



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO



# Instituto Tecnológico de León

División de Estudios de Posgrado e Investigación

“ANÁLISIS DE SEÑALES EEG PARA CLASIFICAR LA  
ATENCIÓN SELECTIVA POR MEDIO DE TÉCNICAS DE  
INTELIGENCIA ARTIFICIAL”

TESIS

Que presenta:

Ing. Mario Israel Díaz Rodríguez

Para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS  
DE LA COMPUTACIÓN

Con la dirección de:

DR. DAVID ASAEL GUTIÉRREZ HERNÁNDEZ

Revisores

DR. VÍCTOR MANUEL ZAMUDIO RODRÍGUEZ

DR. CARLOS LINO RAMÍREZ

MC. MIGUEL SALVADOR GÓMEZ DÍAZ

León, Guanajuato

Agosto de 2021



Instituto Tecnológico de León

León, Guanajuato, **07/julio/2021**

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN  
OFICIO No. DEPI-129-2021

**ING. MARIO ISRAEL DÍAZ RODRÍGUEZ  
PRESENTE**

De acuerdo al fallo emitido por la Comisión Revisora, integrada por los: Dr. David Asael Gutiérrez Hernández, Dr. Víctor Manuel Zamudio Rodríguez, Dr. Carlos Lino Ramírez, MC. Miguel Salvador Gómez Díaz considerando que llena todos los requisitos establecidos en los Lineamientos Generales para la Operación del Posgrado del Tecnológico Nacional de México, se autoriza la impresión del trabajo de tesis titulado: "Análisis de señales EGG para Clasificar la atención selectiva por medio de Técnicas de Inteligencia Artificial". Lo que hacemos de su conocimiento para los efectos y fines correspondientes.

**ATENTAMENTE**

Excelencia en Educación Tecnológica®  
Ciencia Tecnología y Libertad

**DR. DAVID ASael GUTIÉRREZ HERNÁNDEZ** INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LEÓN  
**JEFE DE LA DEPI** DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



C.c.p. Expediente



RP/IL-072  
2017-04-10 - 2021-04-

Av. Tecnológico s/n Fracc. Industrial  
Julián de Obregón C.P 37290  
León, Gto. México Tel. 01 (477) 7105200,  
e-mail: tecleon@leon.tecnm.mx  
tecnm.mx | leon.tecnm.mx





León, Gto., a 9 de julio del 2021

**C. ING. LUIS ROBERTO GALLEGOS MUÑOZ**  
**JEFE DE SERVICIOS ESCOLARES**  
**P R E S E N T E**

Por este medio hacemos de su conocimiento que la tesis titulada **ANÁLISIS DE SEÑALES EEG PARA CLASIFICAR LA ATENCIÓN SELECTIVA POR MEDIO DE TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL**, ha sido leída y aprobada por los miembros del Comité Tutorial para su evaluación por el jurado del acto de examen de grado al alumno (a) **C. Mario Israel Díaz Rodríguez**, con número de control **M13240291** como parte de los requisitos para obtener el grado de Maestro(a) en Ciencias de la Computación (MCCOM-2011-05).

Sin otro particular por el momento, quedamos de Usted.

**ATENTAMENTE**  
**COMITÉ TUTORIAL**

Dr. David Asael Gutiérrez Hernández  
**DIRECTOR**

Dr. Víctor Manuel Zamudio Rodríguez  
**REVISOR**

Dr. Carlos Lino Ramírez  
**REVISOR**

MCC. Miguel Salvador Gómez Díaz  
**REVISOR**



## DECLARACION DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO

Yo, **Mario Israel Díaz Rodríguez** identificado con No. control **M13240291**, alumno (a) del programa de la **Maestría en Ciencias de la Computación**, autor (a) de la Tesis titulada: **“ANÁLISIS DE SEÑALES EEG PARA CLASIFICAR LA ATENCIÓN SELECTIVA POR MEDIO DE TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL”**  
DECLARO QUE:

1.- El presente trabajo de investigación, tema de la tesis presentada para la obtención del título de **MAESTRO (A) EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN** es original, siendo resultado de mi trabajo personal, el cual no he copiado de otro trabajo de investigación, ni utilizado ideas, fórmulas, ni citas completas “stricto sensu”, así como ilustraciones, fotografías u otros materiales audiovisuales, obtenidas de cualquier tesis, obra, artículo, memoria, etc. en su versión digital o impresa.

2.- Declaro que el trabajo de investigación que pongo a consideración para evaluación no ha sido presentado anteriormente para obtener algún grado académico o título, ni ha sido publicado en sitio alguno.

3.- Declaro que las pruebas o experimentos derivados de esta investigación fueron realizados bajo el consentimiento de los involucrados y con fines estrictamente académicos conforme a criterios éticos de confidencialidad.

Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales por lo que asumo cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de irregularidades de la tesis, así como de los derechos sobre la obra presentada.

Asimismo, me hago responsable ante el Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de León o terceros, de cualquier irregularidad o daño que pudiera ocasional por el incumplimiento de lo declarado.

De identificarse falsificación, plagio, fraude, o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, responsabilizándome por todas las cargas pecuniarias o legales que se deriven de ello sometiéndome a las normas establecidas en los Lineamientos y Disposiciones de la Operación de Estudios de Posgrado en el Tecnológico Nacional de México.

León, Guanajuato a 3 del mes de agosto de 2021



Mario Israel Díaz Rodríguez

## ACUERDO PARA USO DE OBRA (TESIS DE GRADO)

A QUIEN CORRESPONDA

PRESENTE

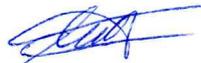
Por medio del presente escrito, **Mario Israel Díaz Rodríguez** (en lo sucesivo el AUTOR) hace constar que es titular intelectual de la obra denominada: "**ANÁLISIS DE SEÑALES EEG PARA CLASIFICAR LA ATENCIÓN SELECTIVA POR MEDIO DE TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL**", (en lo sucesivo la OBRA) en virtud de lo cual autoriza al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de León (en lo sucesivo TECN/IT León) para que efectúe resguardo físico y/o electrónico mediante copia digital o impresa para asegurar su disponibilidad, divulgación, comunicación pública, distribución, transmisión, reproducción, así como digitalización de la misma con fines académicos y sin fines de lucro como parte del Repositorio Institucional del TECN/ITLeón.

De igual manera, es deseo del AUTOR establecer que esta autorización es voluntaria y gratuita, y que de acuerdo a lo señalado en la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de Propiedad Industrial el TECN/IT León cuenta con mi autorización para la utilización de la información antes señalada, estableciendo que se utilizará única y exclusivamente para los fines antes señalados. El AUTOR autoriza al TECN/IT León a utilizar la obra en los términos y condiciones aquí expresados, sin que ello implique se le conceda licencia o autorización alguna o algún tipo de derecho distinto al mencionada respecto a la "propiedad intelectual" de la misma OBRA; incluyendo todo tipo de derechos patrimoniales sobre obras y creaciones protegidas por derechos de autor y demás formas de propiedad intelectual reconocida o que lleguen a reconocer las leyes correspondientes. Al reutilizar, reproducir, transmitir y/o distribuir la OBRA se deberá reconocer y dar créditos de autoría de la obra intelectual en los términos especificados por el propio autor, y el no hacerlo implica el término de uso de esta licencia para los fines estipulados. Nada de esta licencia menoscaba o restringe los derechos patrimoniales y morales del AUTOR.

De la misma manera, se hace manifiesto que el contenido académico, literario, la edición y en general de cualquier parte de la OBRA son responsabilidad de AUTOR, por lo que se deslinda al (TECN/ITLeón) por cualquier violación a los derechos de autor y/o propiedad intelectual, así como cualquier responsabilidad relacionada con la misma frente a terceros. Finalmente, el AUTOR manifiesta que estará depositando la versión final de su documento de Tesis, OBRA, y cuenta con los derechos morales y patrimoniales correspondientes para otorgar la presente autorización de uso.

En la ciudad de León, del estado de Guanajuato a los 5 días del mes de Agosto de 2021.

Atentamente,



Mario Israel Díaz Rodríguez

## ***Dedicatoria***

*Este trabajo va dedicado a toda mi familia, amigos y compañeros que han estado apoyándome a lo largo de mi vida y mi carrera, han pasado momentos difíciles, pero siempre han estado ahí para apoyarme y darme consejos para poder seguir adelante y poder cumplir mis metas académicas, les agradezco de todo corazón ese apoyo incondicional que siempre me han brindado.*

## ***Agradecimientos***

*Agradezco a mis padres Ma. Del Carmen, Andrés Díaz y a mi hermano Iván Díaz, por el apoyo que me han brindado a lo largo de mi vida, por todos los consejos y el apoyo incondicional que me han brindado en las situaciones difíciles, gracias por guiarme en el transcurso de mi vida, seguiré esforzándome cada día más para alcanzar mis metas.*

*A mi asesor David Gutiérrez por la motivación y el apoyo que me ha dado de seguir superándome académicamente, también le agradezco por darme la oportunidad de colaborar dentro de su equipo de trabajo para el desarrollo de nuevos conocimientos.*

*Al comité: Carlos Lino, Miguel Gómez y Víctor Zamudio, les agradezco todos sus consejos que me brindaron para la mejora del desarrollo de la tesis y el tiempo que me brindaron durante su labor de tutorías.*

*A mis compañeros y amigos del Tecnológico de León por todos los momentos que pasamos en esta etapa de nuestras vidas, les agradezco la ayuda que me brindaron durante el desarrollo de mi proyecto.*

*Al Instituto Tecnológico de León y profesores que me dieron las herramientas y conocimientos para formarme como una persona selecta de*

*la sociedad, también a CONACYT por el apoyo económico para seguir superándome de forma académica.*

## *Resumen*

La atención tiene un papel muy importante en nuestras vidas, ya que es esencial para la realización de cualquier actividad, sobre todo en el aprendizaje.

El desarrollo de la atención es de suma importancia para los niños o adolescentes que se encuentran en una etapa de aprendizaje ya que les permitirá desarrollar nuevas habilidades como, por ejemplo, escribir y leer.

El objetivo de esta investigación es ver si es posible medir la atención por medio de señales EEG que son recolectadas mediante un dispositivo de bajo costo y no invasivo, para la investigación se tomaron las muestras de un grupo de diez alumnos de nivel licenciatura, la prueba fue realizada dentro de un ambiente controlado con una buena iluminación y aislada de cualquier tipo de ruido que pudiera distraer a los participantes, todos los participantes se sometieron a un test para poner a prueba su atención, antes de comenzar con el test se les dieron todas las indicaciones correspondientes para realizar el test de forma correcta, posteriormente los datos recabados se obtuvieron utilizando el dispositivo MUSE, cada una de las señales de los participantes fueron almacenadas en archivos de valores separados por comas. Después se utilizaron diversas técnicas estadísticas para recabar algunas de las características de las señales EEG. También se utilizó el método de

interpolación de señales para aproximar algunos datos que no fueron recolectados por la diadema MUSE durante el test. Los resultados indican que sí existe la posibilidad de utilizar estas tecnologías de EEG para medir la atención.

# Publicación

## Comparativa del Test d2 con las señales EEG para medir la atención y concentración en los alumnos universitarios

Mario Díaz  
Tecnológico Nacional de México-  
Instituto Tecnológico de León  
León, México  
Email: israelnv49@gmail.com

David Gutiérrez-Hernández  
Tecnológico Nacional de México-  
Instituto Tecnológico de León  
León, México  
Email: david.gutierrez@itleon.edu.mx

Víctor Zamudio  
Tecnológico Nacional de México-  
Instituto Tecnológico de León  
León, México  
Email: vic.zamudio@ieee.org

Carlos Lino  
Tecnológico Nacional de México-  
Instituto Tecnológico de León  
León, México  
Email: carloslino@itleon.edu.mx

Miguel Gómez  
Universidad de Guadalajara-  
Centro Universitario De Los Lagos  
Jalisco, México  
Email: miguel\_gomez@itleon.edu.mx

Mario García  
Tecnológico Nacional de México-  
Instituto Tecnológico de León  
León, México  
Email: Ing.Bio\_Mario@hotmail.com

**Resumen**—El objetivo del experimento es registrar las señales EEG durante la aplicación de una prueba de atención selectiva para medir el nivel de atención y concentración que tienen los estudiantes universitarios aplicando el test d2 de atención, para este experimento se utilizó un total de 10 participantes de licenciatura, entre edades de 17 a 21 años. Se utilizó una diadema Muse headband que nos permite adquirir las señales electroencefalografías (EEG) en tiempo real mientras se aplica el test d2 de atención. Al evaluar la prueba se puede observar una relación entre las señales EEG tomadas durante la aplicación del test, esto indica que es posible obtener un resultado favorable para medir el nivel de atención a través de este tipo de señales.

**Palabras clave**—EEG, atención selectiva, concentración, Test d2.

### I. INTRODUCCIÓN

La atención es un proceso en la activación y funcionamiento de procesos selectivos y mantenimiento de la actividad psicológica [1]. En otras palabras, es la capacidad de seleccionar, dirigir y mantener un nivel adecuado de activación para llevar a cabo procesos de información relevantes. Es un proceso complejo que consta de varios subprocesos que permiten el establecimiento de clasificaciones asociadas a diferentes circuitos neuronales [2].

La atención selectiva permite procesar los estímulos relevantes y suprimir los estímulos irrelevantes que aparecen en el campo visual, generalmente el observador ignora los estímulos irrelevantes [3].

Es responsable de controlar los procesos y mecanismos mediante los cuales el cuerpo procesa solo una pequeña parte de toda la información, y responde solo a aquellas demandas ambientales que son importantes para el individuo. Numerosos investigadores proponen ahora que la atención es una función neuropsicológica básica que permite realizar actividades cognitivas, como un sistema capaz de procesar y monitorizar información procedente de diversas fuentes de estímulos [4]. Las principales funciones de la atención se basan en la capacidad de mantener un estado de alerta hacia un determinado objetivo. [5].

La atención sostenida es la actividad que realizan los procesos mediante los cuales el cuerpo es capaz de mantener el foco de atención y mantenerse alerta ante la presencia de ciertos estímulos durante períodos de tiempo relativamente largos [6].

La atención selectiva y la atención sostenida están reguladas por estructuras corticales y subcorticales. Entre las estructuras corticales se encuentra la corteza prefrontal y las cortezas sensoriales, y en el caso de las estructuras subcorticales, el tálamo óptico, el estriado, los núcleos septal y de Meynert y el cerebelo.

La atención juega un papel central en la memoria episódica (explícita, consciente) porque es necesaria para que se formen conexiones de memoria duraderas [7]. El papel de la atención en la memoria implícita ha sido más discutido. La memoria implícita es un tipo de memoria inconsciente que se evalúa mediante la existencia de priming de repetición.

# *Contenido*

Dedicatoria .....	i
Agradecimientos .....	ii
Resumen .....	iv
Publicación .....	vi
Contenido .....	vii
Índice de Figuras .....	xii
Índice de Tablas .....	xiv
Lista de Acrónimos .....	xv
Estructura de la Tesis .....	xvi
Capítulo 1 Introducción .....	1
1.1 Definición del problema.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos .....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos .....	3
1.4 Hipótesis.....	4

vii

1.5 Alcances y Limitaciones .....	4
1.5.1 Alcances .....	4
1.5.2 Limitaciones.....	4
Capítulo 2 Marco Teórico .....	5
2.1 Antecedentes históricos de la atención .....	5
2.2 La atención .....	6
2.3 Tipos de atención .....	8
2.3.1 Atención focalizada .....	8
2.3.2 Atención sostenida.....	8
2.3.3 Atención selectiva.....	9
2.3.4 Atención dividida.....	10
2.3.5 Atención alternante .....	10
2.4 Tests para medir la atención.....	11
2.4.1 Trail making test (TMT) .....	11
2.4.2 Test d2.....	12
2.4.3 SDMT (Symbol Digit Modalities test) .....	13
2.3 El cerebro .....	14
2.3.1 Circuito triangular de LaBerge .....	17

2.4 La neurociencia .....	18
2.4.1 principales áreas de la neurociencia .....	19
2.5 Adquisición de las ondas cerebrales .....	19
2.5.1 Electroencefalografía .....	20
2.5.2 Magnetoencefalografía (MEG).....	22
2.5.3 Imagen de resonancia magnética funcional (fMRI) .....	24
2.6 Técnicas de inteligencia artificial .....	25
2.6.1 Aprendizaje supervisado.....	25
2.6.2 Aprendizaje no supervisado.....	27
2.6.3 Algoritmo K-NN.....	28
2.6.4 Algoritmo de K-Medias .....	29
2.7 Extrapolación .....	30
2.8 Interpolación .....	31
Capítulo 3 Estado del Arte .....	33
3.1 Clasificación del estrés mental percibido .....	33
3.2 Predicción de estados cerebrales de concentración y relajación en tiempo real con electroencefalogramas portátiles.....	34

3.3 Identificación de usuarios y actividades con procesamiento de señales cognitivas de una diadema portátil .....	34
3.4 Un estudio sobre la clasificación del estado mental utilizando la interfaz cerebro-máquina basada en EEG.....	35
3.5 Elección de MUSE: validación de un sistema EEG portátil de bajo costo para la investigación de ERP .....	36
3.6 Monitorización electroencefalográfica de la actividad de las ondas cerebrales durante la simulación quirúrgica laparoscópica para medir la concentración y el estrés del cirujano: ¿Puede el alumno convertirse en maestro? .....	37
3.7 Clasificación del estrés humano utilizando señales de EEG en respuesta a pistas de música.....	38
3.8 Night shifts, sleep deprivation, and attention performance in medical students.....	39
Capítulo 4 Materiales y Métodos.....	40
4.1 Diadema MUSE .....	40
4.2 Test d2 .....	41
4.3 Mind Monitor .....	43
4.4 Protocolo experimental .....	44

