

ANÁLISIS DE LA ATENCIÓN SOSTENIDA EN MENORES DE EDAD CON
TRASTORNO DEL ESPECTRO AUTISTA POR MEDIO DE LA ACTIVIDAD
ELÉCTRICA CEREBRAL

NAYIBE TATIANA HURTADO MORA

JUAN MANUEL REVELO RAMÍREZ



Universidad
del Cauca

UNIVERSIDAD DEL CAUCA

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN

PROGRAMA DE INGENIERÍA FÍSICA

POPAYÁN

2023

ANÁLISIS DE LA ATENCIÓN SOSTENIDA EN MENORES DE EDAD CON
TRASTORNO DEL ESPECTRO AUTISTA POR MEDIO DE LA ACTIVIDAD
ELÉCTRICA CEREBRAL

NAYIBE TATIANA HURTADO MORA

JUAN MANUEL REVELO RAMÍREZ

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIEROS FÍSICOS

Director:

PhD. Rubiel Vargas Cañas

Codirector:

PhD. César Alberto Collazos O.



Universidad
del Cauca

UNIVERSIDAD DEL CAUCA

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN

PROGRAMA DE INGENIERÍA FÍSICA

POPAYÁN

2023

Agradecimientos

Queremos agradecer a Dios, a nuestras familias, parejas, amigos y profesores por el apoyo durante toda la carrera y en especial en la realización de esta tesis. Gracias por su comprensión y amor incondicional que nos han brindado en todo momento.

Gracias al director PhD. Rubiel Vargas Cañas, al codirector PhD. Cesar Alberto Collazos por ser guías y consejeros del trabajo.

Gracias a la fundación Cenidi, Directora Elida Collazos, profesora Luz Mary, psicólogas Carolina y Angie, en especial a los usuarios del proyecto y a los padres de familia.

Gracias a los evaluadores Mg. Karen Nathalia Potosí y PhD. Julio Ariel Hurtado por brindarnos su tiempo y por el apoyo en el trabajo.

Gracias al docente de la universidad del Cauca, Gustavo Constain, por el acompañamiento en las primeras visitas de la fundación y al estudiante de ingeniería Automática de la universidad del Cauca, Yeiner Alexander Imbachí por el acompañamiento y apoyo de herramientas.

Nota de aceptación: _____

Director, PhD. Rubiel Vargas Cañas

Codirector, PhD. César Alberto Collazos O.



Jurado, Mg. Karen Nathalia Potosí González



Jurado, PhD. Julio Ariel Hurtado Alegría

Popayán (19, mayo, 2023)

