

# ANÁLISIS DE ALGORITMOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE SEÑALES CEREBRALES EEG

Este obra está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).



*Carlos Andres Garcia Herrera, carlos.garcihe@campusucc.edu.co*

**Abstract**—. As technology advances, it is essential to find new techniques and procedures that facilitate our understanding of the functioning of our human brain, which is in charge of managing all the nervous part of our human body. This article aims to present the summary of the study of more than 30 researched articles published between 2009 and 2019, where the algorithms and procedures most used when studying the signals created by the electricity of our human brain will be mentioned.

**Keywords** —. EEG, Electrodo, Frecuencia, BCI, Hertz, Algoritmo, FI, TFD, DE.

## I. INTRODUCCION

El electroencefalograma es un método no invasivo de investigación del sistema nervioso central (SNC) o en otras palabras es el registro de la actividad eléctrica del encéfalo, el cual ya es usado hace bastantes años desde su descubrimiento en 1924 por el alemán Hans Berger. Este sistema es una de las medidas más sofisticadas sin embargo indirectas de medir algunos potenciales eléctricos que están presentes en la corteza cerebral. Las ondas EEG han sido estudiadas para muchos fines científicos, dentro de ellos se destacan los fines médicos, ya que, mediante el estudio de estas señales, se puede llegar a determinar enfermedades antes de que sean graves para la salud humana.

La forma más común de estudiar estas señales eléctricas cerebrales es mediante interfaces cerebro-computadora (BCI). Mediante electrodos conectados en la parte superficial del cuero cabelludo, será la forma de detectar la mayoría de los impulsos eléctricos, los cuales se encuentran en el extracto piramidal de la corteza cerebral. Al igual que en otros métodos indirectos de cuantificar la actividad eléctrica del alguna otra parte del cuerpo, como por ejemplo la electromiografía para detectar el trabajo eléctrico en ciertos grupos musculares, es necesario tener una unidad para expresar los voltajes que detectan los electrodos, en nuestro caso las unidades en electricidad que emite nuestro cerebro son los Microvoltios, y la interfaz (Computadora) lo registra por medio de Hertz (frecuencia). Dependiendo de la frecuencia que tengamos entre una onda y otra si las comparamos, podremos

categorizarlas como ondas lentas (Theta), otras que pueden ser más rápidas como ondas alfa, Beta o gama de 600 puntos en frecuencia. Determinar las ondas que están cursando en un paciente con cierta actividad cerebral dependerá de muchos patrones variables, como por ejemplo si el paciente está profundamente dormido, sedado, consciente etc. Las señales eléctricas cerebrales que se registran en la interfaz (computadora) tienen que ser procesadas y analizadas mediante algoritmos con el fin de que visualmente tengamos la posibilidad de entender y comprender lo que está ocurriendo al interior del cerebro humano. En este artículo se investigaron varios algoritmos que se usaron en algunos artículos científicos, en donde fueron usados para la investigación de videojuegos, medicina, investigación militar entre otros.

La fuente de la señal eléctrica inicia en las células piramidales de la corteza o córtex cerebrales, cada una es un pequeño dipolo eléctrico, cuya polaridad depende del impulso a la célula sea inhibitorio o excitatorio. Para registrar estas señales eléctricas para cada región cerebral, se debe hacer a través de electrodos que son puestos en el cuero cabelludo (EnasKhairullah,2020).

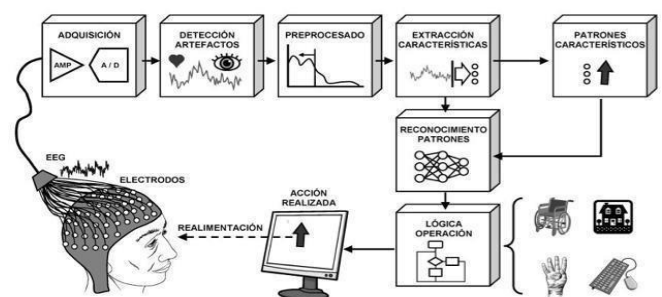


Imagen tomada de (Egea, 2015)

Este método no es invasivo y es el más usado frecuentemente para recoger y registrar las señales eléctricas del cerebro. Estos electrodos captan la diferencia de potencial entre ellos y estas señales son enviadas a través de los cables conectados al aparato electrónico PC quien será el encargado de analizarlos mediante los algoritmos o algoritmo que se tenga en su momento para entender el funcionamiento del cerebro estudiado.

Como lo mencionamos con anterioridad las interfaces cerebro-computadora (BCI) son capaces de establecer un sistema de comunicación entre nuestro cerebro y el medio ambiente, lo que hace posible controlar los dispositivos con las señales de nuestro cerebro. Tal derivación requiere el monitoreo de la actividad cerebral, que comúnmente se logra usando electroencefalografía (EEG) debido a su portabilidad, no invasividad y bajo costo en algunos sistemas.

Los estudios han demostrado que múltiples regiones están activas en el cerebro a partir de un estímulo, y son captados por procedimientos muy comunes y usados tales como 10-20, 10-10 utilizados para registrar toda la superficie, esto ya posee un estándar ya establecido. Cada punto determinado en la corteza cerebral se nombra de acuerdo con un canal y se nombra de acuerdo con la región del cerebro (Central - C, Temporal - T, Frontal - F, Parietal - P, Occipital - O). Los electrodos en el hemisferio izquierdo están numerados con números impares y los electrodos en el hemisferio derecho están numerados con números pares, (Martinez-Cagigal, 2019). Desde hace años atrás se ha usado fundamental el estudio de las ondas EEG en el estudio de enfermedades humanas, entre la que más se destaca es le Epilepsia, ya que se ha evidenciado que cuando una persona presenta un ataque de esta enfermedad, resultan desordenes cerebrales, y estos se han podido evidenciar en varios estudios como el descrito en, (Fürbass, Kural, Gritsch, Hartmann, & Kluge, 2020). La causa más común para realizar un EEG es el diagnóstico y control de los trastornos convulsivos, estos también pueden ayudar a identificar las causas de problemas como los trastornos del sueño y los cambios de conducta. Los EEG se usan, en algunos casos, para evaluar la actividad cerebral después de una lesión en la cabeza o antes de un trasplante de corazón o hígado. En otros usos que se han evidenciado el análisis de las ondas EEG es cuando un ser humano presenta obstáculos físicos que lo inmovilizan por completo, como la Enfermedad de la Neurona Motora (o Esclerosis Lateral Amiotrófica - ELA) o el Estado Completamente Enclaustrado (CLIS), (Martinez-Cagigal, 2019) el individuo tiene dificultades para moverse y comunicarse socialmente. Las interfaces (BCI) intervienen con el desarrollo de la tecnología informática para permitir que los seres humanos con estas limitaciones se comuniquen con su entorno. Hoy en día el nivel de accesibilidad a los celulares ha permitido que personas de bajos recursos accedan a un BCI que contenga este tipo de aparatos electrónicos los cuales podrán manejar o hacer algún tipo de acción según lo requiera la persona mediante las ondas emitidas en la corteza terrestre y examinadas por el BCI, la cual contiene el Smartphone. Las BCI transforman la actividad eléctrica tomada del individuo y la convierten en movimiento o texto dependiendo el algoritmo que se está usando, hoy en día se están usando Smartphones en los BCI.