4.5 Procesado de datos .....	46
4.6 Interpolación .....	46
4.7 Extracción de características .....	48
Capítulo 5 Resultados .....	52
5.1 Descripción de la muestra .....	52
5.2 Red neuronal .....	53
Capítulo 6 Conclusiones y Trabajo Futuro .....	55
6.1 Trabajo a futuro .....	56
Anexos.....	57
Referencias .....	62

## *Índice de Figuras*

Figura 2.1 Ejemplo del Test trail making test.....	11
Figura 2.2 Muestra de caracteres que contiene el test d2 .....	13
Figura 2.3 Symbol Digit Modalities Test (SDMT) .....	14
Figura 2.4 Partes del cerebro (hemisferio izquierdo, hemisferio derecho y cuerpo calloso) .....	16
Figura 2.5 Regiones del cerebro donde se ubican los sentidos .....	16
Figura 2.6 Esquema de LaBerge circuito triangular .....	17
Figura 2.7 Electrodo de superficie de un EEG.....	21
Figura 2.8 Posición de los electrodos en el Sistema Internacional 10-20 ...	21
Figura 2.9 Ondas cerebrales.....	22
Figura 2.10 Imagen digital de MEG .....	23
Figura 2.11 Modelo de aprendizaje supervisado .....	26
Figura 2.12 Tipos de regresión lineal .....	27
Figura 2.13 Modelo de aprendizaje no supervisado .....	28
Figura 2.14 Algoritmo de K-NN.....	29
Figura 2.15 Algoritmo de k-Medias.....	30
Figura 2.16 Extrapolación fuera del rango de la muestra.....	31
Figura 2.17 Interpolación de una señal.....	32

Figura 4.1 Electrodo que conforman la diadema MUSE .....	40
Figura 4.2 Ubicación de los electrodo de la diadema MUSE conforma al sistema internacional 10-20 .....	41
Figura 4.3 Test d2 de atención .....	42
Figura 4.4 Hoja de muestra del test d2 .....	42
Figura 4.5 Muestra de realización del test d2 .....	43
Figura 4.6 App de Mind Monitor compatible con MUSE.....	43
Figura 4.7 Visualización de dato en tiempo real de Mind Monitor .....	44
Figura 4. 8 Comparación de la seña original vs seña interpolada.....	47
Figura 4. 9 Seña interpolada .....	47
Figura 4. 10 El símbolo de * representa los dato interpolado .....	48
Figura 4. 11 Señal de EEG de mujeres 1 .....	50
Figura 4. 12 Señal de EEG de mujeres 2 .....	50
Figura 4. 13 Señal de EEG de hombre .....	51
Figura 5. 1 Clasificación para las cinco seña de EEG.....	53
Figura 5. 2 Clasificación para solo dos seña Beta y Gamma.....	53

## *Índice de Tablas*

Tabla 2. 1 Funciones específicas que le corresponden a cada hemisferio...	15
Tabla 4. 1 Tabla de características de las señales para mujeres .....	49
Tabla 4. 2 Tabla de características para hombre.....	49

## *Lista de Acrónimos*

<b>Acrónimo</b>	<b>Descripción</b>
<b>EEG</b>	<i>Electroencefalograma</i>
<b>SVM</b>	<i>Máquinas de Vector Soporte</i>
<b>CPT</b>	<i>Tareas de Ejecución Continua</i>
<b>TVI</b>	<i>Tareas de Vigilia</i>
<b>TMT</b>	<i>Trail Making Test</i>
<b>SDMT</b>	<i>Symbol Digit Modalities Test</i>
<b>SNC</b>	<i>Sistema Nervioso Central</i>
<b>fMRI</b>	<i>Imagen de resonancia magnética funcional</i>
<b>MEG</b>	<i>Magnetoencefalografía</i>

# *Estructura de la Tesis*

## **Capítulo 1**

En este capítulo se encuentra la introducción del trabajo de investigación, donde se podrá encontrar la problemática a resolver y su respectiva justificación, consecutivo a la solución del problema con la hipótesis que se planteó desde el inicio seguido del objetivo general y objetivos específicos.

## **Capítulo 2**

Este capítulo cuenta con las bases para entender el trabajo de investigación, comenzando con los antecedentes sobre la atención y algunos conceptos sobre la atención, así como sus características, después se desglosan los tipos de atención que existen dentro del área psicológica, así como algunos test que ayudan a medir la atención.

## **Capítulo 3**

Para este capítulo se muestran reportados los antecedentes consultados en la revisión del estado del arte acerca de dispositivos de EEG utilizados para el análisis de estructuras cerebrales. Cada uno de ellos describe a grandes rasgos cómo se realizaron los experimentos y los métodos que se utilizaron para el procesamiento de los datos.

## **Capítulo 4**

Aquí se muestran los métodos que se utilizaron para los experimentos que se llevaron a cabo en este trabajo de investigación, donde se describe el pre-procesamiento de los datos, la extracción de características y su clasificación para determinar el nivel de atención.

## **Capítulo 5**

En este capítulo se reportan los resultados obtenidos tras la implementación de los métodos utilizados, se muestran los resultados obtenidos de las pruebas en papel, así como las señales que se obtuvieron del EEG. Para el análisis, primero se utilizaron los cinco bandas del EEG y se compararon con las bandas Beta y Gamma, esto con el fin de determinar si es posible obtener un buen porcentaje de clasificación de la atención con tan solo dos bandas el EEG.

## **Capítulo 6**

En este capítulo se reportan las conclusiones a las que se llegaron en este trabajo de investigación y se enuncian las recomendaciones y trabajo a futuro sobre esta investigación u otro tipo de investigaciones que se realicen utilizando la diadema MUSE.

## ***Capítulo 1 Introducción***

La electroencefalografía (EEG) es un medio sensible para capturar la actividad cerebral, en otras palabras, es un método de monitoreo para registrar la actividad eléctrica del cerebro. Hoy día existe diversos dispositivos de electroencefalograma que permiten llevar a cabo investigaciones científicas. Por ejemplo, para diagnosticar problemas médicos, la comprensión de los estados mentales y trastornos del sueño. El presente trabajo de investigación se basa en desarrollar un análisis de señales EEG que permita identificar el nivel de atención selectiva mientras se desarrolla una actividad que requiera un estado mental de concentración.

### ***1.1 Definición del problema***

La atención selectiva permite dirigir la atención y concentrarse en estímulos relevantes mientras omite el procesamiento de estímulos irrelevantes en un evento, durante un periodo de tiempo determinado. Para evaluar la atención existen diversos cuestionarios psicológicos, por ejemplo, el test d2 de atención que permite evaluar la atención selectiva por medio de la rapidez del procesamiento de la información, el proceso de seguir instrucciones y la ejecución para discriminar estímulos visuales similares. Por otra parte, la electroencefalografía dentro de las neurociencias se utiliza para evaluar los estados mentales. Sin embargo, no existen estudios que analicen la posible

correlación entre estas técnicas de evaluación. Por esta razón, en esta investigación se plantea analizar la correlación entre las diferentes variables del test d2 de atención y la actividad eléctrica cerebral.

## ***1.2 Justificación***

Dentro de la literatura se ha implementado el test d2 para evaluar la atención en los diferentes niveles académicos. Por ejemplo, en el estudio [1] sugiere que los alumnos que realizan una actividad física intensa mejora la capacidad cognitiva comparado con los alumnos que no realizan una actividad física intensa, esto les permitió un mejor su desempeño durante la prueba d2. En otro estudio [2] se evalúa la atención y concentración de alumnos de pregrado y de maestría durante los exámenes, además se pretendía comprobar si existía una correlación entre los factores de ansiedad, edad y nivel de concentración. Los resultados demuestran que los alumnos que manejan mejor los niveles de ansiedad tiene un mejor desempeño en procesos de atención específica. También se observó que los alumnos de maestría obtuvieron una mejor atención y concentración en comparación con los alumnos de pregrado, esto demuestra que existe una correlación entre la edad y el nivel académico de los estudiantes.

Según [3] es posible reconocer el estado mental de concentración y relajación de las personas a través del análisis de las ondas cerebrales que proporciona la diadema MUSE. Para la seleccionar los canales adecuado se utilizó un

modelo de jerarquía analítica, los autores mencionan que esto permite aumentar la precisión de la clasificación y reducir la complejidad de los datos. Para la clasificación utilizaron Maquinas de Vector Soporte (SVM) y una Red Neuronal Feedforward. Los resultados demuestran que se tiene una mejor predicción de los datos con la Red Neuronal Feedforward en comparación con la Maquina de Vector Soporte.

### ***1.3 Objetivos***

#### ***1.3.1 Objetivo general***

Caracterizar las señales de electroencefalograma para determinar el nivel de atención selectiva en comparación con el test d2 de atención.

#### ***1.3.2 Objetivos específicos***

- Realizar una búsqueda literaria de temas relevantes sobre la atención selectiva.
- Diseñar un protocolo experimental para la adquisición de señales electrofisiológicas.
- Implementar protocolo experimental.
- Procesar y caracterizar las señales electrofisiológicas obtenidas.
- Generar conocimiento (Artículo, tesis).

## ***1.4 Hipótesis***

Al utilizar técnicas de inteligencia artificial en bandas específicas de la señal de electroencefalograma, es posible encontrar una correlación entre la señal y los puntajes del test d2 de atención, para determinar el nivel de atención selectiva mediante el uso de dispositivos portátiles de electroencefalograma.

## ***1.5 Alcances y Limitaciones***

### ***1.5.1 Alcances***

- Se realizará la implementación del protocolo experimental para recabar las muestras de las señales EEG.
- Se realizará el análisis de las señales para la extracción de características.
- Se realizará la clasificación de las señales EEG utilizando técnicas de inteligencia artificial para identificar el nivel de atención selectiva en los participantes.

### ***1.5.2 Limitaciones***

La toma y cantidad de muestras se puede ver afectada, ya que solo se cuenta con dispositivo de adquisición de señales EEG.

La llegada de la pandemia covid-19 impidió que se pudieran recolectar un número mayor de muestras de EEG, ya que al estar un grupo de personas reunidas el virus podría propagarse con mayor rapidez.

## ***Capítulo 2 Marco Teórico***

En este capítulo se presentan los conceptos más relevantes para la investigación que se realizó, se da una breve introducción a los antecedentes de la atención, se exponen diversas definiciones sobre la atención, también se desglosan los tipos de atención, los tipos de test que son utilizados por los psicólogos para determinar los niveles de concentración.

### ***2.1 Antecedentes históricos de la atención***

Uno de los primeros términos sobre la atención fue definido por el filósofo y psicólogo William James quien describe la atención como un proceso mental que adquiere posesión de diversos pensamientos y con la ayuda de la focalización y concentración ser capaz de elegir aquellos que sean sobresalientes de los que no lo sean [4].

De acuerdo con el neuropsicólogo Aleksandr Lúriya la selectividad y la permanencia son dos factores esenciales que ayudan a la atención para separar la actividad mental y la vigilia de la actividad mental, esto debido a procesos neurofisiológicos que ayudan a establecer cualidades de los procesos involuntarios de la atención [5].

Desde el punto de vista de [6] propone una definición de la atención desde el área de la psicología, para la selección de información relevante ante una situación el estado cognitivo dinámico ayuda al comportamiento selectivo en

una situación específica, esto se debe al reparto de valores de activación a través de esquemas y acciones, esto favorece a una adecuada orientación del comportamiento a las circunstancias de la tarea.

Como se menciona en [7] la atención se define como un mecanismo de control que permite regular los demás procesos cognitivos, de tal forma que complementa los diferentes componentes de procesamiento como por ejemplo la captación de información, memorizar información relevante, razonamiento de problemas, etc.

De acuerdo con [8] mencionan que la atención está dividida en cuatro tipos que son: atención focalizada, atención sostenida, atención selectiva, y atención dividida.

## ***2.2 La atención***

La atención se puede definir como un proceso cognitivo e imprescindible para procesar la información que sea adquirida de tareas específicas que se lleven a cabo [9]. El ser humano cuenta con esta capacidad para darse cuenta de los sucesos que ocurren a su entorno, es decir, que cuenta con la capacidad para centralizar el pensamiento sobre una actividad determinada.

Dicho de otra forma, es un grupo de procesos cognitivos que trabajan de forma conjunta y coordinada. Uno de estos subprocesos en la atención selectiva, definida como el proceso para seleccionar ciertos estímulos relevantes mientras se ignoran los estímulos irrelevantes en el entorno [10].

Las principales funciones de la atención se basan en la capacidad de mantener un estado de alerta hacia un determinado objetivo [11].

La atención es el proceso más básico para el procesamiento de la información, así como también tiene un papel relevante para otros procesos como la memoria, el aprendizaje, el lenguaje entre otros, el conjunto de todos estos procesos nos permite conocer la forma en que percibimos y entendemos los estímulos que se encuentran en nuestro entorno [12].

La atención está relacionada con tres funciones mentales que son la consciencia, la vigilia y las emociones.

Algunas características principales de la atención son [13]:

- Tener control sobre una capacidad cognitiva.
- Prevenir la carga excesiva de información.
- Permite el desarrollo de las habilidades y determina dirección de la motivación.
- Establecer un procedimiento adecuado a los estímulos sensoriales relevantes.

## ***2.3 Tipos de atención***

### ***2.3.1 Atención focalizada***

Este tipo de atención es el nivel más básico ya que solo actúa de una forma específica a un estímulo táctil, visual, auditivo, etc., durante un tiempo indeterminado [14].

La atención focalizada además permite dirigir nuestra atención a estímulos relevantes de aquellos que no lo son, esto forma una correlación con nuestra percepción, también con otras funciones mentales primarias como la memoria de trabajo [15].

### ***2.3.2 Atención sostenida***

Corresponde a un estado de alerta que hace referencia a la habilidad de conservar una réplica firme durante la realización de una actividad constante y repetitiva. Este proceso implica dos tareas relacionadas entre sí que conforman la estructura de la atención sostenida, las cuales son: las Tareas de Ejecución Continua (CPT) y las Tareas de Vigilia (TVI), en ambos casos son tareas simples y dirigidas específicamente al mecanismo atencional [16].

- En esencia las CPT consiste en mantener y manipular psicológicamente la información requerida para la realización de una tarea.
- Mientras que las TVI es la facultad para ejecutar una tarea durante un periodo prolongado de tiempo.

### *2.3.3 Atención selectiva*

La atención selectiva comprende la capacidad humana para reaccionar a los estímulos relevantes y no ser distraído por estímulos irrelevantes o estímulos perturbadores. Esto incluye, por un lado, la capacidad de reconocer y seleccionar los estímulos más importantes a partir de una gran cantidad de información y, por otro lado, la capacidad de filtrar y suprimir los estímulos perturbadores o distractores. Si todos los estímulos fueran procesados por el organismo con la misma prioridad, una acción ordenada sería imposible debido a un exceso de estímulos sensoriales. Por lo tanto, dentro de la psicología del procesamiento de la información, la atención se ve principalmente desde el punto de vista de la selección (atención selectiva).

La atención selectiva se suele registrar con tareas de elección-reacción, en las que las pruebas de papel y lápiz que se utilizan son pruebas tachadas como el test d2 de atención de Brickenkamp, en la que las letras o caracteres incrustados en estímulos perturbadores deben reconocerse y marcarse, normalmente durante un período de tiempo limitado. [17].

Esta forma de atención describe la capacidad de realizar una tarea de manera constante y decidida y de abstenerse de tendencias de acción en competencia (por ejemplo, soñar despierto, emprender una nueva actividad).

### ***2.3.4 Atención dividida***

Este es el tipo más importante cuando se trata de flexibilidad cognitiva. Básicamente, implica la capacidad de cambiar el enfoque de atención y alternar entre diferentes tareas. Por lo general este tipo de atención está presente en las actividades que realizamos en nuestra vida cotidiana, por ejemplo, tomar apuntes en una clase, en esta simple actividad la atención tiene un papel muy importante porque debe alternarse para escuchar al maestro y al mismo tiempo tomar apuntes [18].

### ***2.3.5 Atención alternante***

Es la capacidad de mantener una respuesta conductual constante a través de una actividad continua y repetitiva. Esta es una de las habilidades humanas más importantes es la capacidad de concentrarse en la información y recordarla. Para lograrlo, es necesario en primer lugar entrenar la atención. Sin él, no podrás resaltar lo principal y darle el comando al cerebro para recordar lo necesario [19].

## 2.4 Tests para medir la atención

A continuación se describen los tests que suelen utilizarse para determinar el nivel de atención y concentración de una persona, por lo general este tipo de test se les denominan pruebas de cancelación. Estos tests ponen a prueba diversos procesos cognitivos como la velocidad de procesamiento de la información, una coordinación visual y motora [20].

### 2.4.1 Trail making test (TMT)

Es un test neuropsicológico que consta de dos partes como se muestra en la Figura 2.1. La sección A consta de una serie de números, se tiene que dibujar una línea del círculo que contenga el número uno, y seguir con el círculo que contenga el número dos y así sucesivamente hasta llegar al último número, se tiene que realizar lo más rápido posible sin levantar el lápiz del test [21].