CONTENIDO

	pág.
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1 <i>Objetivo general</i>	2
<i>Objetivos específicos</i>	2
1.3 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA	3
1.4 CONTRIBUCIONES	3
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1 MARCO CONCEPTUAL	4
2.1.1 <i>Atención</i>	4
2.1.2 <i>Atención Sostenida</i>	5
2.1.3 <i>Tareas para evaluar la atención sostenida</i>	6
2.1.4 <i>Trastorno del espectro autista</i>	6
2.1.5 <i>Atención en niños con trastorno de espectro autista</i>	8
2.1.6 <i>Atención y actividad eléctrica</i>	8
2.1.7 <i>Encefalograma y TEA</i>	10
2.1.8 <i>Atención sostenida en niños con TEA y Encefalograma</i>	11
2.1.9 <i>Muse</i>	11
2.2 REFERENTES DE INVESTIGACIÓN	11
2.2.1 <i>Referentes Internacionales</i>	11
2.2.2 <i>Referentes nacionales</i>	13
2.3 ANÁLISIS DE LA LITERATURA	15
3. METODOLOGÍA	17
3.1 ETAPA 1: IDENTIFICACIÓN DE LAS ONDAS CEREBRALES RELACIONADAS CON LA ATENCIÓN SOSTENIDA EN MENORES CON TEA POR MEDIO DE EEG.	18
3.1.1 <i>Búsqueda bibliográfica:</i>	18
3.1.2 <i>Análisis de Brechas:</i>	18
3.2 ETAPA 2: DISEÑO DEL EXPERIMENTO	19
3.3 ETAPA 3: MEDICIÓN DE LAS SEÑALES	24
3.4 ETAPA 4: PREPARACIÓN DE DATOS	25
3.4.1 <i>Preparación de los datos de la prueba de atención sostenida</i>	25
3.4.2 <i>Preparación de datos obtenidos por la aplicación Mind Monitor registrados por la diadema Muse</i>	25
3.4.3 <i>Preparación de los datos para graficar</i>	25
3.5 ETAPA 5: PROCESAMIENTO DE DATOS	27
3.5.1 <i>Realización de las gráficas de correlación</i>	27
3.5.2 <i>Estadística de datos</i>	28
3.6 ETAPA 6: RELACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS	29
4. RESULTADOS	31
4.1 RELACIÓN DE LA ONDA BETA CON LA ATENCIÓN	31
4.2 DISEÑO DE LA TAREA DE ATENCIÓN SOSTENIDA Y PROTOCOLO	31
4.3 MEDIDAS OBTENIDAS	38
4.4 OBTENCIÓN DE LA PREPARACIÓN DE LOS DATOS	40
4.4.1 <i>Obtención de la preparación de los datos de la prueba CPT</i>	40
4.4.2 <i>Obtención de la preparación de los datos</i>	41
4.4.3 <i>Preparación de los datos para graficar</i>	42
4.5 PROCESAMIENTO DE DATOS	43
4.5.1 <i>Gráficas de correlación</i>	43

4.5.2	<i>Análisis de estadísticas</i>	49
4.6	RELACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS	51
5.	CONCLUSIONES	52
5.1	CONCLUSIONES	52
5.2	TRABAJO FUTURO	53
5.3	RECOMENDACIONES	53
6.	BIBLIOGRAFÍA	55

Lista de figuras

FIGURA 1.1 RESUMEN DE LAS ETAPAS DE LA METODOLOGÍA	3
FIGURA 2.1 REDES DE LA ATENCIÓN.....	10
FIGURA 2.2 MUSE 2: THE BRAIN SENSING HEADBAND - DISPOSITIVO DE AURICULARES CON SENSOR MÚLTIPLE DE MEDITACIÓN.	11
FIGURA 3.1 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA ARQUITECTURA INICIAL DEL PROYECTO.	18
FIGURA 3.2 TEST DE LA A.....	21
FIGURA 3.3 DIAGRAMA DE PREPARACIÓN DE LOS DATOS	26
FIGURA 3.4 DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTES.....	28
FIGURA 3.5 MATRIZ DE CONFUSIÓN	29
FIGURA 4.1 VIDEO CPT, PAUSADO EN LA IMAGEN OBJETIVO	38
FIGURA 4.2 VIDEO DE TODA LA ACTIVIDAD, PAUSADO.	38
FIGURA 4.3 ACTIVIDAD ACADÉMICA, REALIZADA POR S₁	40
FIGURA 4.4 ONDAS BETA, VECTOR ATENCIÓN (AT), VECTOR PT CON RESPECTO AL TIEMPO DURANTE LA PRUEBA CPT	44
.....	45
FIGURA 4.5 ONDAS GAMMA, VECTOR ATENCIÓN (AT), VECTOR PT CON RESPECTO AL TIEMPO DURANTE LA PRUEBA CPT	45
FIGURA 4.6 ONDAS DELTA, VECTOR ATENCIÓN (AT), VECTOR TIEMPO DE REACCIÓN (TR) CON RESPECTO AL TIEMPO DURANTE LA PRUEBA CPT.....	46
FIGURA 4.7 ONDAS THETA, VECTOR ATENCIÓN (AT), VECTOR TIEMPO DE REACCIÓN (TR) CON RESPECTO AL TIEMPO DURANTE LA PRUEBA CPT.....	47
FIGURA 4.8 ONDAS ALFA, VECTOR ATENCIÓN (AT), VECTOR TIEMPO DE REACCIÓN (TR) CON RESPECTO AL TIEMPO DURANTE LA PRUEBA CPT.....	48
FIGURA 4.9 ONDAS BETA_AF8 CON RESPECTO AL TIEMPO DURANTE EL REPOSO	48
FIGURA 4.10 GRÁFICA DE TIEMPO DE REACCIÓN Y BETA CON EL SENSOR AF8, ESTAS CON RESPECTO AL TIEMPO.....	49
FIGURA 4.11 DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTES PARA BETA CON EL SENSOR AF8.....	50