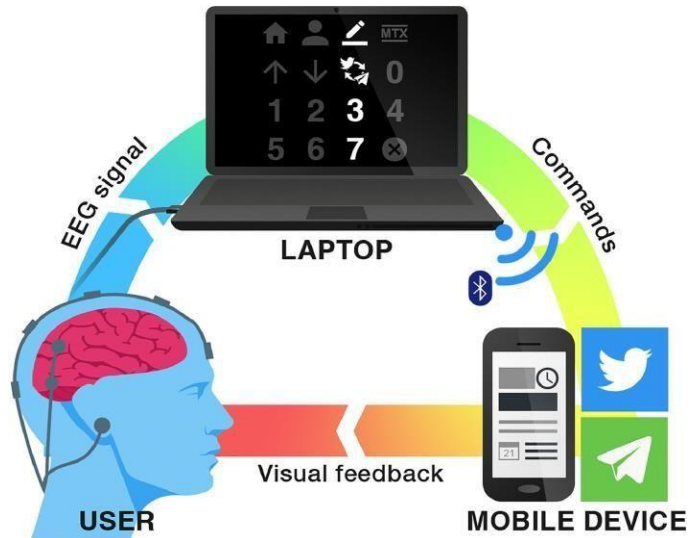


Imagen tomada de (Martinez-Cagigal, 2019).

"Los algoritmos de aprendizaje computacional son utilizados para aprender una función de inferencia a partir de dicha información, y los algoritmos ya entrenados pueden decodificar las señales de EEG en comandos a ejecutar por un dispositivo electromecánico. Algunas de las aplicaciones más comunes de la investigación en BCI están dirigidas a asistir a las personas con discapacidad motriz severa", (Gomez, 2017).

Este artículo tiene como finalidad verificar los algoritmos más estudiados y usados en la actualidad para tomar las señales EEG captadas por los electrodos puestos en la corteza cerebral de los pacientes. Se estudiaron artículos pertenecientes a la medicina, videojuegos, escritura, análisis de tipo militar (La Marina), entre otros. Algunos de los algoritmos son mejoras de algoritmos ya diseñados en años anteriores, estos nuevos tiene la capacidad de analizar señales más complejas que los algoritmos anteriores no pueden, lo que ayuda a entender con más exactitud algunas señales pequeñas que el cerebro emite a la hora de realizar alguna acción, y que hasta entonces no podemos entender y analizar. Este artículo presenta una breve revisión de otros artículos recopilados en nuestra bibliografía, que involucran el uso de distintos algoritmos para evaluar las señales EEG.

## II. TRABAJO RELACIONADOS

El Análisis se hará con base a la recopilación de más de 20 artículos, en los cuales tienes estudios en la medicina, en los videojuegos, en el sector militar, entre otros. En la Tabla que se mostrara en la siguiente hoja, tendrá como resumen el análisis de varios algoritmos usados en los artículos recopilados, el cual se evidenciara con análisis en países como México, China, Taiwán, España, India, Corea, Croacia, Dinamarca y Brasil.

Nº	Autor	Título	País	Tipo Aplicación Egg	Tipo de Sensor Usado	¿Cómo Validaron?	Algoritmo Usado	Resultado	Otros Para completar
1	Lerga & Saulig, 2017	Algoritmo basado en la entropía de Rényi a corto plazo y la estimación de FI para análisis de señales EEG ruidosas	CROACIA	Se uso para Movimiento de extremidades	Electrodos	Realizando movimientos de la mano derecha, pierna izquierda y derecha en ambientes ruidosos y no ruidosos	Modificación a la "entropía de Rényi" con análisis de EEG en el dominio de tiempo-frecuencia con algoritmo basado en STRE iterativo y actualizado por la estimación de FI.	Mejoro el sistema de detección de señales EEG ya que funciona correctamente en ambientes de poco ruido y en ambientes de ruido moderado.	Este estudio muestra potencial para mejorar el diagnóstico y tratamiento de trastornos neurológicos para pacientes con enfermedades de control motor
2	Fan, Zhang, Blanco-Davis, Yang, & Wang, 2018	Efectos de las emociones de la gente de mar en el desempeño humano mediante la simulación de puentes	CHINA	Identificar las emociione que tienen cada persona que trabaja en el mar	Auricular Inalámbrico EEG y Simulador de puente	En un simulador de navegación, varios marineros se sometieron a distintas estimulaciones sonoras y visuales en el mar, las emociones que registraron se extrajeron mediante el Auricular EEG	Algoritmo Bioinformático	Se tuvo como resultado en el estudio que Aprox, el 8% de los marines podrían tener acciones negativas de acuerdo a los estímulos expuestos	En este estudio no se propuso algún algoritmo nuevo, se manejaron algoritmos de aprendizaje ya estipulados
3	PARK, YU, CHUM, & LEE, 2017	Característica simétrica para interpretar señales de EEG de imágenes motoras en la interfaz cerebro-computadora	COREA	Clasificar las imágenes motoras de EEG para las imaginaciones de movimiento de la mano izquierda, la mano derecha y el pie derecho	Electrodos	A varios sujetos sentados en una silla, se les pidió que imaginaran movimientos de la mano izquierda y derecha, así como del pie derecho.	Algoritmo CSP- Algoritmo de aprendizaje de Perceptrón PLA	Se identifico que el modelo propuesto era más bajo en términos de potencia que el CSP pero era mucho mejor al combinarlo con el CSP	Este modelo podría ser usado para investigaciones en la creación de prótesis Biónicos para el ser humano
4	KHAIRULLAH & ARICAN, 2020	Diseño del sistema de ortografía de interfaz cerebro-computadora a partir de señales de electroencefalograma con algoritmos de selección de canales	TURQUIA	Sistema de ortografía que transforma las actividades cerebrales obtenidas con las señales de EEG en escritura	Electrodos	Se les presento letras y palabras a distintos pacientes con el fin de que las imaginaran y así poder generar pensamientos de letras, estas señales fueron las que se tomaron para e estudio	Algoritmo Genético, Algoritmo de Optimización de enjambres de partículas binarias, 2 algoritmos de clasificación: máquina de vectores de soporte de mínimos cuadrados (LS-SVM) y el análisis discriminante lineal (LDA)	Los resultados evidenciaron que al disminuir el número de canales por los métodos de optimización aumenta el rendimiento en la clasificación. Además, los tiempos de entrenamiento y prueba de clasificadores se han reducido considerablemente	Este estudio tiene un gran impacto sobre todo para las personas con discapacidades, ya que da oportunidades de desarrollo ya se de extremidades para que se pueda manejar con el cerebro.
5	FÜRBASS, KURAL, GRITSCH, HARTMANN, & KLUGE, 2020	Un algoritmo de EEG basado en inteligencia artificial para la detección de descargas epileptiformes de EEG: validación frente al estándar de oro de diagnóstico	DINAMARCA	Detección de anomalías cerebrales en pacientes con epilepsia y para uso de visión artificial	Electrodos	Se usaron pacientes con epilepsia y pacientes sin epilepsia, con el fin de capturar las señales eléctricas que producían en ciertos rangos de tiempo, con el fin de analizarlas mediante los algoritmos.	Algoritmo basado en inteligencia artificial, basado en aprendizaje profundo para la detección de DE	En la detección de imágenes demostró una gran precisión, obtuvo una sensibilidad de detección del 89%	Se puede concluir que este artículo tendrá gran impacto la hora del estudio y manejo en pacientes con síndrome de epilepsia, ya que puede ayudar a reducir el tiempo de evaluación