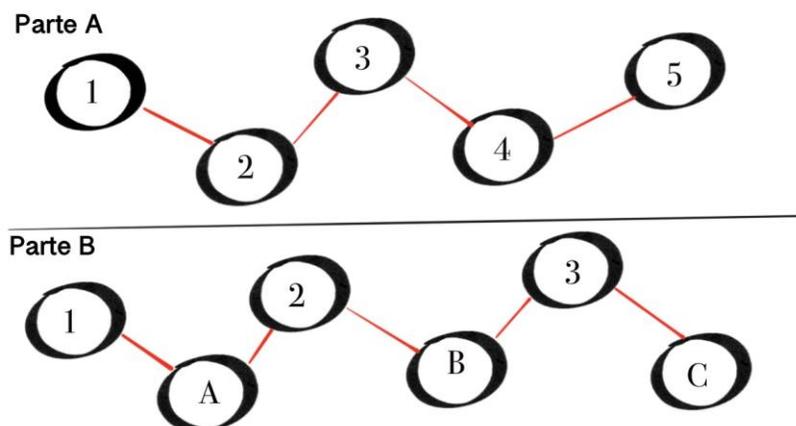


Figura 2.1 Ejemplo del Test trail making test

La sección B consta de una serie de números y letras, como se muestra en la figura anterior. Para esta sección debe dibujar una línea que comienza en con

el número uno seguido hacia la letra A, después seguir con el número dos hacia la letra B, se tiene que seguir este patrón, primero el número y después la letra que le corresponda hasta terminar realizar el test [22].

Aspecto que evalúa el TMT:

- La atención
- Velocidad psicomotora
- Flexibilidad cognitiva

#### ***2.4.2 Test d2***

Este test permite evaluar la atención selectiva y la concentración, fue creado por R. Brickenkamp para medir las capacidades de atención sostenida y selectiva, esta obra cuenta con derechos de autor, pero se puede utilizar con fines académico. Consiste en catorce líneas con letras, se deben marcar todas las letras “d” o “p” que tengan dos rayitas durante el tiempo determinado, estas rayitas pueden estar arriba, abajo o una arriba y una debajo de las letras “d” y “p” como se muestra en la Figura 2.2. Este test se puede aplicar niños como en personas adultas [23].

Elementos que puede medir el test d2:

- Velocidad de procesamiento
- Cantidad de trabajo realizado
- Precisión del procesamiento
- Precisión en la búsqueda

- Nivel de concentración

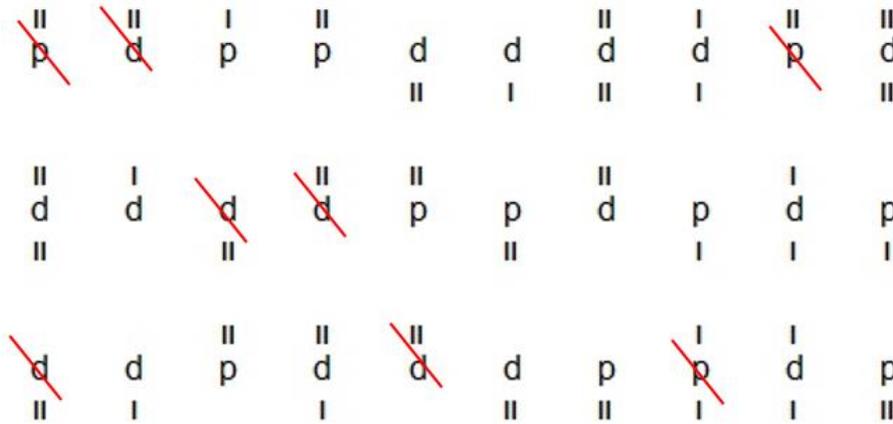


Figura 2.2 Muestra de caracteres que contiene el test d2

### 2.4.3 SDMT (*Symbol Digit Modalities test*)

La prueba de símbolos y dígitos es utilizada para evaluar la velocidad de procesamiento de información y la atención sostenida, pero también suele utilizarse dentro del área neurológica para detectar algunos problemas sobre las funciones cerebrales como funciones motoras y procesos de aprendizaje [24].

El test de modalidades de símbolos y dígitos evalúa:

- La percepción visual
- Identificación de estímulos
- Atención focalizada
- Atención selectiva

- Atención sostenida

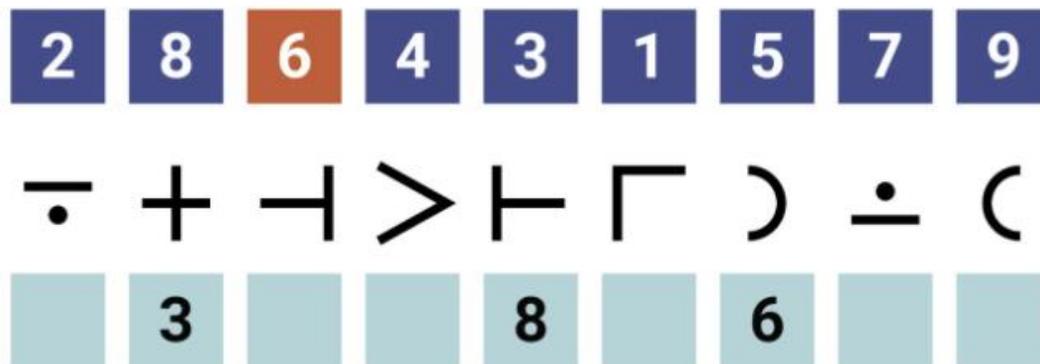


Figura 2.3 Symbol Digit Modalities Test (SDMT)

El SDMT consiste en un conjunto de símbolos, a cada símbolo se le asigna un número como se puede apreciar en la Figura 2.3, el participante debe colocar el número correspondiente para para símbolo antes de que termine el tiempo establecido (el tiempo puede variar dependiendo de cuantas filas y columnas contenga la prueba), este test es muy sencillo de aplicar, se puede realizar tanto en niños como en personas adultas [25].

### ***2.3 El cerebro***

El cerebro es un órgano del cuerpo humano que cuenta con millones de células que crean conexiones para generar procesos en el cuerpo humano, éste órgano se divide en dos partes principales que son, el hemisferio izquierdo y hemisferio derecho, estos están unidos el cuerpo calloso que sirve de enlace para que los hemisferios puedan comunicarse [26].

Cada hemisferio lleva a cabo funciones específicas, en el caso el hemisferio izquierdo se encarga del análisis y la lógica de nuestro pensamiento, en tanto el hemisferio derecho se encarga procesar estímulos emocionales [27]. A continuación, se muestra una lista más detalla de las funciones del hemisferio izquierdo y del hemisferio derecho:

<i>Hemisferio izquierdo</i>	<i>Hemisferio derecho</i>
<i>Pensamiento lógico</i>	<i>Habilidad artísticas</i>
<i>Habilidades lingüísticas</i>	<i>Sueños y fantasías</i>
<i>Proceso de memorización</i>	<i>Sentimientos</i>
<i>Reconocimiento de símbolos</i>	<i>Procesamiento de la información no verbal</i>
<i>Control de la movilidad derecha del cuerpo</i>	<i>Control de la movilidad izquierda del cuerpo</i>

*Tabla 2. 1 Funciones específicas que le corresponden a cada hemisferio*

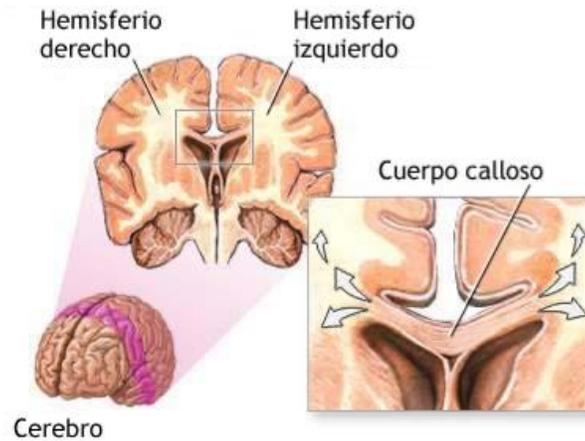


Figura 2.4 Partes del cerebro (hemisferio izquierdo, hemisferio derecho y cuerpo calloso) [19]

El cerebro se encarga de procesar todos los estímulos que son captados por lo sentidos del cuerpo humano Figura2.4 (tacto, olfato, oído, gusto y vista), esto permite que el cerebro puede ejecutar una respuesta sensitiva, motora o integradora dependiendo del estímulo que se reciba[28].

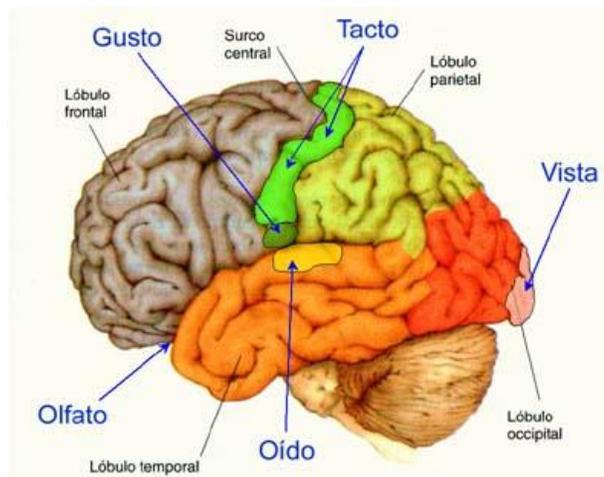


Figura 2.5 Regiones del cerebro donde se ubican los sentidos [29]

### 2.3.1 Circuito triangular de LaBerge

El neuropsicólogo David LaBerge desarrollo trabajos de investigación enfocados en encontrar las regiones del cerebro donde se procesa la atención y la conciencia. A partir de sus investigaciones propuso un esquema llamado del circuito triangular Figura donde se interconectan varias partes del cerebro que se enfoca especialmente en la atención selectiva, la atención sostenida y la conciencia [30].

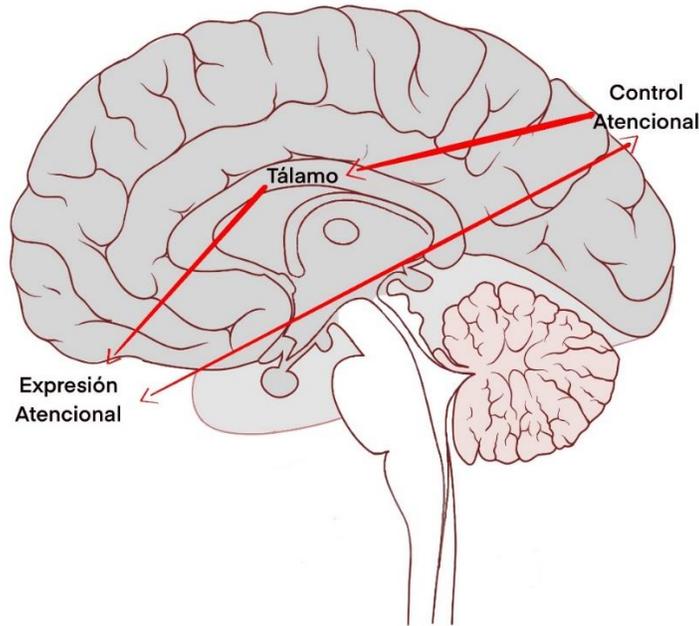


Figura 2.6 Esquema de LaBerge circuito triangular

El circuito triangular de LaBerge consta de corteza prefrontal, áreas corticales y el área del tálamo, la corteza prefrontal y las áreas corticales se encargan de obtener la información proveniente del exterior, por ejemplo, del área visual o auditiva, el tálamo se encarga de realizar el proceso de mejorar la atención a un estímulo que resulte relevante para para la persona en ese

momento [31] [32]. Por lo general cuando no se presta atención a un estímulo solo pasa por una parte del cerebro ya sea la corteza o alguno de las áreas corticales, y cuando se presta atención o concentración se asocia el tálamo a algunas de estas secciones del cerebro.

## ***2.4 La neurociencia***

La neurociencia se encarga del estudio de la estructura del funcionamiento del sistema nervioso. La investigación del cerebro se centra en particular en la investigación del Sistema Nervioso Central (SNC) de los seres humanos y mamíferos. Los neurocientíficos intentan no solo comprender cómo funciona el cerebro como órgano, sino también cómo los procesos neuronales están relacionados con los procesos mentales [33].

Al pasar de los años los investigadores han desarrollado métodos de investigación cada vez más útiles para la comprensión de la estructura y el funcionamiento del sistema nervioso.

A continuación, se mencionan algunos aspectos principales del estudio de la neurociencia en el cerebro:

- Definir la estructura y funcionamiento de las neuronas del cerebro
- Saber cómo se comunican las neuronas entre sí
- Definir los mecanismos neurobiológicos responsables de la cognición
- Establecer los fundamentos estructurales del comportamiento del cerebro del aprendizaje, atención, memoria, creatividad, el habla, etc.

### ***2.4.1 principales áreas de la neurociencia***

- 1. Neurociencia cognitiva:** busca analizar el cerebro desde una perspectiva psicológica, principalmente se enfoca en el lenguaje, la imaginación, motivación, y el pensamiento [34].
- 2. Neurociencia afectiva:** se encargar de análisis de las bases neuronales del sistema de emociones primarios, como las emociones positivas (búsqueda, lustración, cuidado y juego) y negativas (miedo, pánico enojo, tristeza) [35].
- 3. Neurociencia conductual:** analiza el funcionamiento de los sistemas neuronales relacionados con el comportamiento o conducta animal y humana [36].
- 4. Neurociencia social:** se centra en la comprensión de las funciones neuronales y hormonales que producen un efecto sobre la cognición social y algunas emociones (compasión, justicia, empatía, etc.) [37].
- 5. Neurociencia celular:** se encarga del estudio de las neuronas a un nivel celular, analiza el comportamiento de las neuronas, sus propiedades, y la forma en cómo se enlazan y comunican entre ellas.

### ***2.5 Adquisición de las ondas cerebrales***

Para la adquisición de señales cerebrales se catalogan en dos tipos: invasivas (requiere de una pequeñas incisión del cráneo o algún tipo de químico que suele inyectarse en la sangre) y no invasivas (se utilizan electrodos que

captan los pulsos eléctricos del cerebro a través del cuero cabelludo), estas nuevas tecnologías permiten estudiar toda la estructura, composición y funcionamiento del cerebro, esto ha sido de gran impacto porque ha permitido el diagnóstico de enfermedades mentales, así como tratamiento médico [38] [39].

### ***2.5.1 Electroencefalografía***

Con los nuevos avances tecnológicos, se han propuesto varias alternativas que permiten realizar estudios para la mejora de calidad de vida de las personas. Dentro de estas tecnologías se encuentra el electroencefalografía el cual nos permite recabar un registro de la actividad rítmica cerebral a través de varios electrodos [40].

El electroencefalograma es una técnica no invasiva que permite medir la actividad eléctrica cerebral. También se define como técnicas que permiten medir la sumatoria de potenciales postsinápticos inhibitorios y excitatorios neuronales [41]. La adquisición de estas señales se lleva a cabo por medio de electrodos de superficie como se muestra en la Figura 2.7 que se posiciona sobre el cuero cabelludo de acuerdo a varios estándares internacionales, como en el Sistema Internacional 10-20, como se muestra en la Figura 2.8 [42]. El electroencefalograma tiene una serie de usos clínicos que van desde la monitorización de los estados de vigilia o excitación normales hasta situaciones clínicas complejas que implican convulsiones o coma [43].



cerebral. Las ondas delta se relacionan con el estado de sueño profundo, las ondas theta son relacionadas con somnolencia, sueño ligero, las ondas alfa ocurren durante la relajación de vigilia, las ondas beta se relacionan con tareas cognitivas y las ondas gamma se relaciona con la toma de decisiones, pensado activamente o resolviendo problemas [45].

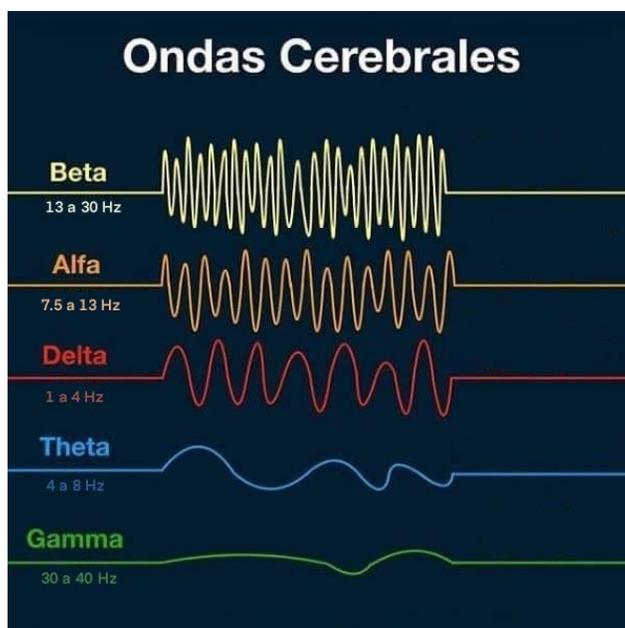
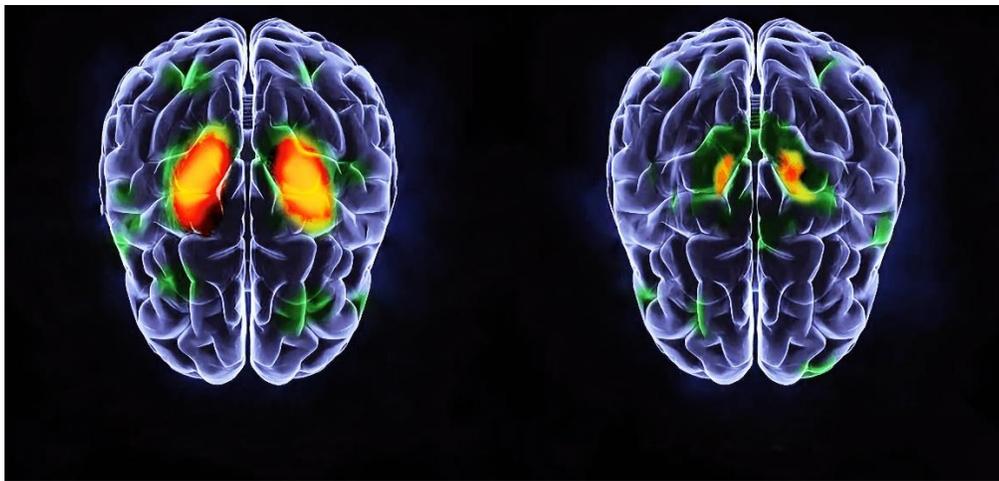


Figura 2.9 Ondas cerebrales

### 2.5.2 Magnetoencefalografía (MEG)

Es una tecnología no invasiva que permite medir y visualizar los campos magnéticos ver Figura 2.10, generados por la actividad eléctrica en el cerebro [46], su funcionamiento radica en el registro de campos magnéticos súper débiles que resultan del flujo de corrientes eléctricas en el cerebro.