Lista de tablas

TABLA 2.1 CRITERIOS DE LOS TRASTORNOS DEL ESPECTRO AUTISTA DEL DSM5 [23]	7
TABLA 2.2. NIVELES DE GRAVEDAD DEL TRASTORNO DEL ESPECTRO DEL AUTISMO [23]	8
TABLA 2.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS ARTÍCULOS MÁS AFINES AL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	15
TABLA 3.1 ACTIVIDADES REALIZADAS PARA EL DISEÑO DEL EXPERIMENTO	20
TABLA 3.2 MAPA DE EMPATÍA	23
TABLA 3.3 MUESTRA DE DATOS ANTES DE IMPUTAR Y DESPUÉS DE IMPUTAR	25
TABLA 4.1. CÓDIGOS DE LAS PERSONAS.....	32
TABLA 4.2. CARACTERIZACIÓN DEL S_1	33
TABLA 4.3. CARACTERIZACIÓN DEL S_2	33
TABLA 4.4. CARACTERIZACIÓN DEL S_3	34
TABLA 4.5 CARACTERIZACIÓN DEL D_1	35
TABLA 4.6 CARACTERIZACIÓN DEL P_2	36
TABLA 4.7 CARACTERIZACIÓN DEL P_3	37
TABLA 4.8 DATOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA CPT	39
TABLA 4.9 MUESTRA DE DATOS REGISTRADOS POR APLICACIÓN MINDMONITOR, UTILIZANDO LA DIADEMA MUSE.....	39
TABLA 4.10 DATOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA CPT (MODIFICADA)	40
TABLA 4.11 MUESTRA DE DATOS REGISTRADOS DE LAS ONDAS BETA DE LA DIADEMA MUSE.....	41
TABLA 4.12 MUESTRA DE DATOS LISTOS PARA GRAFICAR, REGISTRADOS POR LA DIADEMA MUSE	42
TABLA 4.13 COEFICIENTES DE CORRELACIÓN DE LOS VALORES DE LAS ONDAS (CON CADA SENSOR) CON RESPECTO AL TIEMPO.	43
TABLA 4.14 VERDADEROS POSITIVOS Y VERDADEROS NEGATIVOS	51
TABLA 4.15 RESULTADOS DEL VALOR DE LA SENSIBILIDAD, ESPECIFICIDAD, PRECISIÓN Y EXACTITUD.	51

RESUMEN

El trastorno del espectro autista (TEA) es un trastorno del neurodesarrollo que presenta retos particulares para las personas que lo padecen, uno de los desafíos que enfrentan los niños con TEA es la dificultad para mantener la atención en tareas que requieren esfuerzo cognitivo, lo que puede afectar su rendimiento académico, sin embargo existen escasas herramientas diseñadas para determinar atención en esta población. Este estudio se enfoca en determinar la atención sostenida a partir de la actividad eléctrica cerebral de niños diagnosticados con TEA estudiantes de la fundación Cenidi en la ciudad de Popayán. La atención sostenida fue determinada a través de relacionar un test estandarizado de atención, con la actividad eléctrica cerebral registrada durante esta tarea, por medio de un dispositivo portátil EEG (electroencefalograma). Encontrando así frecuencias y patrones característicos cuantificables relacionados a este tipo de atención en los participantes. Los resultados proporcionan una herramienta tecnológica poco invasiva que podría ayudar a los educadores a abordar las necesidades particulares de los niños con TEA y mejorar sus procesos de aprendizaje.

Palabras clave: Atención, EEG (electroencefalograma), autismo (TEA).