6	MARTINEZ-CAGIGAL, 2019	Hacia un uso accesible de las redes sociales basadas en teléfonos inteligentes a través de interfaces cerebro-computadora	ESPAÑA	Interfaz cerebro-computadora asincrónica basada en P300 para la comunicación en redes sociales, para personas con discapacidades motoras	Electrodos	Mediante un celular en frente y por medio del parpadeo realizaban acciones, como escribir, abrir un chat, subir y bajar la pagina	Algoritmo SWLDA	Se obtuvieron resultados positivos en las pruebas, pero al necesitar de un PC para el análisis, se pierde la portabilidad, tampoco fue posible probar este diseño en la vida real lo que pone en duda sobre la efectividad de su funcionamiento, pero puede ser una gran base para futuros estudios en la inclusión de Smartphones en la detección de Ondas EEG, esto conlleva a tener otra visión para próximos estudios basados en EEG con Smartphones	Al ser un estudio el cual puede catalogarse como uno de los que están incursionando con Smartphone, podemos inducir que, basándonos en este, en años futuros podemos desarrollar nuevos algoritmos y herramientas asequibles y portables para personas con discapacidades
7	VASILJEVIC, 2019	La influencia de los elementos gráficos en la atención y el control del usuario en un juego basado en neurofeedback	BRASIL	Interfaz Cerebro - Computadora para verificar el funcionamiento de las ondas cerebrales al jugar Mental War	Auricular EEG de NeuroSky MindWave	Conectaron el auricular al paciente, el cual debería jugar en contra de la máquina, si la concentración del paciente era alta, le daría puntos y atraería a su oponente a la línea central, adicionalmente por los parpadeos recibía bonus adicionales, también se usó con dos pacientes para que se enfrentaran entre si	Algoritmo eSense	Se evidencio que tuvo un efecto positivo en la atención que lograron los pacientes, después de la 3 partida, pero no se logró una mejora sobre el control del juego, aunque con un mayor grado de dificultad en el juego se evidencio que los pacientes aumentaron considerablemente la atención con respecto a los niveles más fáciles	Este estudio puede ser usado para el mejoramiento de atención en niños a temprana edad, ya que se evidencio que después de tres partidas la atención de los pacientes aumento considerablemente, lo que da un desarrollo positivo
8	RAJ & DEB, 2018	Sistema de comando y señalamiento omnidireccional de una sola tecla con interfaz de computadora cerebral: una interfaz de señalamiento en pantalla para personas con capacidades diferentes	INDIA	Diseño BCI para personas con discapacidades motoras	Auricular EEG de NeuroSky MindWave	Con el auricular puesto, se intentó que los pacientes por medio de parpadeos, pudiera borrar, escribir mensajes, todas las señales enviadas fueron capturadas por medio del Auricular EEG	Algoritmo NeuroSky en JAVA (filtro)	Se evidencio que el BCI desarrollado tiene un potencial enorme a largo plazo, ya que los pacientes lograron escribir letras y realizar las acciones propuestas en el estudio, lo que abre la posibilidad de asequibilidad a BCI de menor costo con alto nivel de funcionalidad para personas con discapacidades motoras	Cada vez estamos mas cerca de crear dispositivos BCI para los cuales pueda acceder cualquier tipo de persona, ya que, con la reducción de costos y elementos, los BCI se hacen mas asequibles y mejor diseñados para personas con algún tipo de discapacidad nerviosa o motora.
9	(Das, 2009)	Algoritmo paralelo para analizar las señales cerebrales: aplicación sobre picos epilépticos	INDIA	Análisis de señales EEG en roedores para uso sobre picos epilépticos	Electrodos Invasivos	Se incrustaron electrodos en el cráneo de las ratas, se les inyectó Penicilina benfílica para producir ataques epilépticos similares a los del ser humano, por medio de los electrodos se analizó el comportamiento cerebral de las ratas cuando presentan las convulsiones	Algoritmo Paralelo escrito en Message Passing Interfaz (MPI)	Se evidencio que al usar dentro del BCI un pc que funciona paralelo, aumento la velocidad de análisis de las señales EEG, al verificarlos con las ratas se puede concluir que el BCI junto con el algoritmo puede ser usado en tiempo real, en pacientes en la vida real y con trastornos nerviosos como la Epilepsia, la cual fue la enfermedad analizada en el artículo	En este estudio se evidencio el uso de la PC en paralelo, ya que en anteriores estudios se usaron equipos con un único procesador, al tener una computadora con funcionamiento en paralelo, mejora la velocidad y análisis de las señales recibidas por los EEG

10	S. M. FERNANDEZ-FRAGA, 2018	Extracción de características de la señal EEG en sistemas BCI, Basado en potenciales evocados visuales en estado estable usando el algoritmo de optimización de colonias de hormigas	MEXICO	Método de optimización de señales para la extracción de información en EEG	Electrodos	Se le solicito a varias personas sentadas, que prestaran atención visual a varios cuadros de distintos colores que se registraban al frente de ellos en una pantalla LCD, adicionalmente se analizó el camino que tomaban las hormigas cuando expulsaban las feromonas	Algoritmo de inteligencia de enjambre (Optimización)	Este método puede influir en muchas etapas del procesamiento de las señales EEG adquiridas, ya que tiene un alto grado de aprendizaje según el algoritmo de optimización usado	Este estudio tiene gran relación con el estudio de personas con falta de atención, ya que se evidencia un aprendizaje con mayor rapidez a la hora de realizar las pruebas con adquisición de las señales.
11	LIN, 2018	Detección de esfuerzo mental utilizando datos de EEG en contextos de e-learning	TAIWAN	Sistema para capturar y etiquetar los estados mentales de un usuario mientras mira videos en línea	Auricular EEG de NeuroSky	Mientras los usuarios ven videos en YouTube, el auricular detecta las ondas por cada estado de ánimo que siente según cada paciente.	3 algoritmos de aprendizaje: árbol de decisión, SVM y ANN	Se evidencia que el rendimiento en temas de clasificación de emociones fue significativamente más alto que estudios anteriores, por lo cual se aconseja usar el clasificador de árboles de decisiones para clasificar emociones y para detectar los esfuerzos mentales de los estudiantes mientras aprenden	Este estudio es de gran importancia para evidenciar el aprendizaje en la vida real ya que mediante los algoritmos usados se pudo evidenciar con rapidez los estados de ánimo que generaron los videos en los pacientes, así podemos validar el aprendizaje que tienen en la vida real en aprendizajes en línea.
12	DAMODAR REDDY EDLAL, 2018	Clasificación de los datos de EEG para el análisis del estado mental humano mediante el clasificador de bosque aleatorio	INDIA	Sistema para predecir estados mentales como concentración y meditación	Auricular EEG de NeuroSky	Se le solicito a pacientes que resolvieran un problema matemático para capturar el estado de atención, posteriormente debían cerrar los ojos y relajarse para capturar el estado mental relajado	Clasificador aleatorio de bosques	Se encontró que la precisión para clasificar estados de ánimo está en el 75%, la cual es poco menor a varios estudios que se tienen en la actualidad los cuales tienen precisiones del por encima del 85%	Se uso un algoritmo similar al árbol de decisión, pero se obtuvo un rendimiento menor al esperado, aproximado en 75% de precisión
13	RENSONG LIU, 2017	Identificación de señales de imágenes motoras anisómicas EEG basadas en algoritmos complejos	CHINA	Método para analizar movimientos imaginativos de la mano izquierda, el pie derecho, el hombro derecho, y el estado de reposo	Electrodos	Los pacientes debían realizar movimientos imaginarios con la mano izquierda, el pie derecho, el hombro derecho, y el estado de reposo	Algoritmo de patrón espacial común regularizado (R-CSP), Algoritmo wCCA (examinador), Algoritmo método KNN-SVM	Arrojo como resultado el reconocimiento de los cuatro movimientos solicitados, teniendo una exactitud de reconocimiento del 87%	Se identifico que el modelo propuesto es mejor que el CSP usando en anteriores estudios
14	(GOMEZ, 2017)	Análisis de señales de electroencefalografía EEG para evaluar actividad cognitiva durante el uso de videojuegos	ESPAÑA	Análisis de la actividad cerebral cuando intervienen los videojuegos	Electrodos	Se lo solicito a varios participantes, jugar algunos videojuegos establecidos, esto con el fin de recoger información a media que interactuaban con dichos videojuegos	Algoritmo mejorado Synchronization Likelihood y árbol de decisión	No se logro un claro análisis con el fin de clasificar patrones similares en los jugadores, ya que todos tenían reacciones muy distintas, no se tiene ningún patrón parecido entre los jugadores	Este estudio puede de gran avance para futuros estudios en verificación de estados mentales en los videojuegos
15	BARÓN, 2011	Reconocimiento de Imaginación Motora de Señales EEG en el Dominio Temporal aplicando Modelos Paramétricos	MEXICO	Análisis de imaginación de la mano derecha e izquierda	Electrodos	Mediante estimulación visual se recogen la distinta información que arroja, esta información se recoge mediante los electrodos	Algoritmo con modelos Autorregresivos (AR) y Autorregresivos Adaptables (AAR), Algoritmo de Levinson-Durbin, Algoritmo de Burg, algoritmo LMS	Se verifco que el modelo AAR es mejor que el AR ya que extrae más características en las señales adquiridas, lo que influye en mejor información sobre las señales EEG	El uso del algoritmo modificado AAR puede ya ser usado en BCI online