Cuando las neuronas se comunican se genera un impulso eléctrico, el MEG capta estas señales para formar mapa de la actividad cerebral cuando se produce algún tipo de proceso cognitivo, los dispositivos más modernos pueden captar las señales en cuestión de milisegundos, esto le da una ventaja con el resto de tecnologías [47].



*Figura 2.10 Imagen digital de MEG*

Características principales de MEG:

- Mide directamente el funcionamiento de las células nerviosas
- Tiene una resolución temporal muy alta en comparación con otras tecnologías
- Es completamente no invasivo
- Proporciona imágenes completas del funcionamiento del cerebro

- Permite la reconstrucción de la actividad cerebral con mayor precisión a partir del registro de potenciales eléctricos
- Su señal no se disminuye al pasar por los diferentes tejidos del cráneo

### ***2.5.3 Imagen de resonancia magnética funcional (fMRI)***

La imagen de resonancia magnética funcional permite medir el cambio de flujo sanguíneo en el cerebro cuando ocurre algún proceso mental. Cuando en el cerebro se produce un incremento de actividad por consecuencia también hay un mayor flujo de sangre esto permite que la fMRI pueda generar una imagen de la región del cerebro que se activa por diferentes factores físicos [48].

La imagen de resonancia magnética funcional del cerebro permite obtener información valiosa sobre trastornos mentales, patologías neurodegenerativas y trastornos del movimiento. El resultado del estudio son los mapas de actividad neuronal, que el especialista proyecta sobre el modelo reconstruido de la corteza [49].

La fMRI se utiliza para el diagnóstico de:

- Enfermedades crónicas del sistemas nervioso central
- Visualizar lesiones cerebrales
- Observar cambios patológicos
- Identificar trastornos mentales y neurológicos

- Realizar mapas de las zonas del habla, corteza visual, extremidades motoras superiores e inferiores
- Realizar mapeo del cerebro antes de realizar alguna técnica invasiva

## ***2.6 Técnicas de inteligencia artificial***

El aprendizaje computacional nos permite la generación de modelos que son capaces de aprender a partir de conjuntos de datos. Dentro del aprendizaje computacional existen dos tipos que son el aprendizaje supervisado y el aprendizaje no supervisado, estas técnicas nos ayudan a separar la información a través de patrones [50].

### ***2.6.1 Aprendizaje supervisado***

El aprendizaje supervisado es aquel que está enfocado en aprender las relaciones de entradas junto con las etiquetas de salida de conjunto de datos que han sido etiquetados previamente para su clasificación. Este tipo de aprendizaje se utiliza para generar modelos o algoritmos de conjuntos de bases de datos para posteriormente poder generar una clasificación de datos o predicciones aproximadas a los resultados esperados [51].

El aprendizaje supervisado consta de dos etapas, la primera etapa es la de entrenamiento donde se utiliza para la generación de características del conjunto de datos y la segunda etapa es la clasificación se utiliza para la

generación de clases utilizando los datos previos de la etapa de entrenamiento.

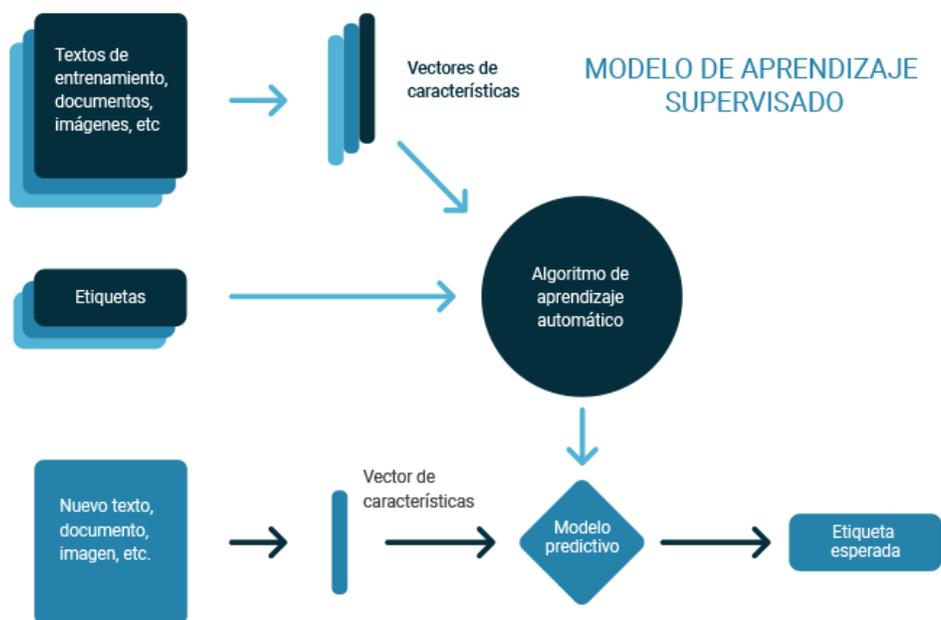


Figura 2.11 Modelo de aprendizaje supervisado [52]

Estos tipos de aprendizaje supervisado se pueden dividir en dos tipos:

- Clasificación: con esta clasificación se generan algoritmos que permiten la agrupación de los datos en diversas categorías con una mayor precisión.
- La regresión: este método utiliza los diferentes tipos de regresión lineal dependiendo de las características del conjunto de datos se pueden utilizar la regresión lineal, logística y polinomio para encontrar una relación entre variables que son dependientes de las variables independientes.

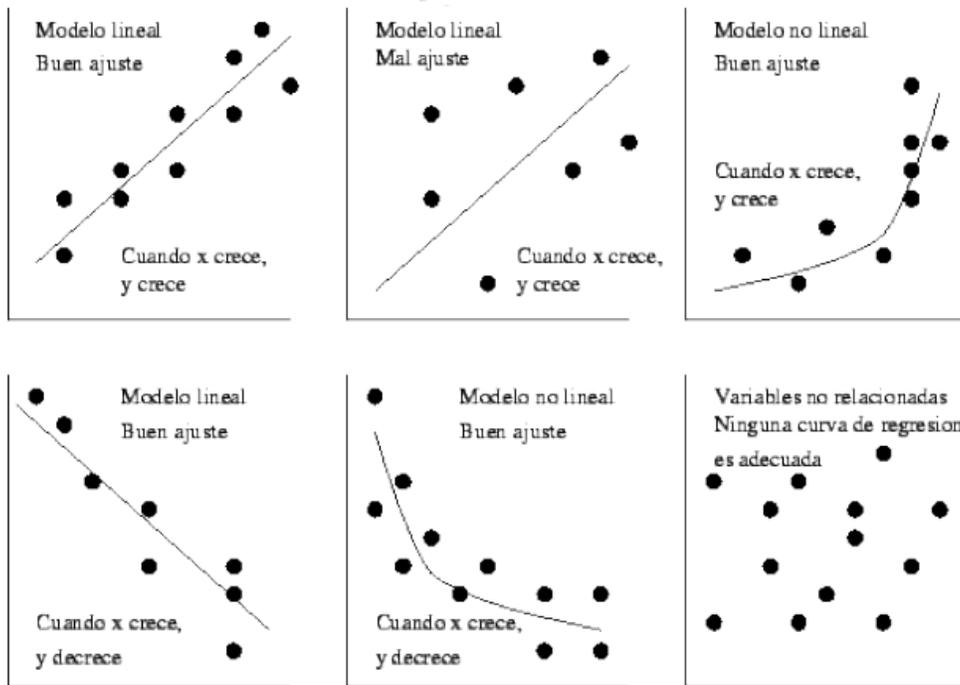


Figura 2.12 Tipos de regresión lineal [53]

### 2.6.2 Aprendizaje no supervisado

El objetivo del aprendizaje no supervisado es el de recabar información que sea útil de una gran cantidad de datos, sin que previamente se hayan etiquetado los datos de entrada y de salida, para de esta manera poder realizar un modelo y poder realizar una agrupación de datos, estos modelos de aprendizaje no requieren tanta intervención humana para entender la estructura de datos que nos etiquetados, esto conlleva una desventaja con respecto a los modelos supervisados que suelen ser un poco más precisos que los modelos no supervisados [54].

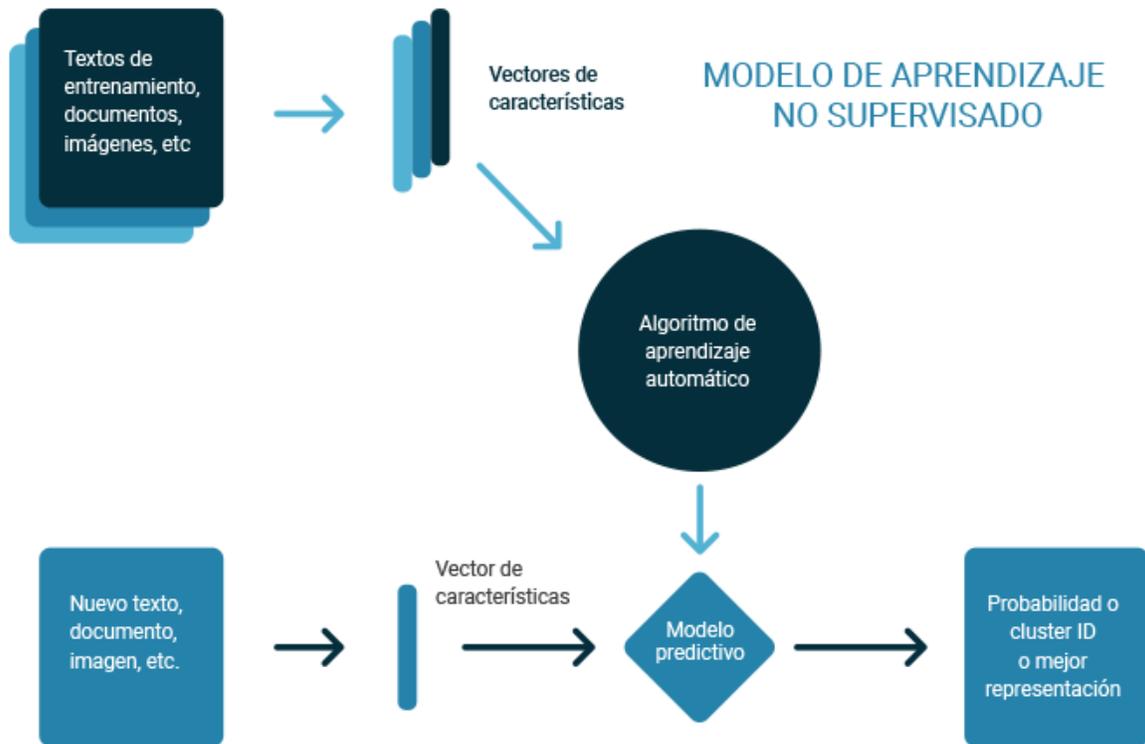


Figura 2.13 Modelo de aprendizaje no supervisado [52]

### 2.6.3 Algoritmo K-NN

Este algoritmo corresponde al modelo de aprendizaje supervisado, que se refiere al k vecino más cercano (K-NN), el algoritmo en la etapa de entrenamiento genera grupos donde va colocando los datos que se encuentren más cercanos a una determinada clase dependiendo de algunas características y la distancia a cada clase que haya sido generado previamente, el algoritmo utiliza en conocimiento previo de la etapa de entrenamiento para poder determinar al vecino más próximo a una determinada clase [55].

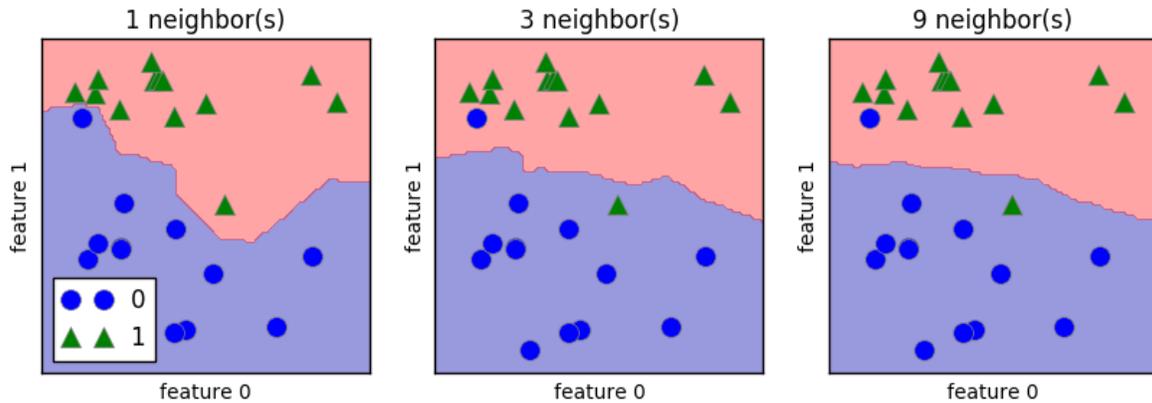


Figura 2.14 Algoritmo de K-NN [56]

### 2.6.4 Algoritmo de K-Medias

El K-Medias se encuentra dentro de los modelos de aprendizaje no supervisado, el método K-Medias es un método de análisis de agrupaciones, cuyo propósito es dividir un conjunto de datos en k agrupaciones, en la etapa de prueba calcula cual es el centroide más cerca para colocar los datos dentro de esa agrupación [57].

Características del algoritmo de k-Medias

1. La distancia euclidiana se usa como métrica.
2. El número de agrupaciones no se conoce de antemano y el investigador lo elige.
3. La calidad de la agrupación en clústeres depende de la partición inicial.

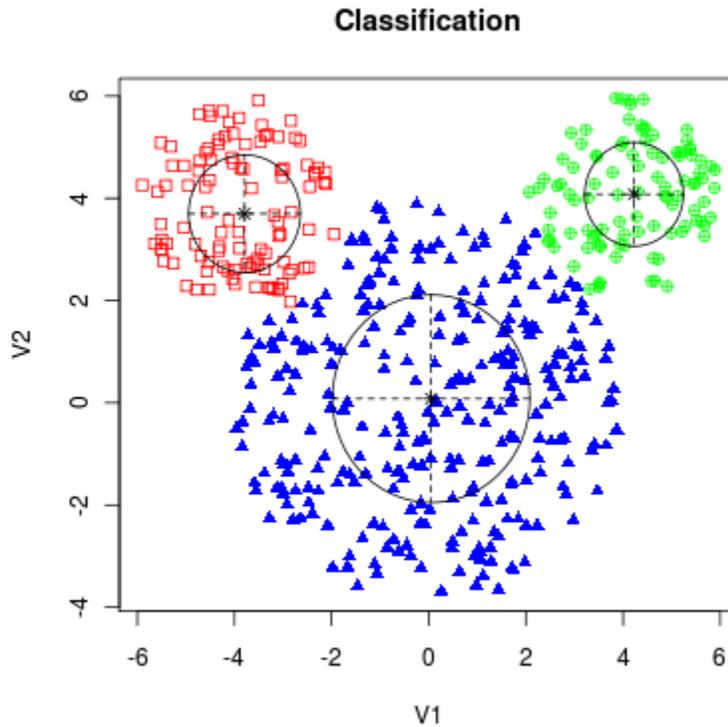


Figura 2.15 Algoritmo de *k*-Medias [56]

## 2.7 Extrapolación

La extrapolación es un proceso matemático que permite la estimación de nuevos valores con respecto a los ya existentes, este método proporciona valores aproximados que se encuentran fuera del rango de muestras de una señal o de un rango de muestreo. A diferencia de la interpolación la extrapolación tiene una mayor incertidumbre por lo que es menos preciso al estimar los valores, esto puede generar que los datos obtenidos sean irrelevantes.

Se toman dos datos para poder estimar el dato que le sigue que es el dato que será extrapolado, para ello se utiliza la siguiente formula:

$$y(x_*) = y_{k-1} + \frac{x_* - x_{k-1}}{x_k - x_{k-1}} (y_k - y_{k-1})$$

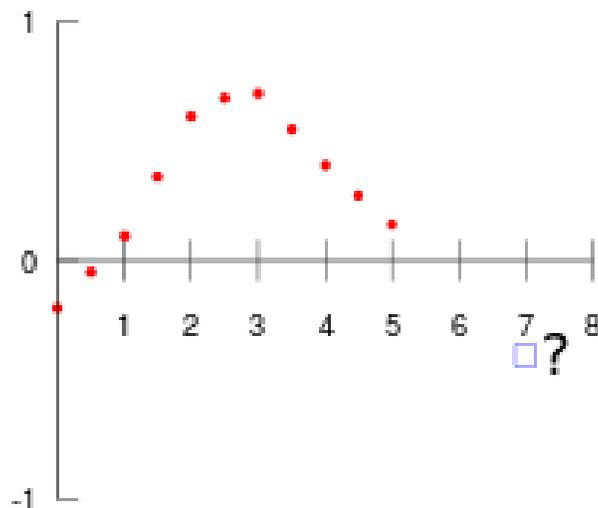


Figura 2.16 Extrapolación fuera del rango de la muestra

## 2.8 Interpolación

La interpolación es un método matemático que permite la estimación de valores que se encuentra entre dos puntos, los valores aproximados que permite encontrar el método se encuentran dentro del rango de muestreo. Todos los puntos de la línea distintos de los dos originales pueden considerarse valores interpolados [58].