ABSTRACT

Autism Spectrum Disorder (ASD) is a neurodevelopmental disorder that represents particular challenges for those who have it. One of the challenges that children with ASD faces is difficulty in maintaining attention on tasks that require cognitive effort, which can affect their academic performance, nevertheless, there are few tools designed to determine attention in this population. This study focuses on determining sustained attention from the brain electrical activity of children diagnosed with ASD who are students at the Cenidi foundation in the city of Popayán. Sustained attention was determined by relating a standardized attention test with the brain electrical activity recorded during this task using a portable EEG (electroencephalogram) device. Quantifiable characteristic frequencies and patterns related to this type of attention were thus found in the participants. The results provide a non-invasive technological tool that could help educators address the specific needs of children with ASD and improve their learning processes.

Keywords: Attention, EEG (electroencephalogram), Autism (ASD).

1. INTRODUCCIÓN

1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La atención es la capacidad de generar, dirigir y mantener un estado de activación adecuado para el procesamiento correcto de la información [1], permite poner en marcha procesos o mecanismos atencionales gracias a los cuales se es más receptivo a los sucesos relevantes, para así poder realizar muchas actividades [2]. se clasifica en atención selectiva, atención dividida y atención sostenida [3]. siendo la clasificación escogida para el presente estudio la atención sostenida que se define como la capacidad de mantener de manera fluida el foco de atención en una tarea o evento durante un periodo de tiempo prolongado, lo que la hace el tipo de atención necesaria para los procesos de aprendizaje [4],[5].

La evaluación de la atención se hace debido a que esta no siempre opera de manera oportuna, ocasionando dificultades en actividades escolares, lúdicas, laborales y familiares, como respuesta a esto se requiere estudios atencionales que indiquen cómo actúa para disminuir los aspectos negativos derivados de la falta de esta [6]. En especial la atención sostenida, pues la mayoría de las actividades que llevamos a cabo a diario exigen el esfuerzo de permanecer atentos durante un cierto periodo de tiempo [7].

El trastorno del espectro autista (TEA) es la alteración del desarrollo del cerebro que se manifiestan desde el inicio de la infancia y dura toda la vida; puede perjudicar las relaciones sociales, debido a que afecta la comunicación social y la conducta, puesto que presenta comportamientos e intereses repetitivos y restringidos. Este trastorno es complejo y muy variado tanto en lo referente a la etiología y a su manifestación y evolución de los síntomas en las etapas del desarrollo en su expresión y presentación según el sexo, edad o comorbilidades [8].

Las personas diagnosticadas con TEA presentan dificultades en tareas que requieran alta demanda cognitiva, incluyendo la atención que es importante para que pueda haber aprendizaje [5]. La organización mundial de la salud estima que 1 de cada 160 niños presenta TEA y en Colombia, aunque no hay estadísticas oficiales se calcula que hay 115.000 casos de este trastorno [9]. En la fundación Cenidi de Popayán hay tres casos de autismo y no cuentan con un método de evaluación de la atención en los menores, por tanto se va a realizar el estudio en esta fundación.

En la corteza cerebral se genera una actividad eléctrica, la cual se representa por ondas cerebrales que tienen bajo voltaje, y se clasifican de acuerdo al rango de frecuencia, entre estas ondas, se encuentran las theta de 4-7 Hz, su actividad se ha relacionado con la atención en sujetos sanos [10]. Sin embargo, los patrones de activación cerebral en sujetos con TEA durante tareas de atención han demostrado diferencias [11] y en niños con TEA se ha encontrado un aumento en la actividad gamma durante tareas de atención visual sostenida [12].

Los niveles de activación cerebral varían dependiendo de la capacidad de atención, y los que mejor identifican los niveles de activación cortical son las onda theta y beta, pues los incrementos de theta indican descenso en el fluido sanguíneo y metabolismo de la glucosa, lo cual se correlaciona con áreas cerebrales poco activas, lo mismo pasa

cuando descienden las ondas beta, por tanto, se tienen en cuenta ambas ondas, por medio del ratio beta/theta como indicador de la activación cerebral [11].