1. ALGORITMO BASADO EN LA ENTROPÍA DE RÉNYI A CORTO PLAZO Y LA ESTIMACIÓN DE FI PARA ANÁLISIS DE SEÑALES EEG RUIDOSAS

En este estudio podemos ver una mejoría en la “entropía de Rényi” (Michel, 2001), ya que esta tiene la falencia en el reconocimiento señales de EEG, ya que provocan cambios en el reconocimiento en los casos de ruido intenso que corrompe los registros de EEG, para atacar este inconveniente deben complementarse con métodos de procesamiento de señales asistidos por computadora. Este estudio presenta una gran estabilidad en el método, cuando se cambian el FI hasta niveles de ruidos moderados, pero hay que tener en cuenta que si el ruido ya es intenso se deben usar otros TFD los cuales tengan interferencia reducida computacional robusta, como también adaptables para mejorar el nivel de la señal en la resolución en Tiempo-Frecuencia. Los componentes obtenidos en señales y la estancación de los IF de todos los componentes, dieron un gran resultado, ya que arrojaron información para uso clínico sobre las actividades y de su control motor, lo que ayudara a mejorar el diagnóstico y futuro tratamiento de enfermedades con trastornos neurológicos motores, esto también da paso para que esta mejoría en el algoritmo sea usada en otro tipo de aplicaciones. Este estudio mostro otro punto de vista y otra posible perspectiva sobre el procesamiento de señales EEG.

2. EFECTOS DE LAS EMOCIONES DE LA GENTE DE MAR EN EL DESEMPEÑO HUMANO MEDIANTE LA SIMULACIÓN DE PUENTES

Es de resaltar que no solo en el área medicinal es usado el estudio de las ondas EEG; como vemos en este artículo, se estudió la influencia que tiene el mar en el cerebro, ya sea en la toma de decisiones cuando se trabaja allí en específico accidentes marítimos o posteriores.

Por ejemplo, según el estudio indica que la ira puede llegar a una aceleración más fuerte y velocidades más altas inclusive más allá del evento que provoca dicha emoción. También, la ansiedad y el desprecio evidenciaron efectos más débiles, revelaron el mismo patrón de conducción negativo que arrojó la ira. Otro ejemplo es el susto el cual tenía gran relación con un impulso de frenado más fuerte y velocidades más bajas de lo habitual (Fan, Zhang, Blanco-Davis, Yang, & Wang, 2018).

Las personas participantes fueron sometidas a distintas estimulaciones visuales y auditivas, esto con el fin de determinar qué respuesta tenían con respecto a lo que estaban escuchando y viendo. Toda esta información fue almacenada e interpretada por un algoritmo de aprendizaje (Rocha, 2018). Este estudio no propuso ningun algoritmo nuevo o modificado para la verificación de las señales extraídas en el estudio, tan solo se expusieron varios sujetos a distintos ambientes del mar, las señales emitidas

fueron registradas por el Auricular EEG, y posteriormente analizadas por un algoritmo de aprendizaje.

3. CARACTERÍSTICA SIMÉTRICA PARA INTERPRETAR SEÑALES DE EEG DE IMÁGENES MOTORAS EN LA INTERFAZ CEREBRO-COMPUTADORA

Hoy en día hay muchas personas que tienen discapacidades motoras o alguna discapacidad física ya sea por falta de alguna extremidad o porque esta extremidad ya no pueda ser controlada por algún tipo de enfermedad nerviosa o algún accidente. El método propuesto en este artículo tiene como finalidad clasificar imágenes motoras de EEG para las imaginaciones de movimiento de la mano izquierda, derecha y el pie derecho. En este estudio se usaron dos algoritmos, el primero llamado CSP que fue el encargado de transformar mediante un sistema lineal invariante en el tiempo (Park, Yu, Chum, & Lee, 2017), y el segundo algoritmo llamado Algoritmo de aprendizaje de Perceptrón PLA que fue usado como clasificador. Se determinó que el modelo propuesto no cumplió con los términos de potencia según lo requerido, pero al unirlo junto con el algoritmo CSP se evidencio que el rendimiento de clasificación BCI puede mejorar considerablemente.

4. DISEÑO DEL SISTEMA DE ORTOGRAFÍA DE INTERFAZ CEREBRO-COMPUTADORA A PARTIR DE SEÑALES DE ELECTROENCEFALOGRAMA CON ALGORITMOS DE SELECCIÓN DE CANALES

Como ya lo hemos mencionado con anterioridad, las señales que emite el cerebro se pueden transformar en movimientos, en este caso se estudió un sistema de ortografía el cual por medio de las señales EEG se pueden convertir en escritura, esto es un gran avance para personas que tienen limitaciones físicas ya sea de no poder mover el cuerpo entero o alguna extremidad.

Se logro evidenciar que, al disminuir el número de canales en los métodos de optimización, genera un mayor rendimiento en la clasificación, además los tiempos de prueba y entrenamiento se redujeron considerablemente (Khairullah & Arican, 2020). Este artículo es de gran importancia en el ámbito de la medicina, ya que puede ser usado para la creación de extremidades controladas por el cerebro, tal y como lo explica, se redujeron los canales lo que ocasiono un cambio positivo en el rendimiento de clasificación, entrenamiento y prueba.

5. UN ALGORITMO DE EEG BASADO EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA DETECCIÓN DE DESCARGAS EPILEPTIFORMES DE EEG: VALIDACIÓN FRENTE AL ESTÁNDAR DE ORO DE DIAGNÓSTICO

La inteligencia artificial es aquella inteligencia en donde intervienen maquinas, comúnmente computacionales, el estudio de los EEG no solo está en el ámbito de la medicina, si no también está influyendo enormemente en la inteligencia artificial. El algoritmo usado en este artículo es

usado para visión artificial, la cual ya es usada comúnmente en la industria, para la detección de color y detección de áreas. Adicionalmente también es usada para la detección de anomalías cerebrales en pacientes con síntomas de epilepsia. Este algoritmo demostró que puede llegar a mejorar el tiempo de evaluación de las ondas EEG en pacientes con epilepsia. Es necesario el avance del análisis de estas ondas, ya que cada vez la tecnología está en constante avance y en muchas ocasiones asequible para más grupos de personas que en años anteriores no tenían acceso a algún análisis del encéfalo. Con este estudio podemos inducir que cada vez estamos más cerca de encontrar un procedimiento capaz de diagnosticar con más agilidad problemas relacionados con la epilepsia, lo que desencadena en respuestas positivas para el pronto tratamiento de esta enfermedad.