Para calcular los valores intermedios con la interpolación se necesitan conocer dos valores o dos puntos  $f(x_1), f(x_2)$  y se aplica la siguiente formula:

$$f(x) = f(x_1) + (x - x_1) \frac{f(x_2) - f(x_1)}{x_2 - x_1}$$

La interpolación es un método fiable para calcular valores aproximados de la función desconocida.

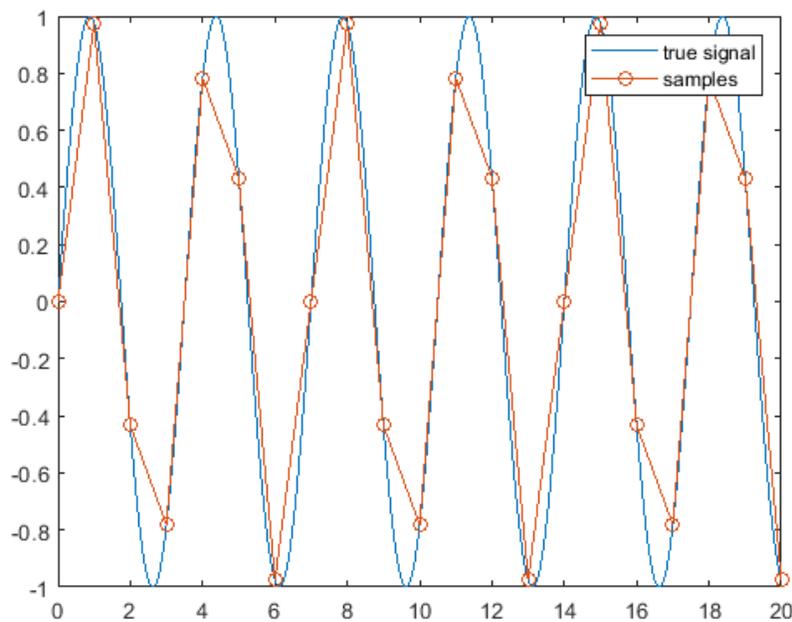


Figura 2.17 Interpolación de una señal [59]

## ***Capítulo 3 Estado del Arte***

A continuación, se presentan los trabajos de investigación más importantes que se relacionan con los equipos de EEG, concentración y atención.

### ***3.1 Clasificación del estrés mental percibido***

Se han desarrollado varias investigaciones con la ayuda de dispositivos EEG portátiles, de acuerdo a [60] se llevó a cabo un estudio para determinar el nivel de estrés de una persona analizando las señales EEG. Para esto utilizaron un cuestionario de Escala de Estrés Percibido que permitió realizar una validación entre una prueba ya establecida y una alternativa de medición de estrés, que en este caso son las señales de la diadema MUSE de EEG. Para poder clasificar las señales de EEG se extrajeron cinco características para cada canal de frecuencia, Densidad Espectral de Potencia (PSD), Correlación (C), Asimetría Divisional (DASM), Asimetría Racional (RASM) y Espectro de Potencia (PS) de las bandas delta, theta, alfa, beta y gamma y se utilizaron tres clasificadores: Máquinas de Vector Soporte, Naive Bayes, y Perceptrón Multicapa para clasificar el nivel de estrés de los participantes. Los resultados obtenidos muestran que el MPL dio los mejores resultados de clasificación con una precisión de 92.85% para dos clases (estresado y no estresado). El aporte de esta investigación es un algoritmo para seleccionar las mejores características de las señales EEG.

### ***3.2 Predicción de estados cerebrales de concentración y relajación en tiempo real con electroencefalogramas portátiles***

De acuerdo a [3] es posible reconocer el estado mental de concentración y relajación de las personas a través del análisis de las ondas cerebrales que proporciona la diadema MUSE. Para la selección de los canales adecuados se utilizó un modelo de jerarquía analítica, los autores mencionan que esto permite aumentar la precisión de la clasificación y reducir la complejidad de los datos. Para la clasificación utilizaron Máquinas de Vector Soporte y una Red Neuronal Feedforward. Los resultados demuestran que se tiene una mejor predicción de los datos con la Red Neuronal Feedforward en comparación con la Máquina de Vector Soporte.

### ***3.3 Identificación de usuarios y actividades con procesamiento de señales cognitivas de una diadema portátil***

En [61] se estudió la clasificación de las señales de EEG para identificar a personas y la actividad que realizaban que son: leer una revista, permanecer sentado en silencio, ver un video, jugar un juego de computadora y escuchar música (todas las actividades tienen un tiempo de duración de 1-3 minutos). Utilizaron los siguientes clasificadores Máquinas de Vector Soporte, Árboles de Decisión, bosques aleatorios y redes neuronales. Las pruebas de

entrenamiento de todo el conjunto de datos mostraron que SVM y Bosques Aleatorios pueden predecir con éxito una clase para persona, actividad o persona y actividad con 100% de precisión. Además, las redes neuronales también pudieron predecir la persona con el 100% y la actividad con el 95%, aunque no funcionó bien para predecir la persona y la actividad juntas. Los autores mencionan que las cuatro técnicas de clasificación tuvieron éxito al identificar a las personas en función con las señales cerebrales recopiladas. En cambio, los resultados obtenidos para identificar la actividad que realizaron fueron un poco menos precisos. El SVM fue el mejor clasificador para identificar a la persona y la actividad que realizó con una precisión de 85% y 78% respectivamente.

### ***3.4 Un estudio sobre la clasificación del estado mental utilizando la interfaz cerebro-máquina basada en EEG***

En [62] se enfocó en encontrar un conjunto apropiado de características de EEG con ayuda de clasificadores para poder categorizar patrones en las ondas cerebrales en función a un nivel de actividad esto para determinar un estado mental útil para la interacción humano-maquina. Dentro de los estados mentales que categorizaron son relajación, neutralidad y concentración. Para obtener el conjunto de características que permitieran discriminar de forma adecuada las diferentes clases de estados mentales fueron utilizadas técnicas estadísticas como la Transformada Rápida de Fourier, Entropía de Shannon,

Características Máximo-Mínimo en secuencias temporales y Covarianza Logarítmica. Además, para eliminar datos que no tienen una aplicación útil dentro del análisis los autores utilizaron diferentes métodos como OneR, Ganancia de información, Correlación, Incertidumbre de simetría y Algoritmo Evolutivo. Con solo 44 características de un conjunto de más de 2100 características son necesarias cuando se utilizan clasificadores clásicos como Bayesian Networks, Maquinas de Vector Soporte y Arboles Aleatorios ya que lograron una precisión del 87% para la clasificación de los estados mentales.

### ***3.5 Elección de MUSE: validación de un sistema EEG portátil de bajo costo para la investigación de ERP***

Se llevó a cabo una validación en [63] sobre la diadema MUSE para determinar si la recopilación de datos de una señal EEG puede ser utilizado en lugar de los potenciales relacionados con eventos. Los participantes debían realizar dos tareas experimentales: una tarea visual y una tarea de aprendizaje de recompensas. Para el procesado de datos, aplicaron un filtro Butterworth y un filtro de muesca esto se aplicó a todos los datos recabados, posteriormente utilizaron el software Brain Vision Analyzer para el análisis de datos. Los resultados presentados en esta investigación demuestran que el sistema MUSE puede ser utilizado para realizar investigaciones sobre el potencial cerebral relacionado con eventos (ERP), por lo tanto, MUSE brinda

una excelente oportunidad para que los investigadores mejoren su capacidad para realizar investigaciones de campo y / o clínicas.

### ***3.6 Monitorización electroencefalográfica de la actividad de las ondas cerebrales durante la simulación quirúrgica laparoscópica para medir la concentración y el estrés del cirujano: ¿Puede el alumno convertirse en maestro?***

En [64] determinan los diferentes patrones de actividad cerebral en los cirujanos mediante las ondas cerebrales gamma y alfa como una medida de los niveles de concentración y estrés durante la ejecución de un simulador quirúrgico. Para determinar los niveles de concentración y estrés calcularon el área bajo la curva de los valores obtenidos de las ondas gamma y alfa. Además, realizaron un análisis estadístico de la varianza para comparar las diferencias en la actividad de ondas gamma y alfa para todos los grupos. Para los valores significativos tomaron el valor p crítico bilateral de  $<0.05$ . A manera de conclusión se menciona que los cirujanos expertos tienen una mejor concentración y un nivel bajo de estrés durante la tarea realizada en el simulador en comparación con los otros dos grupos y estos resultados se ven reflejados en los datos que obtuvieron con la diadema MUSE. También los autores sugieren que este tipo de dispositivo brinda una oportunidad para mejorar a la atención través del entrenamiento del neurofeedback.

### ***3.7 Clasificación del estrés humano utilizando señales de EEG en respuesta a pistas de música***

En [65] estudia el estrés de las personas de música analizando las señales de EEG. Los autores plantean la hipótesis de que escuchar música podría afectar los ritmos del electroencefalograma, que pueden identificar cuantitativamente el nivel de estrés si se analizan correctamente. Para clasificar el estrés utilizan cinco tipos de características: potencia absoluta, potencia relativa, coherencia, desfase y asimetría de amplitud de las señales de EEG y cuatro clasificadores: optimización mínima secuencial (SMO), descenso de gradiente estocástico (SGD), regresión logística (LR) y perceptrón multicapa (MLP). Los resultados demuestran que el clasificador de regresión logística (LR) fue el mejor que lo demás clasificadores, ya que obtuvo un 98.76% para la clasificación de (estresado y no estresado) y un 95.06% para la clasificación de (estresado, levemente estresado y no estresado). Es evidente a partir de los resultados, la música en inglés tiene más influencia en el comportamiento de estrés en comparación con las pistas de música en urdu, ya que se informa una diferencia significativa en los resultados.

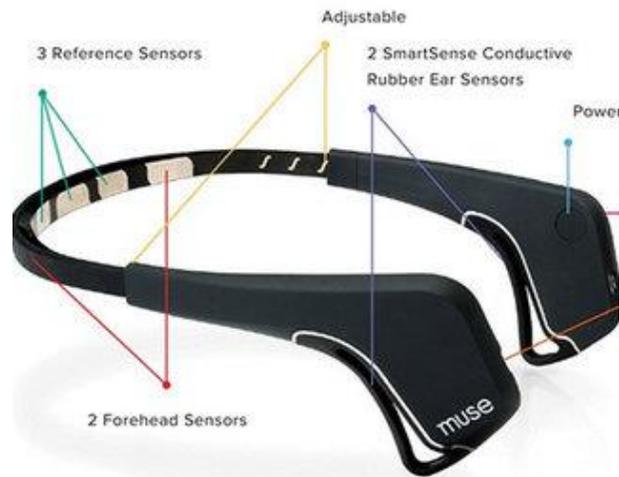
### ***3.8 Night shifts, sleep deprivation, and attention performance in medical students***

Existen factores que afectan el desempeño entre los estudiantes, por ejemplo, la privación del sueño, en este artículo [66] se determina como el desempeño de atención se ve afectado por la privación del sueño en los estudiantes de medicina. La muestra del estudio fue de 180 estudiantes, que se dividieron en dos grupos, un grupo que tenía un turno de noche conformado por 110 estudiantes y un grupo control conformado por 70 estudiantes. Se aplicaron dos métodos de evaluación el test d2 y un cuestionario de sueño que incluye la Escala de Somnolencia de Epworth. El análisis estadístico se realizó con el programa SPSS, se utilizó un valor de significancia del 5%. Se evaluó la colinealidad entre variables independientes para seleccionar el mejor modelo de regresión multivariante para determinar las relaciones entre las variables de interés. Los resultados muestran que la privación del sueño afecta el nivel de atención y concentración en los estudiantes de medicina esto conlleva a un efecto negativo en el aprendizaje y el desempeño académico de los estudiantes.

## *Capítulo 4 Materiales y Métodos*

### *4.1 Diadema MUSE*

MUSE es un dispositivo portátil de electroencefalografía (EEG) no invasivo, de bajo costo y de fácil uso que se ha utilizado en múltiples estudios ([67], [68], [69]). La diadema cuenta con cuatro electrodos asociados a los canales y tres electrodos de referencia como se muestra en la Figura 4.1. Las señales de EEG se obtuvieron de los cuatro electros, dos de ellos se encuentra ubicados en la frente y los otros dos restantes se encuentran en sobre cada uno de los oídos, como se muestra en la Figura 4.2.



*Figura 4.1 Electrodo que conforman la diadema MUSE [70]*

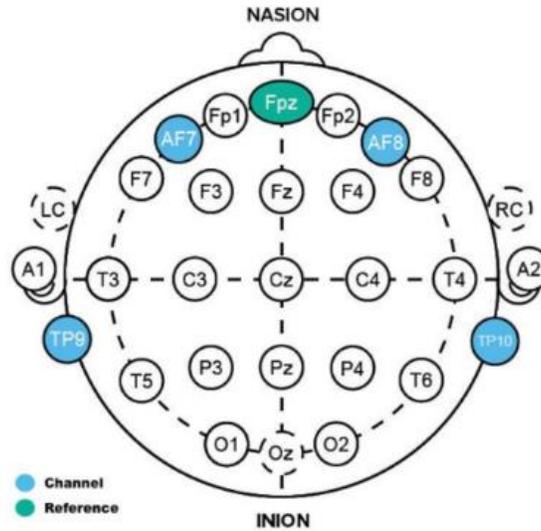


Figura 4.2 Ubicación de los electrodos de la diadema MUSE conforma al sistema internacional 10-20 [71]

## 4.2 Test d2

El test d2 ver Figura 4.1 es instrumento que suele ser utilizado por los psicólogos para medir diversos procesos que se relación con la concentración. Estos procesos se relacionan con la atención selectiva y la atención sostenida basándose en ciertos criterios como la habilidad para seguir instrucciones, la rapidez con que se realiza el test, y la velocidad del procesamiento para seleccionar los estímulos relevantes.

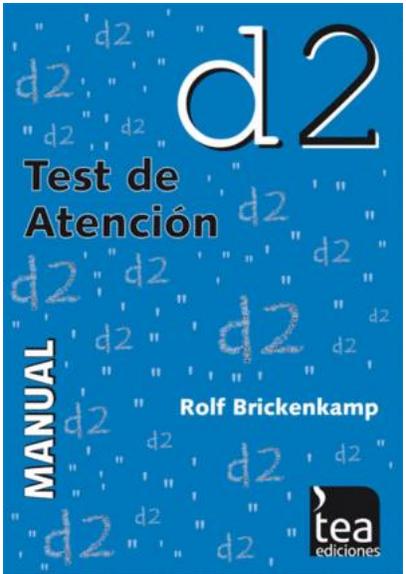


Figura 4.3 Test d2 de atención

Este test puede ser aplicado en niños como en adulto, se puede llevar a cabo de manera individual o de manera grupal. Consiste en 14 líneas con una serie de caracteres que son “d” y “p” que pueden tener dos líneas situadas en tres posiciones en específico como se puede ver en la Figura 4.4.

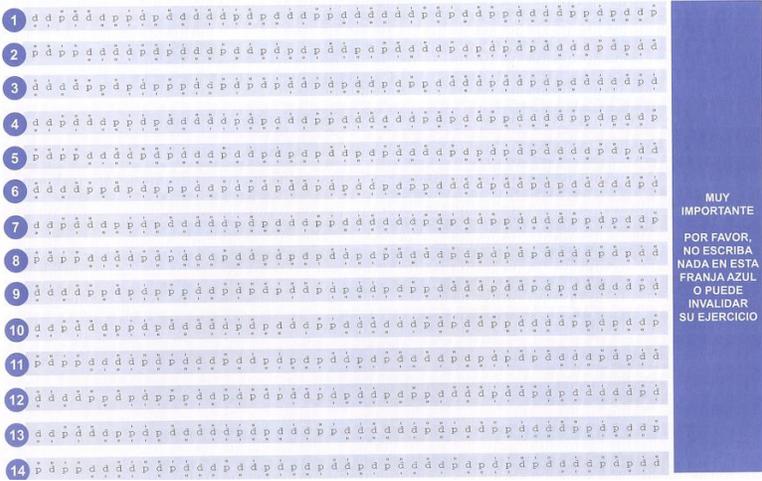


Figura 4.4 Hoja de muestra del test d2 [72]

El objetivo de la persona que realice el test es marcar con una diagonal todas aquellas letras “d” que contengan dos líneas ya sea que se encuentren dos líneas arriba, dos abajo o una arriba y una abajo, esto lo tiene que repetir para las 14 líneas, como se muestra en la Figura 4.5.

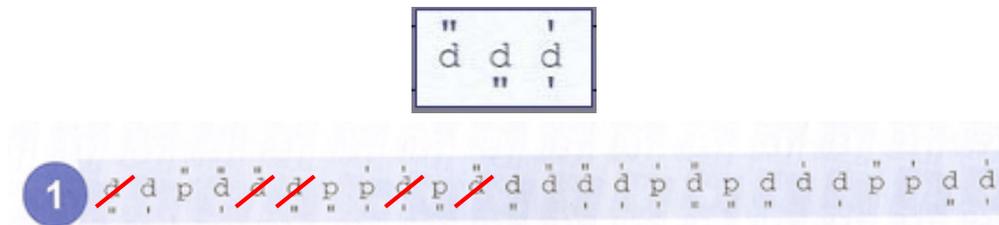


Figura 4.5 Muestra de realización del test d2

### 4.3 Mind Monitor

Mind Monitor es una app que permite la visualización en tiempo real de las señales EEG de la diadema MUSE ver Figura 4.6. Es una app totalmente gratuita que ofrece un acceso fácil y rápido a los datos de un EEG que pueden ser utilizados en las áreas de investigación de la neurociencia [73].