Este proyecto pretende analizar la atención sostenida de los menores con trastorno del espectro autista (TEA), pues es una población caracterizada por tener dificultades con estos procesos cognitivos, y que a pesar de representar una población considerable no cuenta con suficientes estudios dedicados a las necesidades particulares de estos individuos. La identificación de la atención sostenida se llevó a cabo, por medio del registro de la actividad eléctrica cerebral mediante el estudio del electroencefalograma (EEG), mientras los participantes realizan una tarea de evaluación de la atención sostenida estandarizada conocida como CPT, todo esto con el fin de aumentar la investigación en esta área, ya que son escasos los estudios de los procesos cognoscitivos con dispositivos no invasivos [10].

Durante la revisión bibliográfica se encontró que existen estudios similares en los que han trabajado con participantes sin algún tipo de trastorno [10], [13], otros con un caso de TEA [14], otros con TDAH [15], [16], y otros con policonsumidores [10]. En los que se usaron dispositivos como BCI [10], [14], [15], neurosky [16], y un electrodo en el lóbulo frontal [13]. También utilizaron herramientas como Matlab, MLP-NN [14], transformada de Fourier [13], [15], [10], Ventana de Hamming [13], el coeficiente de correlación, transformada Hilbert-huang, filtro de doble muesca [15], filtro paso bajo [14], filtro Kalman [13], filtro pasabanda y filtro Butterworth [15]. Registraron las ondas Delta, Theta, Alfa y Beta. Lo que se buscaba en estos artículos era: medir la atención, evaluar la concentración, medir el tiempo de respuesta o frecuencia de las ondas relacionadas con la atención o cuantificar la actividad cerebral o tener un control de atención.

Además, en los artículos utilizaron electrodos frontales [10], [13]–[15], occipitales [10], parietales, y temporales [10], [14] y se encontró buenos resultados, utilizando un modelo de red neuronal de perceptrón multicapa [14], con el cual encontraron un buen rendimiento; en personas sin el diagnóstico TEA encontraron un aumento de onda Beta y una disminución de onda Alfa [13] cuando hubo recordatorios, se encontró un aumento de ondas theta y delta en poli consumidores, en un estudio solo revelaron contribuciones con la onda theta para los diagnosticados con hiperactividad [15], y en otro encontraron relación con la ecuación $\text{Beta}/(\text{Alfa}+\text{Theta})$ [16]. Teniendo en cuenta este trastorno y los escasos estudios que hay con métodos no invasivos, se plantea siguiente pregunta:

¿Cómo detectar la atención sostenida en menores de edad con TEA a partir de la actividad eléctrica cerebral?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Analizar la atención sostenida en menores de edad con TEA a partir de la actividad eléctrica cerebral.

Objetivos específicos

- Identificar las ondas cerebrales relacionadas con la atención sostenida en estudiantes con TEA por medio del electroencefalograma (EEG).
- Relacionar los resultados obtenidos mediante el EEG con test estandarizados de atención supervisados por un educador certificado.
- Validar la atención sostenida de los menores con TEA dentro de la fundación Cenidi, durante la ejecución de una tarea de aprendizaje por medio del EEG.

1.3 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

En este trabajo se utilizó la metodología mixta [17], porque se necesitó realizar un análisis de datos cualitativo y cuantitativo de la atención sostenida. Esta metodología se compone por seis etapas organizadas cronológicamente. Observe la Figura 1.1