6. HACIA UN USO ACCESIBLE DE LAS REDES SOCIALES BASADAS EN TELÉFONOS INTELIGENTES A TRAVÉS DE INTERFACES CEREBRO-COMPUTADORA

Unos de los grandes avances en la tecnología para la medicina, es el poder manejar objetos o realizar acciones tan solo con el cerebro, esto se viene estudiando desde hace bastantes años y se viene incluyendo para las personas con discapacidades motoras. En este artículo se expone la manera en que, por medio de Smartphones, podemos llegar a realizar acciones de las cuales tengamos limitaciones, y esto lo podremos hacer solo con nuestro cerebro. La gran brecha que aún existe es que no se tienen bastantes estudios que permitan llegar más allá con la inclusión de los Smartphone en los BCI, por lo cual ha sido difícil mejorar la calidad de vida por medio de un BCI con Smartphone a personas con discapacidades motoras, actualmente se han tenido estudios para el manejo de silla de ruedas (Martinez-Cagigal, 2019), e interpretación en la epilepsia (Williams, y otros, 2019). Lamentablemente este estudio no se ha probado generalmente en gran parte de población con limitaciones motoras, lo que en dado caso puede comprometer su efectividad en el funcionamiento en situaciones de la vida real.

Aunque no se logró demostrar en personas de la vida real con enfermedades severamente afectadas físicamente, este artículo puede ser de gran base para futuros estudios en donde se incluya la tecnología smartphone, adicionalmente que este estudio se basó en el manejo de redes sociales, lo cual ayudaría a mejorar la calidad de vida de las personas que no tienen acceso a este tipo de redes sociales por algún tipo de limitación física. En conclusión, por medio del parpadeo los pacientes lograron escribir texto, twittear en la red social Twitter, y realizar llamadas telefónicas a sus contactos, esto da un camino positivo para posteriores análisis y estudios.

7. LA INFLUENCIA DE LOS ELEMENTOS GRÁFICOS EN LA ATENCIÓN Y EL CONTROL DEL USUARIO EN UN JUEGO BASADO EN NEUROFEEDBACK

Tal y como lo hablamos en artículos anteriores, los BCI y el estudio de las EEG también tienen gran influencia en el área de los videojuegos, ya que hoy en día el mundo del entretenimiento está incluyendo esta tecnología para que el usuario tenga una experiencia más real en los videojuegos, pero no solo eso, ya que, por medio de los juegos, los estudios revelan lo que un ser humano puede hacer presentándole distintas situaciones en algún tipo de videojuego. Se puede llegar a concluir que el estudio arrojó resultados positivos en cuanto a la mejora de la atención del usuario después de la 3ª partida, para lo que se puede inducir que el estudio mejoró la concentración en los pacientes, pero no mejoró el control que los pacientes tenían sobre el juego, adicionalmente se evidenció que visualmente los gráficos influían en la concentración del paciente, pero esta influencia no era de gran importancia ya que si el paciente tenía gráficos en el juego, o no, la diferencia se notaba pero en ambas situaciones se encontraron resultados positivos y negativos. Por otra parte, al aumentar la dificultad del juego se evidenció una concentración mayor quizás por la amenaza de perder el juego. En general los pacientes estuvieron satisfechos por el uso del BCI y sus pruebas, hubo algunas pequeñas inconformidades que se trataban de la mala ubicación del dispositivo EEG en la cabeza del paciente, como también agregaron que el juego quizás tuvo una larga duración entre partida, lo que en algunos momentos disminuyó la atención del jugador. Este estudio puede llegar a usarse como base en estudios medicinales y en el área del entretenimiento, pues se evidenció que por medio de la concentración los pacientes pudieron ejercer ordenes en un juego, esto pudiese usarse no solo en juegos, si no en extremidades, robots, sillas de ruedas etc. (Vasiljevic, 2019).

8. SISTEMA DE COMANDO Y SEÑALAMIENTO OMNIDIRECCIONAL DE UNA SOLA TECLA CON INTERFAZ DE COMPUTADORA CEREBRAL: UNA INTERFAZ DE SEÑALAMIENTO EN PANTALLA PARA PERSONAS CON CAPACIDADES DIFERENTES

Los estudios para mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidades motoras están en crecimiento, llegando al punto que se está emulando el parpadeo de los ojos como un click de ratón, pero adicionalmente a esto se está usando para que ingrese a algún texto y pueda corregirlo tan solo con el parpadear de los ojos, esta entrada (parpadeo) puede mejorarse en cuanto a la velocidad. En los últimos años, se ha desarrollado un gran número de sistemas BCI con el fin de facilitar una herramienta de comunicación alternativa para personas con limitaciones físicas o enfermedades nerviosas. En este estudio se evidenció que los pacientes pudieron realizar las acciones propuestas, las cuales eran escoger letras y realizar movimientos dentro de una

pantalla tan solo con el cerebro, después del tercer intento se evidencio una considerable mejoría en cuanto el aprendizaje y la atención, lo que abre una enorme posibilidad a que más personas pueda acceder a BCI de menor costo y de excelente funcionamiento. Como lo hemos dicho en estudios anteriores, este tipo de artículos pueden ser usados para estudios más avanzados como el movimiento de sillas de ruedas, brazos o algún tipo de extremidad, tan solo con el pensamiento.

9. ALGORITMO PARALELO PARA ANALIZAR LAS SEÑALES CEREBRALES: APLICACIÓN SOBRE PICOS EPILÉPTICOS

Aparte del uso de BCI en seres humanos, este tipo de tecnología también se usan en animales, esto con el fin de emular enfermedades humanas tales como la epilepsia, la gran diferencia entre este estudio y los anteriores, es que en este estudio se usaron ratas, pero adicionalmente se le incrustaron electrodos invasivos en el cráneo, esto con el fin de visualizar el comportamiento cerebral que tienen los roedores a la hora de presentar ataques epilépticos. Para que tuviera ataques epilépticos, se le suministro una droga inyectada que después de 4-5 minutos logra crear convulsiones asociadas a la epilepsia, similares a las humanas. En este estudio el algoritmo tuvo un rendimiento del más del 98% (Das, 2009), lo cual es uno de los algoritmos mejor diseñados y de los cuales arroja mejor información según la validación de las señales en el BCI, adicionalmente, en los anteriores estudios se usaron Celulares o Pc con un único procesador lo que dificulta el resultado de grandes cálculos, por tal razón en este estudio se usó la computación en paralelo, la cual mejoro considerablemente la velocidad en que recoge los datos y los analiza, esto puede ser usado útilmente en el análisis de señales de cualquier paciente en tiempo real.

10. EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE LA SEÑAL EEG EN SISTEMAS BCI, BASADO EN POTENCIALES EVOCADOS VISUALES EN ESTADO ESTABLE USANDO EL ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN DE COLONIAS DE HORMIGAS

Usando el método en que las hormigas depositan feromonas en el camino con el fin de crear un camino más corto, y así las demás hormigas sigan este nuevo camino más corto, se basó el algoritmo que se usa en este estudio. Por medio de este estudio se puede llegar a optimizar la adquisición de señales mediante el tiempo de análisis y la mejoría de las señales con respecto a la señal principal, adicionalmente se puede usar en varias etapas dentro del análisis de EEG ya que como está basado en el método de Enjambre de hormigas, se evidencio que el estudio puede tener gran importancia a la hora de mejorar el aprendizaje de alguna situación en el paciente, por lo cual podemos inducir que este estudio puede ser usado en las metodologías basadas en el SI en los ámbitos médicos de adquisición de señales (S. M. Fernandez-Fraga, 2018) ya

que esta es una rama, la cual tiene poca exploración científica.

11. DETECCIÓN DE ESFUERZO MENTAL UTILIZANDO DATOS DE EEG EN CONTEXTOS DE E-LEARNING

Para mejorar el ritmo de aprendizaje de un ser humano, es necesario validar en muchas ocasiones, el ritmo eléctrico que toma el cerebro en los momentos que está aprendiendo, esto con el fin de identificar patrones que se puedan clasificar y llevar a un análisis en donde se identifiquen características negativas y positivas cuando el ser humano está aprendiendo algún tipo de tema. Este artículo se basó en clasificar emociones detectadas por el electrodo cuando el sujeto está visualizando videos o imágenes de las emociones, y así clasificarlas de acuerdo con el análisis con los algoritmos propuestos. Según el artículo y las pruebas realizadas, es aconsejable usar el método de clasificadores de árboles de decisión para registrar los estados mentales de los estudiantes o pacientes para detectar los esfuerzos mentales de los estudiantes o pacientes mientras están en aprendizaje electrónico en línea (Lin, 2018).