Figura 4.6 App de Mind Monitor compatible con MUSE [74]

Características principales de Mind Monitor:

- Transferencia de datos para Mac o PC
- Almacenamiento de datos en formato CSV
- Permite guardar los valores de onda absoluta
- Compatible con Drive, Dropbox para subir los datos registrados
- Visualización de frecuencias FFT
- Visualización de espectrogramas

La app permite almacenar las bandas absolutas como Delta, Theta, Alfa, Beta y Gamma, estos datos pueden ser visualizados dentro de app en tiempo real como lo muestra la Figura 4.7.

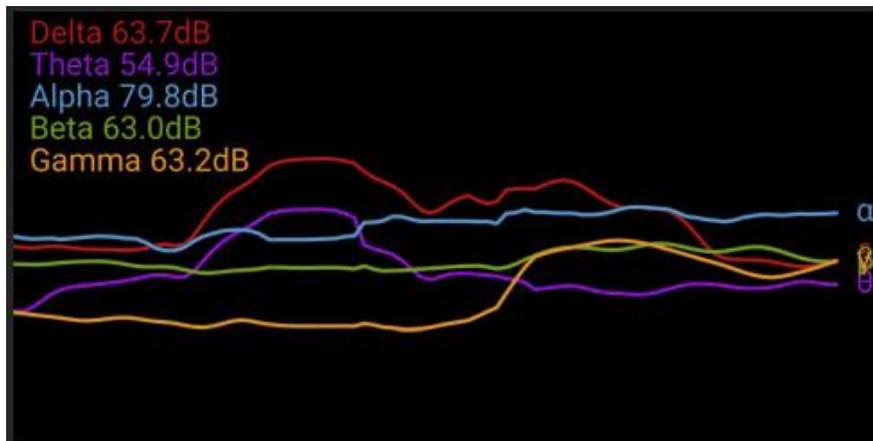


Figura 4.7 Visualización de datos en tiempo real de Mind Monitor [74]

#### ***4.4 Protocolo experimental***

1. *Preparación:* En esta etapa se ubica la diadema de adquisición de electroencefalograma en la cabeza del participante, se fija los

electrodos de adquisición de señales en la parte frontal de la cabeza y detrás de las orejas. Posteriormente se recaba algunos datos como nombre, edad, genero, comorbilidades entre otros. Estos datos son almacenados, pero se mantendrán confidenciales en todo momento, particularmente durante el análisis de los datos y en las posibles publicaciones científicas que se puedan generar.

El responsable de la aplicación del test debe estar atento al participante de ver si tiene algunas molestias con la diadema, de ser así se retira la diadema y se vuelve a realizar el proceso de preparación, en caso de persistir las molestias retirar la diadema y finalizar el experimento.

Si el participante no tiene ninguna molestia, se procede a verificar la conexión de la diadema con la aplicación donde todos los electrodos deben hacer contacto con la cabeza del participante, la aplicación indicará cuando la conexión este completa, de lo contrario solo debe ajustar la diadema.

Se le dan las indicaciones correspondientes a los participantes para que pueden realizar el test d2 de forma correcta.

2. *Adquisición:* Después de haberle dado las instrucciones a los participantes de cómo realizar el test, se verifica la conexión de la diadema con la app, si todo esta funcionando de manera correcta, se les da la indicación de que pueden comenzar a realizar el test

3. *Finalización*: Al terminar el test, se procede al guardar los datos que se registraron en la app para realizar un análisis posterior de las señales de EEG.

#### ***4.5 Procesado de datos***

Primero se analizaron los archivos CSV para determinar cuáles variables son las más adecuadas para el procesamiento de las señales EEG. En este caso se determinó utilizar las siguientes variables: Delta, Theta, Alpha, Beta y Gamma que son las variables que contienen los datos relevantes para el proceso de esta investigación.

Posteriormente se realizó una limpieza de los datos para descartar algunos campos vacíos que más adelante pueden afectar el resultado, también se realizó una normalización de datos, esto se realizó para cada uno de los participantes.

#### ***4.6 Interpolación***

Al analizar la señal de cada participante, se encontró con algunos datos faltantes, esto se debió a que la diadema se desconectó por un periodo de tiempo, esto significa que durante ese tiempo no se almacenaron los datos de las señales EEG. Para poder recuperar algunos datos se aplicó el método de interpolación de señales Figura 4.8, este método nos permite generar una aproximación de los datos faltantes.

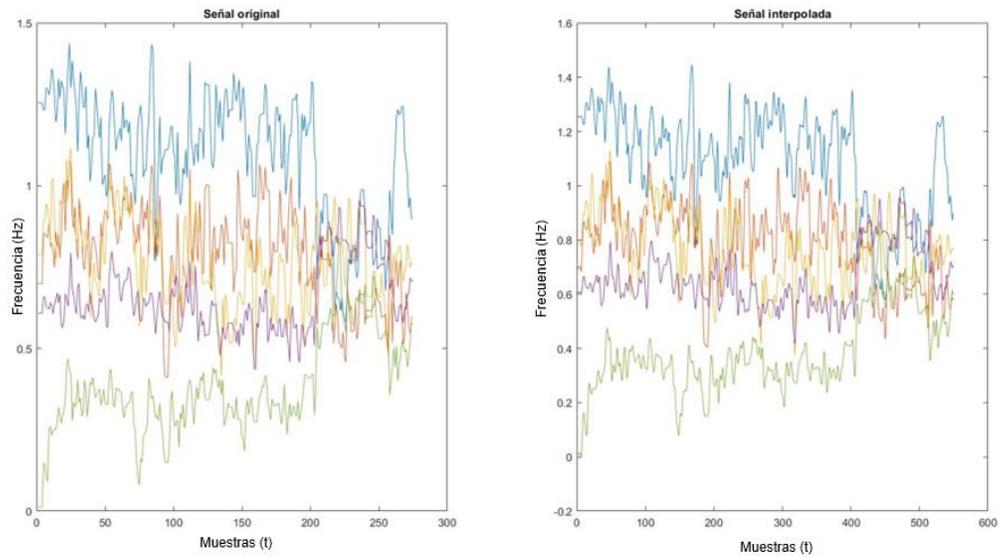


Figura 4. 8 Comparación de la señal original vs señal interpolada

A continuación, se muestra en la Figura 4.9 la señal interpolada con algunos símbolos que permiten distinguir de los valores originales y los valores aproximados de la interpolación

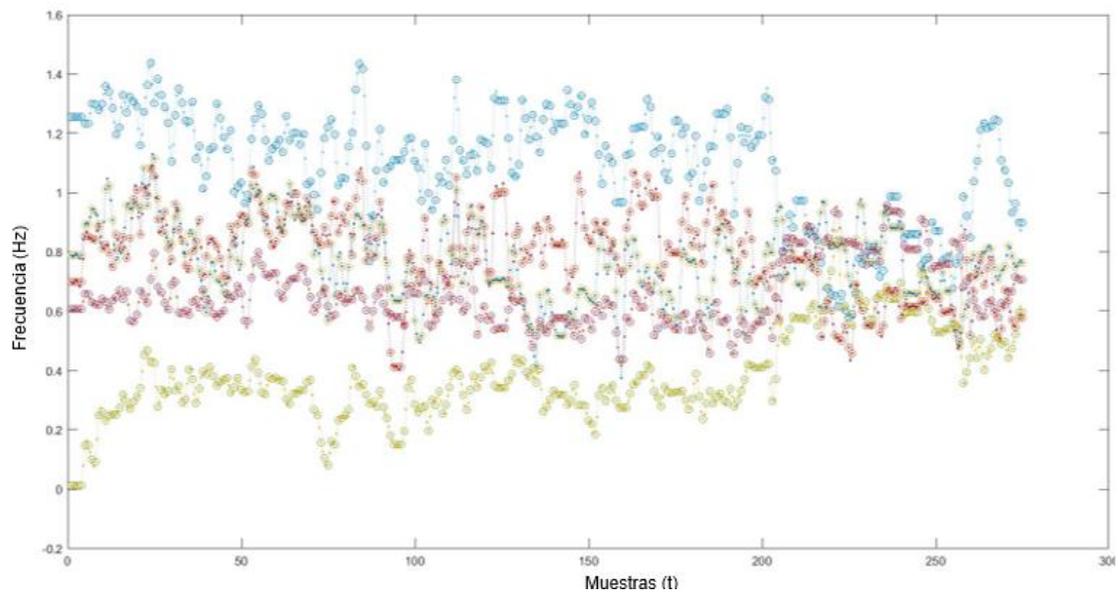


Figura 4. 9 Señale interpolada

Si realizamos un zoom a la imagen podemos apreciar que los datos con un \* son todos aquellos datos que fueron aproximados a los datos reales por la interpolación que se aplicó a las señales de EEG ver Figura 4.10.

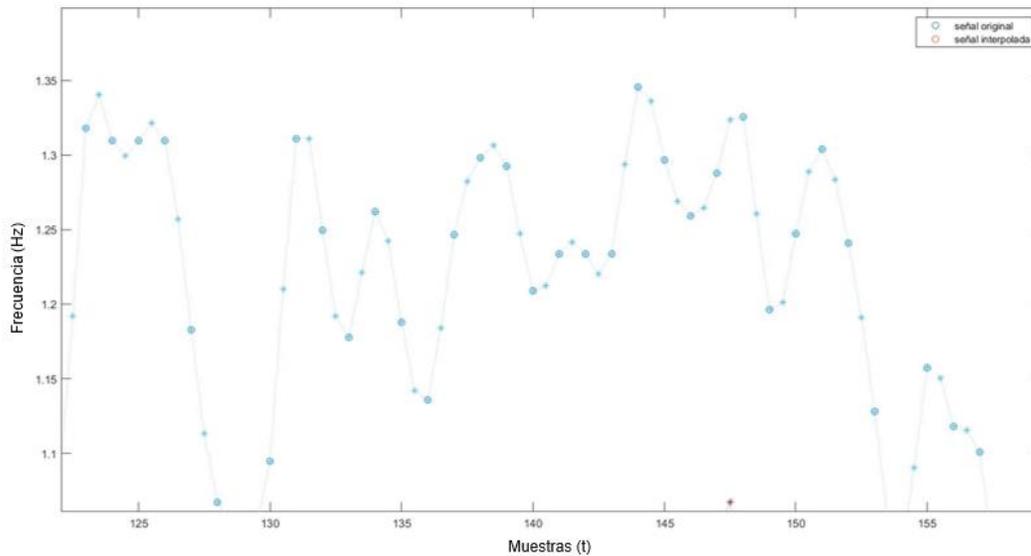


Figura 4. 10 El símbolo de \* representa los datos interpolados

#### ***4.7 Extracción de características***

Se extrajeron las características de cada señal para poder ver su comportamiento, los datos se agruparon en dos categorías una para hombres y el otra para mujeres.

	<b>MEDIA</b>	<b>VARIANZA</b>	<b>DESVIACION ESTANDAR</b>	<b>KURTOSIS</b>	<b>ASIMETRIA</b>
<b>1</b>	1.097	0.035	0.186	2.918	-0.784
<b>2</b>	-0.634	0.116	0.340	12.723	3.049
<b>3</b>	-0.523	0.573	0.757	1.890	0.832
<b>4</b>	0.144	0.056	0.237	2.349	0.432
<b>5</b>	-0.768	0.357	0.598	4.478	1.674
<b>6</b>	-0.806	0.081	0.285	24.860	3.750
<b>7</b>	-0.743	0.053	0.229	25.107	

*Tabla 4. 1 Tabla de características de las señales para mujeres*

	<b>MEDIA</b>	<b>VARIANZA</b>	<b>DESVIACION ESTANDAR</b>	<b>KURTOSIS</b>	<b>ASIMETRIA</b>
<b>1</b>	0.140	0.037	0.193	3.230	0.247
<b>2</b>	0.779	0.035	0.187	2.203	0.083
<b>3</b>	-0.515	0.279	0.528	2.203	0.083

*Tabla 4. 2 Tabla de características para hombre*

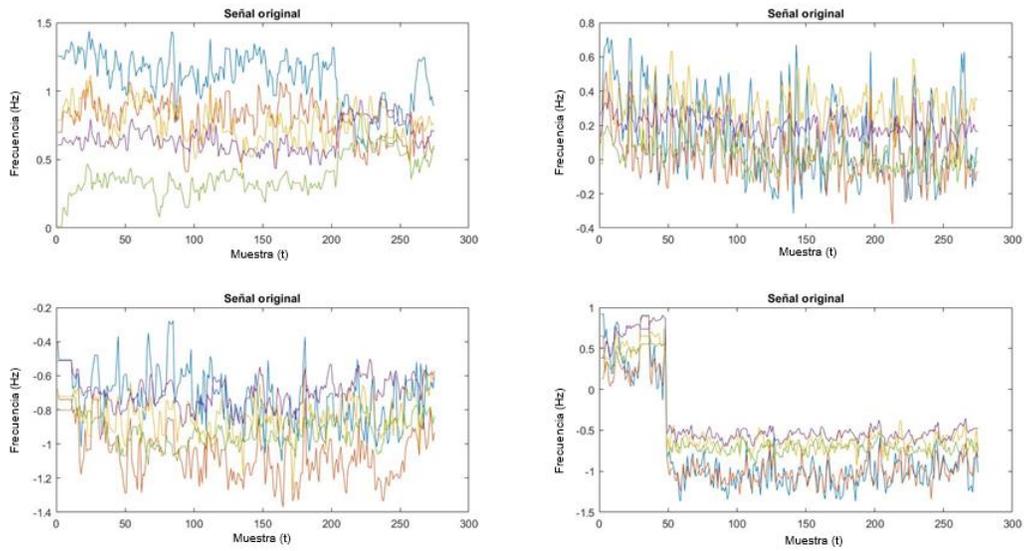


Figura 4. 11 Señal de EEG de mujeres 1

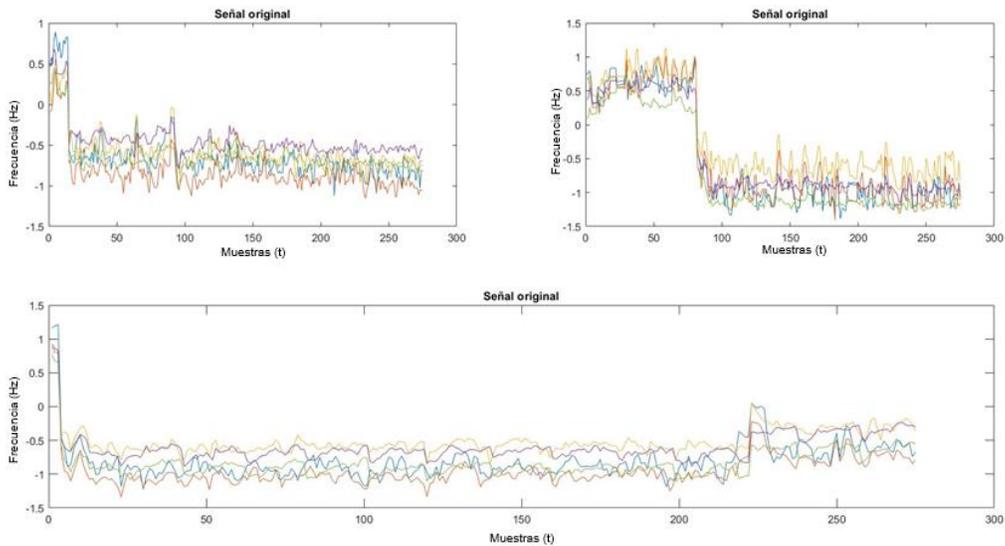


Figura 4. 12 Señal de EEG de mujeres 2

Al momento de graficar las señales y compararlas con las pruebas en papel, para mujeres ver Figura 4.11 y Figura 4.12, se puede apreciar que las

primeras tres señales de mujeres Figura 4.11, tuvieron una buena concentración durante la prueba, en cambio las demás señales su nota una caída en la señal lo que puede indicar que en algún momento de la aplicación de la prueba dejaron de prestar atención a la actividad de debían realizar en ese momento.

Otro factor que pudo ver afectado la recopilación de datos es la diadema, esto porque tal vez en algún momento de la prueba la diadema pudo desconectarse provocando que no se transmitieran todos los datos de la señal EEG.

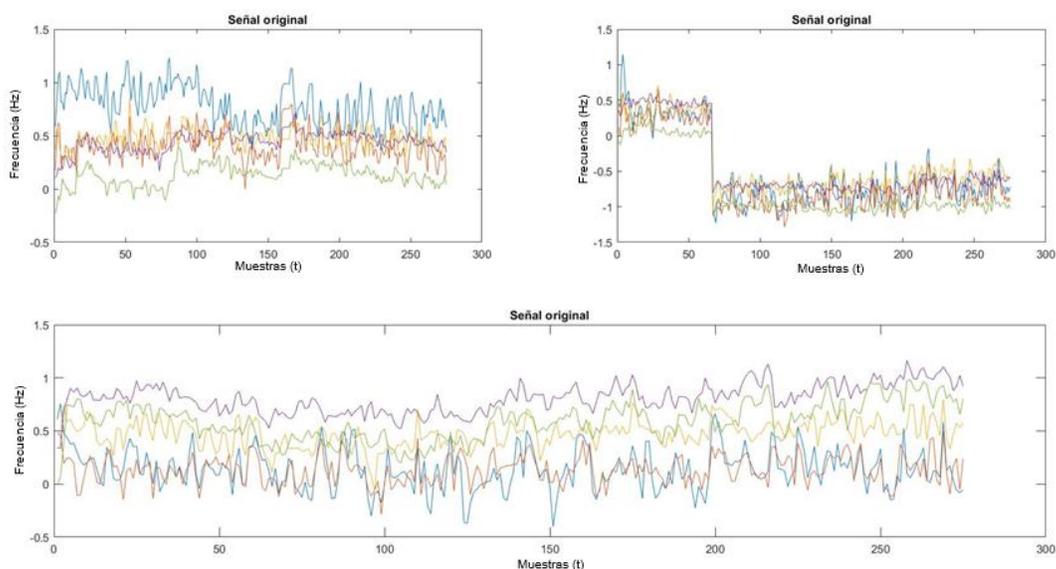


Figura 4. 13 Señal de EEG de hombres

En la Figura 4.13 podemos observar que dos de los participantes hombre tuvieron una atención y concentración estable durante el test que se les aplico, si comparamos primer grafica con la segunda grafica podemos ver una clara diferencia entre las señales recopiladas de una persona que tiene una buena concentración y una persona que la tiene.