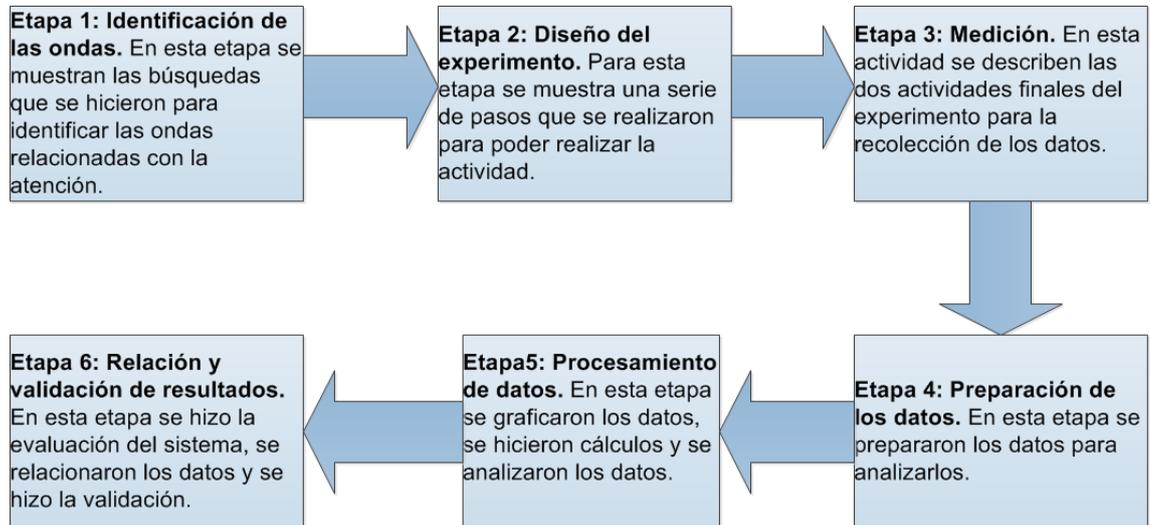


Figura 1.1 Resumen de las etapas de la metodología

En la primera etapa se hace una búsqueda bibliográfica utilizando las palabras clave: EEG, Trastorno de espectro autista y Atención; en la segunda etapa se describen las actividades organizadas cronológicamente para el diseño del experimento de la prueba de atención sostenida (el cual fue colaborativo) utilizando la diadema Muse. En la tercera etapa se describen dos actividades en las que se tomaron las medidas en el experimento; la cuarta etapa muestra cómo se prepararon y organizaron los datos para poder analizarlos; la quinta etapa muestra los cálculos y gráficas para analizar los datos. Finalmente, en la última etapa se muestra la evaluación de la prueba y la validación.

1.4 CONTRIBUCIONES

- Una Prueba CPT (Test de atención continua) para evaluar la atención sostenida que puede ser usada por educadores de niños diagnosticados con el trastorno de espectro autista, con el objetivo de cuantificar la atención sostenida.
- Aporte a la investigación utilizando dispositivos no invasivos EEG en una actividad de atención sostenida.
- Juan Manuel Revelo Ramírez, Nayibe Tatiana Hurtado Mora, Rubiel Vargas Cañas, César Alberto Collazos O - Ponencia del póster ganador titulado: Análisis de la atención sostenida en menores de edad con trastornos del espectro autista por medio de la actividad eléctrica cerebral - En el encuentro Internacional de Ciencia para la Paz y el Desarrollo, realizado en la ciudad de Popayán los días 28, 29 y 30 de noviembre de 2022
- Nayibe Tatiana Hurtado Mora, Juan Manuel Revelo Ramírez, Cesar Alberto Collazos O. – Ponencia del trabajo titulado: Analysis of sustained attention in children with autism spectrum disorder using brain electrical activity- Se desarrolló en las siguientes Universidades Alemanas: Technical University of Darmstadt; University of Duisburg-Essen; University of Applied Sciences, Ruhr West (HRW).- Del 17 al 27 de noviembre de 2021.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 MARCO CONCEPTUAL

En este capítulo se presentan los conceptos relacionados con el análisis de la atención sostenida en menores de edad con trastorno de espectro autista (TEA) a partir de la actividad eléctrica, se presentan conceptos como atención, atención sostenida, tareas para evaluar la atención sostenida, trastorno del espectro autista, atención en niños con trastorno del espectro autista, atención y actividad eléctrica, atención sostenida en niños con TEA, encefalograma y se presenta el dispositivo Muse.