12. CLASIFICACIÓN DE LOS DATOS DE EEG PARA EL ANÁLISIS DEL ESTADO MENTAL HUMANO MEDIANTE EL CLASIFICADOR DE BOSQUE ALEATORIO

Al igual que el artículo anterior, el análisis de este se basó en verificar estados de ánimos de acuerdo al sujeto analizado, para los cuales solo se incluyeron los estados de ánimo de meditación y de atención, mediante dos acciones, la cual la primera fue resolver un problema matemático, esto con el fin de validar el estado de atención, paso siguiente se le solicito al paciente cerrar los ojos y relajarse, esto con el fin de validar el estado de meditación, estas acciones las repitieron varias personas por más de una vez, con el fin de registrar varias muestras de las ondas EEG. El articulo y estudio demostró que tiene una precisión de 75% de clasificación de emociones (Damodar Reddy Edla1, 2018).

13. IDENTIFICACIÓN DE SEÑALES DE IMÁGENES MOTORAS ANISÓMICAS EEG BASADAS EN ALGORITMOS COMPLEJOS

En este estudio se propone un algoritmo complejo para mejorar la extracción de información en muestras minoritarias y el rendimiento en la clasificación (Rensong Liu, 2017), con una tasa de exactitud de clasificacion que se encuentra en 92.5%. En este estudio se solicito a los pacientes realizar movimientos imaginativos de la mano izquierda, el pie derecho, el hombro derecho y el estado de reposo. Se evidencio que en general, el rendimiento de extracción de características de R-CSP es mejor que el algoritmo de CSP. Se evidencia que este metodo tiene mejores estadísticas y extraccion de informacion en las señales EEG. Los resultados del estudio concluyeron que el



clasificador KNN-SVM es mejor para el reconocimiento de los cuatro estados del MI y que los cinco clasificadores de la corriente principal que existe. KNN-SVM también muestra resultados comparativamente excelentes. La clasificación media en la tasa de exactitud es del 87%, y la máxima tasa de exactitud es 92.5% (Rensong Liu, 2017).

#### 14. ANÁLISIS DE SEÑALES DE ELECTROENCEFALOGRAFÍA EEG PARA EVALUAR ACTIVIDAD COGNITIVA DURANTE EL USO DE VIDEOJUEGOS

Cada vez más se puede evidenciar que el uso y análisis de EEG en el entretenimiento está en constante incremento, esto pues las señales EEG que emiten los seres humanos cuando están con un videojuego se pueden analizar para verificar como puede actuar ante distintos tipos de situaciones, ya sea de alegría, de tristeza, rabia etc. Este tipo de estudios ha tenido gran influencia no solo para verificar los estados de ánimo de una persona ante los videojuegos, si no también para usarlo con el fin de que una persona con discapacidad motriz pueda manejar los videojuegos por medio del cerebro, ya sean acciones básicas o acciones complejas futuramente. En este estudio no se obtuvo un análisis positivo con el fin de verificar algún patrón similar entre todos los participantes, tal y como lo indica el autor, quizás pudo ser por la diferencia de edad entre los participantes (Gomez, 2017).

#### 15. RECONOCIMIENTO DE IMAGINACIÓN MOTORA DE SEÑALES EEG EN EL DOMINIO TEMPORAL APLICANDO MODELOS PARAMÉTRICOS

Con un algoritmo mejorado se trata de verificar y mejorar la cantidad de información que se puede entender a las señales EEG extraídas, esto tiene gran influencia en las señales de menor magnitud ya que al momento de analizar las señales emitidas, pueden existir señales muy pequeñas difícilmente analizables, y estas pueden contener información relevante para algún tipo de análisis médico o de desarrollo. Dentro de este estudio se plantea la mejora del algoritmo AAR con el fin de ampliar la extracción de características en las señales. Se evidenció que en las modificaciones que se efectuaron al algoritmo ayudaron notoriamente a la extracción de señales con rangos muy bajos, la cual no logra el modelo AR. Por otra parte se tiene pensado usar este estudio y algoritmo en BCI online (Barón, 2011).

### III. METODOS

Para este análisis se utilizaron las indicaciones sugeridas por (Kitchenham, 2017) para lo cual se tuvieron en cuenta los siguientes pasos: (a) Planeación: en esta etapa se desarrollaron tres actividades: i) se establecieron las categorías de los artículos de análisis ii) se establecieron los criterios que debían contener los artículos leídos iii) se identificaron las fuentes y estudios relevantes (b) Revisión: en esta etapa se efectuó la verificación de los artículos

científicos clasificados, para esto se ejecutaron los siguientes pasos, i) selección de estudios afines, ii) extracción de datos aplicando el método de análisis de contenido, iii) síntesis de datos, iv) informe de la revisión: este incluye el análisis de estudios verificados, las tendencias y las conclusiones de la revisión..

#### • CATEGORIAS DE ANÁLISIS

Las preguntas que se plantearan a continuación proporcionaron tener un mejor análisis de los artículos verificados:

##### 1. ¿Cuáles son los usos que tiene el EEG?

En la actualidad el uso y estudio de las ondas EEG está teniendo un gran impacto en el área de la medicina, ya que se ha detectado mediante varios estudios que con tan solo el cerebro las personas con discapacidades físicas pueden realizar movimientos de alguna extremidad robótica, lo que origina una mejor calidad de vida para todas aquellas personas con limitaciones motoras.

##### 2. ¿Cuáles son los propósitos del estudio de las ondas EEG?

A futuro, poder desarrollar tecnología suficiente en todas las áreas científicas, que sea capaz de ser manejada tan solo con el cerebro humano. Hoy en día ya existen tecnologías tales como sillas de ruedas, escritura por medio del cerebro y otro tipo de tecnologías creadas a base y funcionamiento tan solo del cerebro humano. Lo que se busca es crear cada vez más y mejores tecnologías capaces de satisfacer necesidades y falencias humanas

##### 3. ¿Cuáles son las ventajas que permite el estudio de las ondas EEG?

Ha permitido desarrollar técnicas capaces de mejorar el estado de ánimo de los seres humanos ya que por medio de los estudios se identifican patrones que son capaces de ser tratados psicológicamente al verificar como está actuando el cerebro, adicionalmente los estudios han permitido desarrollar tecnología robótica con el fin de adaptarlas a seres humanos con falencia de extremidades, esto cierra un poco la brecha de desigualdad.

##### 4. ¿Cuáles son las limitaciones que tiene el estudio de las ondas EEG?

Actualmente ha disminuido el costo en cuanto al análisis con instrumentos de medición o adquisición de datos, ya que anteriormente los electrodos puestos en el cuero cabelludo que son los que recogen las señales eléctricas, eran muy costosos y adicionalmente difíciles de manejar, ya que un profesional debía ubicar cada electrodo para que las señales fueran percibidas correctamente, hoy en día la cantidad de electrodos han disminuido y adicionalmente se crearon aparatos inalámbricos más baratos capaces de adquirir las señales EEG, aun así no

se tiene total acceso para cualquier persona en el uso de esta tecnología.

5. ¿Qué tipos de instrumentos de medición se usaron para adquirir y medir las señales EEG?

En el estudio se identificaron dos tipos de sensores, los electrodos y el auricular EEG.

**• CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y DE EXCLUSIÓN**

Teniendo en cuenta las preguntas sobre el análisis, se consideraron los siguientes criterios:

**Inclusión:**

- Se verificaron tesis y artículos publicados entre el 2009 y el 2020
- Se escogieron artículos en los cuales definieron generalidades sobre el estudio de las ondas EEG y estudios recientes de aplicaciones.
- Se validaron distintos problemas para las cuales el estudio de las ondas puede influir positivamente.
- Otros artículos en donde se evidenciaron alguna relación con ondas EEG

Se realizó la búsqueda en las bases de datos Scopus, Springer y Science Direct, para lo cual se aplicaron los siguientes criterios de búsqueda: Sistemas BCI con EEG, Desarrollo de tecnología EEG, Sistemas integrados con EEG, entre otros.

**Exclusión:**

- Estudios anteriores al 2009.
- Estudios con integración EEG, pero sin algoritmo relacionado.

Se analizaron 15 artículos, adicionalmente se descartaron 8 artículos, los cuales contenían información sobre el uso de EEG, pero no presentaban ningún algoritmo de análisis. Se consultaron artículos con frecuencia de publicación entre el 2018 y 2019 para lo cual nos puede garantizar la obtención de información actualizada **Ver Figura 1.**

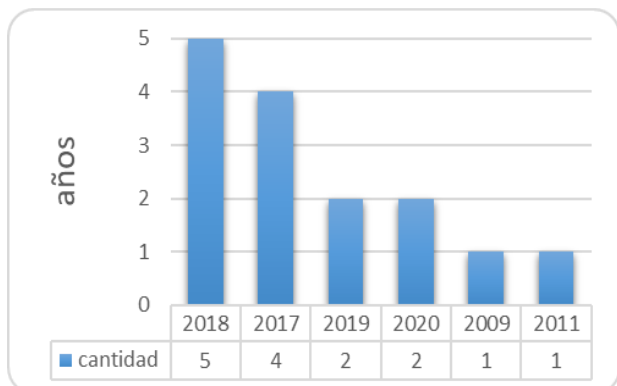


Figura 1. Años de publicación de los artículos consultados

En la **Figura 2**, podemos observar la consulta de los artículos pertenecientes a los países como: Dinamarca, Brasil, Croacia, Taiwán, Corea, Turquía, España, México, China e India, siendo India uno de los países más encontrados, segundo China, el tercero México y el cuarto España. En términos generales es un buen balance pues indica que a nivel mundial se está llevando estudios relacionados con el EEG, positivamente en Latinoamérica se están llevando estudios similares a los de la India o China, la cual lo está representando México.

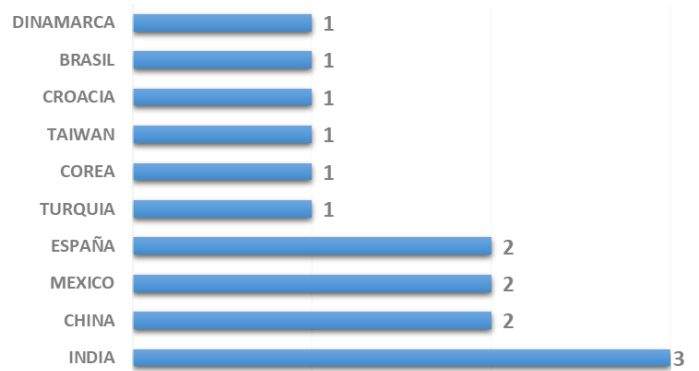


Figura 2. Países pertenecientes a los artículos consultados

**IV. RESULTADOS**

Una vez analizados los distintos artículos, se extrajo información de gran importancia, la cual nos ayudó a verificar los algoritmos más usados para extraer la información de las señales EEG con mayor efectividad, y adicionalmente nos ayudara a validar en que sector de la ciencia se están realizando la mayor cantidad de estudios.

Con base al análisis realizado en la tabla, nos permite dar respuesta a cada una de las preguntas que se plantearan:

Q1: ¿Qué tecnología futura se pretende desarrollar con el análisis de las ondas EEG?

Según la OMS en el informe mundial de discapacidad en la actualidad casi 200 millones de personas experimentan dificultades considerables en el funcionamiento del cuerpo humano, por lo cual la mayor cantidad de estudios analizados están dentro del campo de la medicina, lo que da un balance alentador, ya que los estudios se realizan en distintos niveles de discapacidad. Los grandes estudios visualizan crear extremidades asequibles las cuales se manejarán tan solo con el cerebro, y no solo eso, para personas para las cuales presentan discapacidad en el habla, en la escucha o que presenten alguna discapacidad de parálisis total, se está desarrollando tecnología que de igual manera se manejara con el cerebro.

Q2: ¿Cuáles son las ventajas de usar las ondas EEG?

Por medio del análisis de las ondas EEG se está encontrando más información sobre el funcionamiento del cuerpo humano, la cual los BCI y algoritmos de años pasados no encontraban, por tal razón el estudio de EEG está incursionando no solo en la medicina si no también en ámbitos militares, videojuegos, y hasta se han tomado de referencia como se desempeñan los animales, con el fin de crear algoritmos que se adaptan al análisis de nuestro cerebro humano mediante BCI.

Q3: ¿Cuáles son los campos en los cuales se realizan más estudios de EEG?

En la **Figura 3** podemos evidenciar que el campo en que más estudios se ha realizado es el campo de la medicina, lo cual como lo mencionamos con anterioridad es un dato positivo, ya que se busca mejorar la calidad de vida mediante la creación de tecnología controlada por el cerebro, en el segundo puesto están los videojuegos, ya que como sabemos, en las últimas consolas podemos tener cascos los cuales tienen funciones controladas por el parpadeo o algunas por el cerebro, como encender, apagar etc.

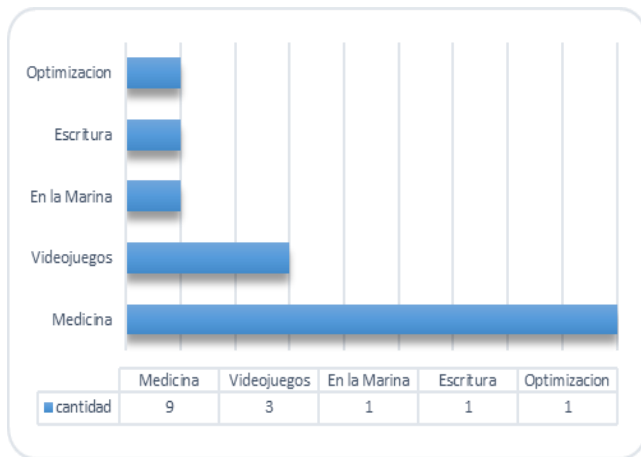


Figura 3. Campos de investigación de los artículos consultados

Q3: En la medicina, específicamente, ¿sobre qué se realizaban estudios de EEG?

En la **Figura 4** podemos evidenciar que las mayores investigaciones se centran a la creación de extremidades controladas, hoy en día ya hay brazos que se pueden controlar con la mente, lo negativo es que aún no están asequibles para cualquier persona, también se evidencia que hay estudios centrados en mejorar la atención de las personas, esto es de gran importancia ya que se pueden evidenciar patrones que puede ayudar a mejorar la atención que se puede centrar en las escuelas o el aprendizaje universitario entre otros.

