú, F. (2010). LOS PROCESOS COGNITIVOS Y SU ESTUDIO EN CLAVE TECNOLÓGICA: EL CASO DE LA MAGNETOENCEFALOGRAFÍA. *UAM. Departamento de Medicina*.
- Megino, E., Martín-Lobo, P., & Vergara, E. (2016). Influence of eye movements, auditory perception and phonemic awareness in the reading process. *Journal of educational research*, 567-573.
- Mulert, C., & Lemieux, L. (2009). *EEG - fMRI: Physiological Basis, Technique, and Applications*. London: Springer Science & Business Media.

- Navas, F. (2016). Neuroimagen en adolescentes con talento matemático. *UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID FACULTAD DE MEDICINA Departamento de Fisiología*, 1-128.
- Ortiz, A., & Moreno, I. (2015). Perfil electroencefalográfico de niños con TDAH. *Revista de Psicología Clínica con Niños y Adolescentes*, 2(2), 129-134.
- Poldrack, R., Mumford, J., & Nichols, T. (2011). *Handbook of Functional MRI Data Analysis*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Quintero, J., Navas, M., Fernandez, A., & Ortiz, T. (2009). Avances en el trastorno por déficit de atención e hiperactividad. ¿Qué nos aporta la neuroimagen? *Actas Esp Psiquiatr*, 37(6), 352-358.
- Rubio, J., & Esparza, R. (2016). ¿Qué es Tecnología? Una aproximación desde la Filosofía: Disertación en dos movimientos. *Revista humanidades*, 6(1), 1-43.
- Van Gog, T., & et. al. (2007). Explorations in Learning and the Brain: A Quick Scan of the Potential of Neuroscience for Education. *NWO/PROO*, 1-50.
- Tatum, W. (2014). *Handbook of EEG Interpretation, Second Edition*. Florida: Demosmedical.

## REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

- Wikipedia (2019) Potencial relacionado con evento , Recuperado en [https://es.wikipedia.org/wiki/Potencial\\_relacionado\\_con\\_evento](https://es.wikipedia.org/wiki/Potencial_relacionado_con_evento)