## ***Capítulo 5 Resultados***

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos a las señales de EEG que fueron obtenidas durante las pruebas de papel d2, después se realiza una comparación analizando todas las señales y después solo utilizar dos señales, para determinar si con las señales Beta y Gamma es posible determinar el nivel de atención de una persona.

### ***5.1 Descripción de la muestra***

Para el experimento se realizó con una muestra de participantes de la universidad de EPCA con edades de entre 18 años y 21 años de edad, se buscó que ninguno de los participantes tuviera algún tipo de daños neurológico, psiquiátrico o alguna dificultad de aprendizaje, ya que alguno de estos factores podía alterar los resultados de la investigación.

Se explicó a cada uno de los participantes de forma clara en qué consistía el experimento, se les dio a conocer toda la información relevante a todos los participantes, además de un formulario de consentimiento donde todos los participantes deberán estar de acuerdo con los términos para participar en el experimento.

El desarrollo de la investigación se aplicó el protocolo experimental de adquisición de señales biológicas por medio de un electroencefalograma, no invasivo para los participantes.

## 5.2 Red neuronal

Se aplicó una red neuronal a los datos recopilados de las señales EEG para ver si es posible clasifica la atención con estas señales, en la primera prueba se utilizaron las cinco señales y en la segunda prueba se utilizaron solo dos señales que son Beta y Gamma, ya que estas dos señales son las que se relacionan con la atención y concentración. Para realizar estas pruebas se utilizó el programa Weka que nos proporciona diversos métodos de aprendizaje supervisado y no supervisado, entre ellos una red neuronal.

Correctly Classified Instances	1358	91.6329 %
Incorrectly Classified Instances	124	8.3671 %
Kappa statistic	0.8169	
Mean absolute error	0.1264	
Root mean squared error	0.2525	
Relative absolute error	28.412 %	
Root relative squared error	53.4877 %	
Total Number of Instances	1482	

Figura 5. 1 Clasificación para las cinco señales de EEG

Correctly Classified Instances	1136	76.6532 %
Incorrectly Classified Instances	346	23.3468 %
Kappa statistic	0.484	
Mean absolute error	0.2893	
Root mean squared error	0.3811	
Relative absolute error	65.0276 %	
Root relative squared error	80.7179 %	
Total Number of Instances	1482	

Figura 5. 2 Clasificación para solo dos señales Beta y Gamma

En la Figura 5.1 se presentan los resultados que se obtuvieron al aplicar una red neuronal a las cinco señales, se puede observar que el resultado es muy favorable con una clasificación del 91.6%, en cambio en a la Figura 5.2 el resultado que se obtuvo es un poco menor, el resultado clasificación fue de 76.6% lo que nos indica que con tan solo dos señales EEG que son Beta y Gamma es posible determinar si una persona está o no prestando atención a una tarea en específico que se realice en ese preciso momento.

Al analizar todo el conjunto de señales obtenidas de cada uno de los participantes se obtiene un mayor resultado de clasificación esto se puede deber a que existe más información relevante sobre la atención y concentración en las demás ondas celebrable, y al analizar todo el conjunto de estas señales se obtiene un mayor porcentaje de clasificación.

## *Capítulo 6 Conclusiones y Trabajo Futuro*

La atención es un proceso cognitivo muy importante en el ser humano ya que nos permite al aprender nuevas cosas a lo largo de nuestras vidas. El proceso de la atención es uno de los factores más importantes del ser humano ya que nos permite el adquirir nuevos conocimiento y habilidades que serán esenciales en el transcurso de nuestras vidas. Con la ayuda de nuevos dispositivos de EEG portátiles y de bajo costo se logró obtener una señal biológica mientras los participantes realizaban un test que ponía a prueba su capacidad de atención y concentración. Antes de realizar el procesamiento de las señales se aplicó un algoritmo de interpolación de señal, esto se realizó con la finalidad de aproximar algunos datos que no fueron captados por la diadema MUSE. Al aplicar una red neuronal a las señales se obtuvieron resultados favorables al clasificar la atención utilizando solo las señales EEG que se obtuvieron de la aplicación del test d2. Con la ayuda de esta investigación se llega a la conclusión de que si es posible medir la atención y concentración de una persona, pero hay que tomar en cuenta que la diadema que se utilizó en esta investigación originalmente está diseñada para meditar, si se quieren obtener mejores resultados se recomienda probar otro tipo de diadema o un electroencefalograma tradicional para obtener una mayor número de información sobre el EEG y así poder realizar una investigación más afondo sobre el tema de la atención y concentración.

## ***6.1 Trabajo a futuro***

Como trabajo a futuro se propone el incremento de participantes para tener una mayor población que sería lo más adecuado para este tipo de investigación, también el utilizar otro tipo de diadema diferente a la diadema MUSE para evitar la pérdida de datos al momento de aplicar algún tipo de test para medir la atención. Para este trabajo de investigación en específico de utilizo el test d2, se propone como trabajo a futuro aplicar otras pruebas para realizar una comparación entre las diferentes pruebas y así poder determinar cuál es la mejor para evaluar la atención selectiva. También el implementar otras técnicas de inteligencia artificial para el análisis de los datos.

# Anexos

Nombre y apellidos: \_\_\_\_\_ Edad: \_\_\_\_\_  
Sexo:  V  M Centro/Empresa: \_\_\_\_\_

d 2

Esta prueba trata de conocer su capacidad de concentración en una tarea determinada. En esta página se le presenta un ejemplo y una línea de entrenamiento para que usted se familiarice con la tarea.

### Ejemplo

d d d

Observe las tres letras minúsculas del ejemplo. Se trata de la letra **d** acompañada de dos rayitas. La primera **d** tiene las dos rayitas encima, la segunda las tiene debajo y la tercera **d** tiene una rayita encima y otra debajo. Observe que en estos casos la letra **d** va acompañada de dos rayitas.

Su tarea consistirá en buscar las letras **d** iguales a esas tres (con dos rayitas) y marcarlas con una línea (/). Fíjense bien, porque hay letras **d** con más de dos o menos de dos rayitas y letras **p**, que NO deberá marcar en ningún caso, independientemente del número de rayitas que tengan. Si se equivoca y quiere cambiar una respuesta, debe tachar la línea con otra, formando un aspa (X), de forma que se advierta que desea corregir el error.

Vd. sólo deberá marcar las letras **d** con dos rayitas. Practique en la línea de entrenamiento que aparece al final de esta página.

Observe que cada letra lleva encima un número. Luego, compruebe que ha marcado las letras números 1, 3, 5, 6, 9, 12, 13, 17, 19 y 22

A la vuelta de la hoja (ESPERE, NO LA VUELVA TODAVÍA) encontrará 14 líneas similares a la línea de práctica que acaba de realizar. De nuevo, su tarea consistirá en marcar las letras **d** con dos rayitas. Comenzará en la línea nº 1 y cuando el examinador le diga ¡CAMBIO!, pasará a trabajar a la línea nº 2 y cuando el examinador diga ¡CAMBIO! comenzará la siguiente línea de la prueba y así sucesivamente. Compruebe que no se salta ninguna línea.

Trabaje tan rápidamente como pueda sin cometer errores. Permanezca trabajando hasta que el examinador diga ¡BASTA!; en ese momento deberá pararse inmediatamente y dar la vuelta a esta hoja.

**ESPERE. NO VUELVA LA HOJA HASTA QUE SE LO INDIQUE EL EXAMINADOR.**

Línea de entrenamiento

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
d	p	d	d	d	d	p	d	d	p	d	d	d	p	p	d	d	d	p	d	d	d	
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Acuer Futur Business - Copyright © 1982 by Hiram Publishers.  
Copyright de la edición española © 2007 by T&A Ediciones, S.A. Prohibida la reproducción total o parcial. Toda la derechos reservados. Este examen está impreso en DOS TERNAS. Si le gustara más se puede comprar en España.  
116  
reproducción ilegal. Es un delito de la ley 17/1983 y en el caso de España, NO LA VUELVA. Preservar la integridad de España.

- 1 . . . . .
- 2 . . . . .
- 3 . . . . .
- 4 . . . . .
- 5 . . . . .
- 6 . . . . .
- 7 . . . . .
- 8 . . . . .
- 9 . . . . .
- 10 . . . . .
- 11 . . . . .
- 12 . . . . .
- 13 . . . . .
- 14 . . . . .

**MUY**  
**IMPORTANTE**  
**POR FAVOR,**  
**NO ESCRIBA**  
**NADA EN ESTA**  
**FRANJA AZUL**  
**O PUEDE**  
**INVALIDAR**  
**SU EJERCICIO**



**CORRECCIÓN**  
(En cada fila):

1. En la columna TR, anote el número de la última letra marcada.
2. Sume el número de marcas dentro de un rectángulo blanco y anote el total en la columna TA.
3. Sume el número de rectángulos blancos no marcados antes de la última letra señalada y anótelos en la columna O.
4. Sume el número de las marcas que están fuera de los rectángulos blancos y anótelos en la columna C.
5. Sume cada columna y anote el total en los cuadros tramados en la base de cada columna.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	TR	TA	O	C																											
1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	31	13	0	1																									
2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	23	9	0	1																								
3	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	34	14	1	2																								
4	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	37	12	4	0																								
5	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	30	9	3	0																									
6	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	28	10	2	0																									
7	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	34	10	5	0																									
8	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	30	11	1	0																									
9	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	28	11	1	0																									
10	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	33	9	5	0																									
11	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	41	12	6	0																									
12	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	28	10	2	0																									
13	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	29	9	4	0																									
14	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	24	10	0	0																									
$TOT = TR + (O + C) = 392 = 430 - (34 + 4)$																																															$CON = TA - C = 145 = 149 - 4$				$VAR = (TR) - (TR) = 18 = 41 - 23$				$430 - 149 - (34 + 4) = 38$																							
$Pc = 45$																																															$Pc = 30$				$Pc = 70$				$Pc = 65$				$Pc = 55$				$Pc = 55$				$Pc = 35$				$Pc = 10$				$Pc = 20$			

### A.5. Baremos en varones y mujeres de 17 a 18 años (N=105)

Pc	Puntuaciones directas									S
	TR	TA	O	C	TOT	CON	TR+	TR-	VAR	
99	605-658	253-299	0		583-658	253-299		33-47	34-47	97
98	583-604	252	-		580-582	251-252		31-32	32-33	91
97	580-582	247-251	1		574-579	247-250		30	31	87
96	573-579	239-246	-		559-573	238-246		-	-	85
95	535-572	212-238	2		509-558	210-237	47	29	26-30	83
90	499-534	198-211	3		487-508	197-209	-	28	22-25	76
85	482-498	190-197	4		467-486	190-196	-	27	21	71
80	472-481	180-189	5	0	443-466	177-189	46	26	19-20	67
75	463-471	174-179	6	-	438-442	173-176	43-45	25	-	63
70	453-462	171-173	7	-	431-437	168-172	42	24	18	60
65	442-452	167-170	8	-	422-430	166-167	41	-	17	58
60	432-441	165-166	9	-	413-421	163-165	40	-	16	55
55	422-431	162-164	10	-	403-412	159-162	39	23	-	52
50	414-421	159-161	11	1	399-402	157-158	38	22	-	50
45	410-413	156-158	12	-	391-398	156	-	21	15	48
40	400-409	152-155	13	-	384-390	150-155	37	20	14	45
35	390-399	149-151	14-15	-	375-383	146-149	36	19	13	42
30	381-389	145-148	16-18	2	371-374	141-145	35	-	-	40
25	373-380	141-144	19-22	3	357-370	138-140	34	17-18	12	37
20	356-372	139-140	23-26	4	340-356	134-137	33	16	11	33
15	344-355	132-138	27-32	5	333-339	130-133	32	15	10	29
10	319-343	126-131	33-40	6	318-332	122-129	30-31	9-14	-	24
5	298-318	121-125	41-45	7	294-317	109-121	29	0-8	8-9	17
4	290-297	116-120	46-60	-	275-293	107-108	-	-	-	15
3	288-289	110-115	61-62	8-12	273-274	103-106	28	-	7	12
2	281-287	107-109	63-69	13-17	272	102	26-27	-	6	9
1	0-280	0-106	>69	>17	0-271	0-101	0-25	-	0-5	3
Media	426,77	164,44	16,40	2,42	407,93	162,01	38,68	22,55	16,13	Media
Dt	74,15	32,38	17,14	5,08	71,33	33,49	5,95	6,41	6,18	Dt

## Referencias

- [1] H. Budde *et al.*, “Intermittent Maximal Exercise Improves Attentional Performance Only in Physically Active Students,” *Arch. Med. Res.*, vol. 43, no. 2, pp. 125–131, Feb. 2012, doi: 10.1016/j.arcmed.2012.02.005.
- [2] A. Fernández-Castillo and M. J. Caurcel, “State test-anxiety, selective attention and concentration in university students,” *Int. J. Psychol.*, vol. 50, no. 4, pp. 265–271, Aug. 2015, doi: 10.1002/ijop.12092.
- [3] Z. Li, J. Xu, and T. Zhu, “Prediction of Brain States of Concentration and Relaxation in Real Time with Portable Electroencephalographs,” Sep. 2015, Accessed: Aug. 12, 2020. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1509.07642>.
- [4] G. A. Garrido and R. J. Loyo, “La atención y sus alteraciones: del cerebro a la conducta - Andrés Antonio González Garrido - Google Libros,” *Unam*, 2006. [https://books.google.com.mx/books?id=MJ59hywKArYC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=MJ59hywKArYC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false).
- [5] L. Zanín, E. Gil, and M. De Bortoli, “Atención y memoria: su relación con la función tiroidea,” Universidad Nacional de San Luis, 2004. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=18401002>.
- [6] M. I. García Ogueta, “Mecanismos atencionales y síndromes neuropsicológicos,” *Rev. Neurol.*, vol. 32, no. 05, p. 463, Mar. 2001, doi: 10.33588/rn.3205.2000169.
- [7] Roselló Jaume, “Psicología de la atención: introducción al estudio del mecanismo atencional - Dialnet,” *Pirámide*, 1996. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=144432> (accessed Nov. 16, 2020).
- [8] M. M. Sohlberg and C. A. Mateer, “Introduction to cognitive rehabilitation: Theory and practice. - PsycNET,” *Guilford Press*, 1989. <https://psycnet.apa.org/record/1989-97375-000> (accessed Nov. 16, 2020).
- [9] Londoño Ocampo León P, “La atención: un proceso psicológico básico,” *Revista Nacional de la Universidad Cooperativa de Colombia Pensando*

*Psicología*, 2009.  
<https://www.imbiomed.com.mx/articulo.php?id=72122>.

- [10] “Test de atención D2: datos normativos y desarrollo evolutivo de la atención en educación primaria - Dialnet.” <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3971481> (accessed Aug. 23, 2020).
- [11] J. P. Pozuelos, P. M. Paz-Alonso, A. Castillo, L. J. Fuentes, and M. R. Rueda, “Development of attention networks and their interactions in childhood,” *Dev. Psychol.*, vol. 50, no. 10, pp. 2405–2415, 2014, doi: 10.1037/a0037469.
- [12] J. Eilan, N., Hoerl, C., McCormack, T., & Roessler, “Joint Attention: Communication and Other Minds: Issues in Philosophy and ... - Associate Professor (Reader) in Philosophy Christoph Hoerl - Google Libros,” *Oxford University Press on Demand*, 2005. [https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=Yu2Jk\\_xgpk0C&oi=fnd&pg=PR7&dq=attention+in+psychology&ots=obLAzXTxgA&sig=3B\\_c4\\_ViwFyc6RVZ6zBunIQqVD0&redir\\_esc=y#v=onepage&q=attention+in+psychology&f=false](https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=Yu2Jk_xgpk0C&oi=fnd&pg=PR7&dq=attention+in+psychology&ots=obLAzXTxgA&sig=3B_c4_ViwFyc6RVZ6zBunIQqVD0&redir_esc=y#v=onepage&q=attention+in+psychology&f=false) (accessed Nov. 16, 2020).
- [13] J. Theeuwes, “Visual selective attention: A theoretical analysis,” *Acta Psychol. (Amst.)*, vol. 83, no. 2, pp. 93–154, Jun. 1993, doi: 10.1016/0001-6918(93)90042-P.
- [14] A. MacKay-Brandt, “Focused Attention,” in *Encyclopedia of Clinical Neuropsychology*, Springer New York, 2011, pp. 1066–1067.
- [15] Ramos-Galarza Carlos, Paredes Lorena, Andrade Shirley, Santillán Washington, and González Lina, “Sistemas de Atención Focalizada, Sostenida y Selectiva en Universitarios de Quito-Ecuador - revecuatneurol - Revista Ecuatoriana de Neurología,” *Revista Ecuatoriana de Neurología*, Dec. 2016. [http://revecuatneurol.com/magazine\\_issue\\_article/sistemas-atencion-focalizada-sostenida-selectiva-universitarios-quito-ecuador/](http://revecuatneurol.com/magazine_issue_article/sistemas-atencion-focalizada-sostenida-selectiva-universitarios-quito-ecuador/) (accessed Aug. 23, 2020).
- [16] B. Islands, “Prueba ganadora de la VIII Edición del Premio TEA para la realización de trabajos de investigación y desarrollo sobre tests i otros instrumentos de evaluación,” *Islands, B., Islands, B. (2016). Prueba ganadora la VIII Edición del Premio TEA para la Realiz. Trab. Investig. y Desarro. sobre tests i otros instrumentos evaluación, (July 2016).*, no.