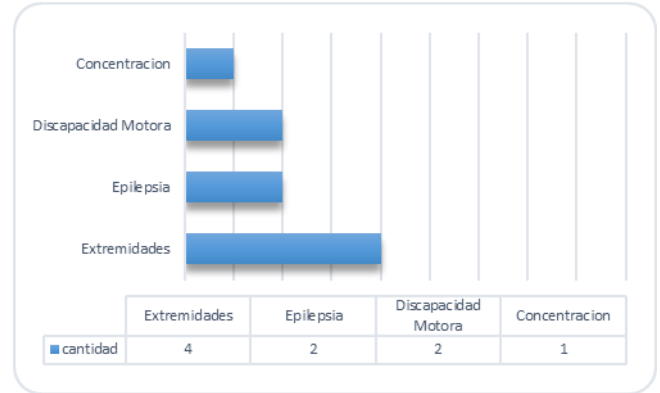


Figura 4. Campos de la medicina investigados según los artículos analizados

## V. DISCUSION

Según los artículos consultados, se evidencio que no existen análisis de cantidades considerables en áreas importantes como la educación, ya que allí se puede evidenciar cómo funcionan el cerebro a la hora de estar aprendiendo en alguna escuela o universidad sobre un tema nuevo, esto ayudaría a mejorar la manera de enseñar. Tampoco se evidenciaron estudios de cantidades considerables en los animales, ya que estos nos pueden proporcionar información importante como la que se presenta en el estudio Numero 10, enjambre de hormigas, ya que como se evidencia allí, se analizan las señales mediante un algoritmo basado en las hormigas.

Es positivo concluir en que los estudios arrojan futuramente asequibilidad a extremidades para las personas que carecen de alguna por enfermedades o accidentes, pero negativamente hoy en día las extremidades no son asequibles para cualquier persona, por lo cual se deberá esperar que los estudios avancen y los materiales disminuyan su costo.

## VI. CONCLUSIONES

Una de las conclusiones más importantes es pues los estudios relacionados con las ondas EEG están en crecimiento, en un futuro próximo, en muchas áreas y en distintas ciencias tendremos acceso no solo para las personas con discapacidades si no también las personas sin discapacidad a información y entrenamiento que puedan mejorar nuestra calidad de vida.

Poco a poco se han venido disminuyendo los costos en los equipos usados para el análisis de ondas EEG, ya que anteriormente se deban usar aproximadamente 64 electrodos lo que hoy en día se cambió a solo dos con diademas inalámbricas, que son más asequibles para más personas.

A medida que los BCI mejoran, también mejoran los algoritmos con los cuales se analizan las señales, encontrando algoritmos con precisiones entre el 85% y el 95% lo que abre las puertas para analizar señales bajas las cuales contienen información valiosa para verificar según el análisis que se esté ejecutando.

## VII. REFERENCIAS

- Admoni, H., Mataric, M., & Scassellati, B. (2012). Robots for Use in Autism Research. Annual Review of Biomedical Engineering. Annual Review of Biomedical Engineering.
- Barón, D. F. (2011). Reconocimiento de Imaginación Motora de Señales EEG en el Dominio Temporal aplicando Modelos. INAOE, 1-103.
- Damodar Reddy Edla1, K. M. (2018). Clasificación de los datos de EEG para el análisis del estado mental humano mediante el clasificador de bosque aleatorio. Elsevier BV, 132, 1523-1532.
- Das, A. K. (2009). Algoritmo paralelo para analizar las señales cerebrales: aplicación. Springer Science + Business Media, 1-13.
- Egea, T. G. (2015). Analisis, decodificación y clasificación de la señal EEG en entornos tridimensionales. Universidad Politécnica de Cartagena, 14-15.
- Enas Khairullah, M. A. (2020). Brain-computer interface speller system design from electroencephalogram signals with channel selection algorithms. Elsevier BV, 141.
- Fan, S., Zhang, J., Blanco-Davis, E., Yang, Z., & Wang, J. &. (2018). Effects of seafarers' emotion on human performance using bridge simulation . Elsevier BV, 170, 111-119.
- Fürbass, F., Kural, M. A., Gritsch, G., Hartmann, M., & Kluge, T. &. (2020). An artificial intelligence-based EEG algorithm for detection of epileptiform EEG discharges: Validation against the diagnostic gold standard . Elsevier BV, 131, 1174-1179.
- Gomez, L. C. (2017). Análisis de Señales de electroencefalografía (EEG) para evaluar actividad cognitiva durante el uso de videojuegos. España: Free Software Foundation.
- Kadlhofer, M., & Steinbauer, G. (s.f.). Evaluating the impact of educational robotics on pupils' technicaland. ScienceDirect.
- Khairullah, E., & Arican, M. &. (2020). Brain-computer interface speller system design from electroencephalogram signals with channel selection algorithms. Elsevier BV, 141, 109690.
- Kitchenham, B. (2017). Procedures for Performing. Ann. Saudi Med, 79-83.
- Lancheros-Cuesta, D. (01 de 2010). Diseño e Implementación de un Módulo Didáctico para el Aprendizaje en la Construcción, Implementación y Manipulación de Robots. Formación Universitaria, 3-8.
- Lerga, J., & Saulig, N. &. (2017). Algorithm based on the short-term Rényi entropy and IF estimation for noisy EEG signals analysis . Elsevier BV, 80, 1-13.
- Lietoa, M. C., nguaggiatob, E., Castro, E., Cecchi, F., Cioniad, G., Dell'Omoe, M., . . . Darioc, P. (2017). Educational Robotics intervention on Executive Functions in preschool children: A pilot study. Computers in Human Behavior, 16-23.
- Lin, F.-R. &.-M. (2018). Detección de esfuerzo mental utilizando datos de EEG en contextos de e-learning. Elsevier BV, 122, 63-79.
- Martínez Ortiz, A. (2015). Examining Students' Proportional Reasoning Strategy Levels as Evidence of the Impact of an Integrated LEGO Robotics and Mathematics Learning Experience. Journal of Technology Education, v26 n2, 46-69.
- Martinez-Cagigal, V. S.-V.-P. (2019). Towards an accessible use of smartphone-based social networks through brain-computer interfaces. Elsevier BV, 120, 155-166.
- McDonald, S., & Howell, J. (2012). Watching, Creating and Achieving: Creative Technologies as a Conduit for Learning in the Early Years. British Journal of Educational Technology, v43 n4 , 641-651 .
- Michel, R. B. (2001). Measuring time-frequency information content using the Renyi entropies .

Institute of Electrical and Electronics Engineers  
, 47, 1391-1409.

- Park, S.-M., Yu, X., Chum, P., & Lee, W.-Y. &.-B. (2017). Symmetrical feature for interpreting motor imagery EEG signals in the brain-computer interface. Elsevier BV, 129, 163-171.
- Raj, R., & Deb, S. &. (2018). Brain Computer Interfaced Single Key Omni Directional Pointing and Command System: a Screen Pointing Interface for Differently-abled Person. Elsevier BV, 133, 161-168.
- Rensong Liu, Z. Z. (2017). Identificación de señales de imágenes motoras anisómicas EEG basadas en algoritmos complejos. Addison Salazar, 1-13.
- Rocha, M. &. (2018). Hidden Markov Models- Bioinformatics Algorithms. Elsevier, 255-273.
- S. M. Fernandez-Fraga, I. M.-F.-O.-A. (2018). Extracción de características de la señal EEG en sistemas BCI basado en potenciales evocados visuales en estado estable usando el algoritmo de optimización de colonias de hormigas. Seenith Sivasundaram, 1-20.
- Vasiljevic, G. A. (2019). The influence of graphical elements on user's attention and control on a neurofeedback-based game . Elsevier BV, 29, 10-19.
- Wainer, J., Ferrari, E., Dautenhahn, K., & Robins, B. (2010). The effectiveness of using a robotics class to foster collaboration among groups of children with autism in an exploratory study. . Personal Ubiquitous Computing., 445-455.
- Williams, J. A., Cisse, F. A., Schaekermann, M., Sakadi, F., Tassiou, N. R., Hotan, G. C., . . . Vogel, A. C. (2019). EEG con teléfono inteligente e interpretación remota en línea para niños con epilepsia en la República de Guinea: calidad, características e implicaciones para la práctica. Elsevier BV, 71, 93-99.