July 2016, pp. 1–18, 2016, Accessed: Nov. 16, 2020. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/237578311>.

- [17] S. Ballesteros, “La atención selectiva modula el procesamiento de la información y la memoria implícita,” *Acción Psicológica*, vol. 11, no. 1, pp. 7–20, 2014, doi: 10.5944/ap.1.1.13788.
- [18] A. D. Baddeley and G. Hitch, “Working memory,” *Psychol. Learn. Motiv. - Adv. Res. Theory*, vol. 8, no. C, pp. 47–89, Jan. 1974, doi: 10.1016/S0079-7421(08)60452-1.
- [19] M. Gadea Domenech, “Efectos de la atención sostenida y alterna en la lateralización del lenguaje medida medida a través de escucha dicótica,” 2002.
- [20] L. M. Hannay HJ, Howieson DB, Loring DW, Fischer IS, “Neuropsychological Assessment - Professor of Neurology Psychiatry and Neurosurgery Muriel D Lezak, Muriel Deutsch Lezak, Associate Professor of Neurology and Psychiatry Diane B Howieson, Diane B. Howieson, Professor of Neurology David W Loring, David W. L,” *Neuropsychological Assessment*, 2004. [https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=FroDVkVKA2EC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Lezak,+1995%3B+Leclercq+y+Zimmerman,+2002&ots=q7Wf\\_QUh9S&sig=HN4TVDYAuSf7m0Arag7sL6du-4o#v=onepage&q=Lezak%2C%201995%3B%20Leclercq%20y%20Zimmerman%2C%202002&f=false](https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=FroDVkVKA2EC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Lezak,+1995%3B+Leclercq+y+Zimmerman,+2002&ots=q7Wf_QUh9S&sig=HN4TVDYAuSf7m0Arag7sL6du-4o#v=onepage&q=Lezak%2C%201995%3B%20Leclercq%20y%20Zimmerman%2C%202002&f=false) (accessed May 20, 2021).
- [21] T. N. Tombaugh, “Trail Making Test A and B: Normative data stratified by age and education,” *Arch. Clin. Neuropsychol.*, vol. 19, no. 2, pp. 203–214, Mar. 2004, doi: 10.1016/S0887-6177(03)00039-8.
- [22] K. B. Kortte, M. D. Horner, and W. K. Windham, “The trail making test, Part B: Cognitive flexibility or ability to maintain set?,” *Appl. Neuropsychol.*, vol. 9, no. 2, pp. 106–109, 2002, doi: 10.1207/S15324826AN0902\_5.
- [23] D. Rivera *et al.*, “Concentration Endurance Test (d2): Normative data for Spanish-speaking pediatric population,” *NeuroRehabilitation*, vol. 41, no. 3, pp. 661–671, Jan. 2017, doi: 10.3233/NRE-172248.
- [24] C. Ramos-Galarza, P. Acosta-Rodas, J. Jadán-Guerrero, C. B. Guevara-Maldonado, M. Zapata-Rodríguez, and D. Apolo-Buenaño, “Neuropsychological assessment of attention: Symbols and digits test.”

- Rev. Ecuatoriana Neurol.*, vol. 27, no. 1, pp. 30–33, 2018, Accessed: May 21, 2021. [Online]. Available: [http://revecuatneurol.com/magazine\\_issue\\_article/evaluacion-neuropsicologica-atencion-test-simbolos-digitos-neuropsychological-assessment-attention-symbols-digits-test/](http://revecuatneurol.com/magazine_issue_article/evaluacion-neuropsicologica-atencion-test-simbolos-digitos-neuropsychological-assessment-attention-symbols-digits-test/).
- [25] C. Ramos-Galarza *et al.*, “Comunicación corporativa, estratégica, organizacional e institucional View project ARTÍCULO ORIGINAL Evaluación Neuropsicológica de la Atención: Test de Símbolos y Dígitos. Neuropsychological Assessment of Attention: Symbols And Digits Test,” 2018. Accessed: May 21, 2021. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/327844983>.
- [26] V. Gallese and G. Lakoff, “The brain’s concepts: The role of the sensory-motor system in conceptual knowledge,” *Cognitive Neuropsychology*, vol. 22, no. 3–4. Psychology Press, pp. 455–479, May 2005, doi: 10.1080/02643290442000310.
- [27] L. F. Chapman and H. G. Wolff, “The Cerebral Hemispheres and the Highest Integrative Functions of Man,” *AMA. Arch. Neurol.*, vol. 1, no. 4, pp. 357–424, Oct. 1959, doi: 10.1001/archneur.1959.03840040001001.
- [28] N. Kanwisher and E. Wojciulik, “Visual attention: Insights from brain imaging,” *Nat. Rev. Neurosci.*, vol. 1, no. 2, pp. 91–100, 2000, doi: 10.1038/35039043.
- [29] “Pin de Ana Nieto en psychology | Corteza cerebral, Anatomía del cerebro humano, Cerebro.” <https://www.pinterest.com.mx/pin/293156256964244121/> (accessed Aug. 16, 2021).
- [30] M. A. Rebollo and S. Montiel, “Atención y funciones ejecutivas,” in *Revista de Neurología*, 2006, vol. 42, no. SUPPL. 2, doi: 10.33588/rn.42s02.2005786.
- [31] D. LaBerge, “Attention, Awareness, and the Triangular Circuit,” *Conscious. Cogn.*, vol. 6, no. 2–3, pp. 149–181, Jun. 1997, doi: 10.1006/ccog.1997.0305.
- [32] D. LaBerge, “Sustained attention and apical dendrite activity in recurrent circuits,” *Brain Research Reviews*, vol. 50, no. 1. Elsevier, pp. 86–99, Dec. 01, 2005, doi: 10.1016/j.brainresrev.2005.04.004.

- [33] Daniel P. Cardinali, “Neurociencia Aplicada/ Applied Neuroscience: Sus Fundamentos/ It’s Fundamentals - Daniel P. Cardinali - Google Libros,” 2007.  
[https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=3NcgrcIhQlAC&oi=fnd&pg=PR7&dq=what+is+neuroscience+&ots=QtxcTxOz-J&sig=bUzHbxey6dZedxtlSeNIR1pn-Xk&redir\\_esc=y#v=onepage&q=what is neuroscience&f=false](https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=3NcgrcIhQlAC&oi=fnd&pg=PR7&dq=what+is+neuroscience+&ots=QtxcTxOz-J&sig=bUzHbxey6dZedxtlSeNIR1pn-Xk&redir_esc=y#v=onepage&q=what is neuroscience&f=false).
- [34] D. Redolar Ripoll, “Introducción a la Neurociencia Cognitiva,” in *Neurociencia Cognitiva*, QUITO/UIDE/2015, 2013, pp. 2–12.
- [35] C. Montag and K. L. Davis, “Affective Neuroscience Theory and Personality: An Update,” *Personal. Neurosci.*, vol. 1, Aug. 2018, doi: 10.1017/pen.2018.10.
- [36] A. Recuenco Cabrera, W. A. Reyes Alva, and S. M. Olano Bracamonte, “Neurociencia conductual: La vía más avanzada en el desarrollo del ser humano,” *J. Neurosci. PUBLIC Heal.*, vol. 1, no. 2, pp. 43–52, Mar. 2021, doi: 10.46363/jnph.v1i2.2.
- [37] I. Grande-García, “Neurociencia social: una breve introducción al estudio de las bases neurobiológicas de la conducta social,” *Psicol. y Cienc. Soc.*, vol. 11, no. 1, pp. 13–23, 2009, Accessed: May 24, 2021. [Online]. Available: <http://sites.google.com/site/israelgrandegarcia>.
- [38] F. Torres, C. Sánchez, and K. Palacio Baus, “Adquisición y análisis de señales cerebrales utilizando el dispositivo MindWave,” *Maskana*, vol. 5, pp. 83–93, 2015. [Online]. Available: [www.neurosky.com](http://www.neurosky.com).
- [39] B. He, H. Yuan, J. Meng, and S. Gao, “Brain–Computer Interfaces,” in *Neural Engineering*, Springer International Publishing, 2020, pp. 131–183.
- [40] J. L. Sánchez de la Rosa, “Métodos para el procesamiento y análisis estadístico multivariante de señales multicanal: aplicación al estudio del EEG,” 1993. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=731&info=resumen&id idioma=SPA>.
- [41] W. O. Tatum *et al.*, “Clinical utility of EEG in diagnosing and monitoring epilepsy in adults,” *Clinical Neurophysiology*, vol. 129, no. 5. Elsevier Ireland Ltd, pp. 1056–1082, May 01, 2018, doi: 10.1016/j.clinph.2018.01.019.

- [42] G H Klem, H O Lüders, H H Jasper, and C Elger, “The ten-twenty electrode system of the International Federation. The International Federation of Clinical Neurophysiology - PubMed,” 1958. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10590970/>.
- [43] N. V. Thakor and D. L. Sherman, “EEG Signal Processing: Theory and Applications,” in *Neural Engineering*, Springer US, 2013, pp. 259–303.
- [44] “Posición de los electrodos acorde al Sistema Internacional 10-20.... | Download Scientific Diagram.” [https://www.researchgate.net/figure/Posici-on-de-los-electrodos-acorde-al-Sistema-Internacional-10-20-Figura-vista-desde-a\\_fig1\\_274457110](https://www.researchgate.net/figure/Posici-on-de-los-electrodos-acorde-al-Sistema-Internacional-10-20-Figura-vista-desde-a_fig1_274457110).
- [45] T. Alotaiby, F. E. A. El-Samie, S. A. Alshebeili, and I. Ahmad, “A review of channel selection algorithms for EEG signal processing,” *EURASIP J. Adv. Signal Process.*, vol. 2015, no. 1, pp. 1–21, Dec. 2015, doi: 10.1186/s13634-015-0251-9.
- [46] M. Proudfoot, M. W. Woolrich, A. C. Nobre, and M. R. Turner, “Magnetoencephalography,” *Pract. Neurol.*, vol. 14, no. 5, pp. 336–343, Oct. 2014, doi: 10.1136/practneurol-2013-000768.
- [47] C. Maestú, E. Gómez-Utrero, R. Piñeiro, and R. G. Sola, “Magnetoencefalografía: una nueva técnica de diagnóstico funcional en neurociencia,” 1999.
- [48] J. L. Armony, D. Trejo-Martínez, and & Dailett Hernández, “Resonancia Magnética Funcional (RMf): Principios y aplicaciones en Neuropsicología y Neurociencias Cognitivas,” *Rev. Neuropsicol. Latinoam.*, vol. 4, no. 2, pp. 36–50, Apr. 2012, doi: 10.5579/rnl.2012.010.
- [49] M. R. Rosales F., “RESONANCIA MAGNETICA FUNCIONAL: UNA NUEVA HERRAMIENTA PARA EXPLORAR LA ACTIVIDAD CEREBRAL Y OBTENER UN MAPA DE SU CORTEZA,” *Rev. Chil. Radiol.*, vol. 9, no. 2, pp. 86–91, 2003, doi: 10.4067/s0717-93082003000200008.
- [50] F. A. González, “Machine learning models in rheumatology,” *Revista Colombiana de Reumatología*, vol. 22, no. 2. Asociacion Colombiana de Reumatología, pp. 77–78, Jun. 01, 2015, doi: 10.1016/j.rcreu.2015.06.001.
- [51] C. M. Bac Nguyen Cong<sup>1</sup>, Jorge Luis Rivero Pérez<sup>2</sup>, “Aprendizaje

supervisado de funciones de distancia: estado del arte,” 2015. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2227-18992015000200002](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2227-18992015000200002).

- [52] J. Luna Gonzalez, “Tipos de aprendizaje automático. La Inteligencia Artificial (IA) está en... | by Javier Luna Gonzalez | SoldAI | Medium,” *Medium*, 2018. <https://medium.com/soldai/tipos-de-aprendizaje-automático-6413e3c615e2>.
- [53] “Análisis de datos:Análisis de Regresión | AnálisisDeDatos.net.” <https://analisisdedatos.net/analisis/AVariables/aRegresion.php>.
- [54] J. Tello Cáceres, “Reconocimiento de patrones y el aprendizaje no supervisado,” *Escuela Técnica Superior de Informática Universidad de Alcalá*, no. June, p. 738, 2006.
- [55] J. E. Rodríguez Rodríguez, E. Alonso, R. Blanco, R. Orlando, and F. Camacho, “CLASIFICACIÓN DE DATOS USANDO EL MÉTODO K-NN,” *Rev. Vínculos*, vol. 4, no. 1, pp. 4–18, Dec. 2007, doi: 10.14483/2322939X.4111.
- [56] F. Sancho Caparrini, “Aprendizaje Supervisado y No Supervisado - Fernando Sancho Caparrini,” *Fernando Sancho Caparrini*, 2020. <http://www.cs.us.es/~fsancho/?e=77>.
- [57] K. Krishna and M. N. Murty, “Genetic K-means algorithm,” *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. Part B Cybern.*, vol. 29, no. 3, pp. 433–439, 1999, doi: 10.1109/3477.764879.
- [58] S. Hernández, P. Millado, C. Delrieux, and M. Cipolletti, “Interpolación polinomial-Superresolución de características lineales.”
- [59] “Reconstrucción de los datos que faltan - MATLAB & Simulink Example - MathWorks América Latina.” <https://la.mathworks.com/help/signal/examples/reconstructing-missing-data.html>.
- [60] A. Arsalan, M. Majid, A. R. Butt, and S. M. Anwar, “Classification of Perceived Mental Stress Using A Commercially Available EEG Headband,” *IEEE J. Biomed. Heal. Informatics*, vol. 23, no. 6, pp. 2257–2264, Nov. 2019, doi: 10.1109/JBHI.2019.2926407.
- [61] G. Wiechert *et al.*, “Identifying users and activities with cognitive signal processing from a wearable headband,” in *Proceedings of 2016 IEEE 15th*

*International Conference on Cognitive Informatics and Cognitive Computing, ICCI\*CC 2016*, Feb. 2017, pp. 129–136, doi: 10.1109/ICCI-CC.2016.7862025.

- [62] J. J. Bird, L. J. Manso, E. P. Ribeiro, A. Ekart, and D. R. Faria, “A Study on Mental State Classification using EEG-based Brain-Machine Interface,” in *9th International Conference on Intelligent Systems 2018: Theory, Research and Innovation in Applications, IS 2018 - Proceedings*, Jul. 2018, pp. 795–800, doi: 10.1109/IS.2018.8710576.
- [63] O. E. Krigolson, C. C. Williams, A. Norton, C. D. Hassall, and F. L. Colino, “Choosing MUSE: Validation of a low-cost, portable EEG system for ERP research,” *Front. Neurosci.*, vol. 11, no. MAR, Mar. 2017, doi: 10.3389/fnins.2017.00109.
- [64] M. M. Maddox *et al.*, “Electroencephalographic monitoring of brain wave activity during laparoscopic surgical simulation to measure surgeon concentration and stress: Can the student become the master?,” *J. Endourol.*, vol. 29, no. 12, pp. 1329–1333, Dec. 2015, doi: 10.1089/end.2015.0239.
- [65] A. Asif, M. Majid, and S. M. Anwar, “Human stress classification using EEG signals in response to music tracks,” *Comput. Biol. Med.*, vol. 107, pp. 182–196, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.combiomed.2019.02.015.
- [66] I. Pérez-Olmos and M. Ibáñez-Pinilla, “Night shifts, sleep deprivation, and attention performance in medical students,” *Int. J. Med. Educ.*, vol. 5, pp. 56–62, 2014, doi: 10.5116/ijme.531a.f2c9.
- [67] R. Cassani, H. Banville, and T. H. Falk, “MuLES: An open source EEG acquisition and streaming server for quick and simple prototyping and recording,” in *International Conference on Intelligent User Interfaces, Proceedings IUI*, Mar. 2015, vol. 29-March-2015, pp. 9–12, doi: 10.1145/2732158.2732193.
- [68] L. Galway, P. McCullagh, G. Lightbody, C. Brennan, and D. Trainor, “The Potential of the Brain-Computer Interface for Learning: A Technology Review.” IEEE, 2015. [Online]. Available: <https://pure.ulster.ac.uk/en/publications/the-potential-of-the-brain-computer-interface-for-learning-a-tech-3>.
- [69] T. Karydis, S. L. Foster, F. Aguiar, and A. Mershin, “Performance characterization of self-calibrating protocols for wearable EEG

applications,” in *8th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments, PETRA 2015 - Proceedings*, Jul. 2015, pp. 1–7, doi: 10.1145/2769493.2769533.

- [70] “Muse Headband Sensors | Download Scientific Diagram.” [https://www.researchgate.net/figure/Muse-Headband-Sensors\\_fig3\\_329909772](https://www.researchgate.net/figure/Muse-Headband-Sensors_fig3_329909772).
- [71] “Figure 3 from Brain-EE: Brain Enjoyment Evaluation using Commercial EEG Headband | Semantic Scholar.” <https://www.semanticscholar.org/paper/Brain-EE%3A-Brain-Enjoyment-Evaluation-using-EEG-Abujelala-Abellanoza/836d9f0fef498b4c7e30ecb2110ca769a0a6dedf/figure/3>.
- [72] “NEUPS!: Image.” <https://neups.files.wordpress.com/2015/09/captura-de-pantalla-2015-09-17-a-las-22-57-11.png> (accessed Aug. 16, 2021).
- [73] “Monitor de la inversión,” p. 2017, 2017. [Online]. Available: <https://mind-monitor.com/#page-top>.
- [74] J. Clutterbuck, “Mind Monitor,” *Google Play*, 2020. <https://mind-monitor.com/>.