2.1.1 Atención

Para observar, escuchar, oler, tocar y gustar es necesario atender. La atención es una función neuropsicológica compleja; por tanto es difícil definirla. Sin embargo, se han propuesto varias concepciones, y con la que existe un mayor acuerdo es la alusión sobre que la atención es un conjunto de mecanismos coordinados, que se encargan de seleccionar estímulos importantes del entorno para el estado cognitivo y así poder realizar una acción y cumplir unos objetivos. En la atención también influye la motivación y expectativas que pueden afectar a esta [18].

Para la comprensión de la atención se creó varios modelos que la explican, y uno de los más destacados es el modelo de redes neuronales atencionales de Posner y Petersen. De modo que, la atención es un constructo no unitario, en el que están implicadas tres redes neuronales a los procesos atencionales; red anterior, red posterior y red de vigilancia:

- La red anterior, se relaciona fundamentalmente con la selección y detección de objetos. Anatómicamente, esta red está formada por las áreas de la corteza prefrontal medial, que incluye la parte anterior del giro singular, los ganglios basales y el área motora suplementaria superior [4].
- La red posterior, se relaciona con la orientación viso-espacial de la atención, además, está relacionada a su vez con la selección de la información y con el grado de consciencia de la información. Está conectada anatómicamente con las otras redes neuronales y formada por parte de la corteza parietal, por áreas talámicas (el núcleo pulvinar y los núcleos reticulares) y parte de los culículos superiores del cerebro medio [4].
- La red de vigilancia, está relacionada al mantenimiento de la disponibilidad del sujeto para responder y clásicamente se evalúa con tareas de ejecución continua (CPT). En esta red aumenta la actividad cuando se le pide al sujeto que mantenga la atención en un periodo previo de tiempo en una tarea de tiempo de reacción o cuando se le pide que atienda a una serie de señales, y la señal aparece poco frecuente. A esta red están asociadas las áreas corticales del hemisferio derecho, en los lóbulos frontales y parietales, que reciben proyecciones norepinefrinérgicas procedentes del locus coeruleus [4].

La atención es un constructo no unitario, de naturaleza heterogénea que se compone de distintos componentes o niveles [4], la atención permite poner en marcha unos procesos o mecanismos atencionales gracias a los cuales se es más receptivo a los sucesos relevantes, para así poder realizar muchas actividades [2]. Clásicamente, de acuerdo a los mecanismos implicados, la atención se clasifica en atención selectiva, atención dividida y atención sostenida [3].

Atención selectiva: ocurre cuando se realiza una actividad de selección de la información relevante que se va a utilizar; atención dividida: Ocurre cuando se realiza más de una actividad a la vez, es decir, cuando hay una focalización y selección en más de una fuente de información; Finalmente, la atención sostenida: es la capacidad y proceso de mantener el estado de selectividad atencional por un periodo de tiempo prolongado en una actividad. También se habla de vigilancia cuando la tarea es de detección [4].

2.1.2 Atención Sostenida

La atención sostenida se refiere a mantener la atención durante un periodo de tiempo. Esta se conoce como la actividad que se encarga de poner en marcha los mecanismos y/o procesos para mantener el foco de atención y estar alerta a estímulos, durante tiempos prolongados, de manera que la atención sostenida es equivalente al concepto de persistencia de la atención [4].

A menudo los conceptos de vigilancia y atención sostenida se usan indistintamente. La vigilancia se refiere a un estado de preparación para detectar y dar respuesta a cambios que ocurren en el entorno que aparece aleatoriamente en intervalos de tiempo, mientras que la atención sostenida se refiere al mantenimiento del foco en un intervalo de tiempo. A pesar de estas sutiles diferencias se han usado de modo intercambiable [4].

Las tareas típicas de vigilancia requieren la observación de una serie de estímulos con la finalidad de detectar los estímulos señal, que aparecerán con frecuencia baja. Estas tareas son monótonas, pueden durar más de 30 minutos, en esta tarea aparecen estímulos (diana y no diana) y el sujeto debe atender y reconocer cuando aparece el estímulo diana o señal [4]. El déficit de atención sostenida o la vigilancia, se explican por medio del nivel de vigilancia y el decremento de la vigilancia a lo largo del tiempo [19].

El nivel de vigilancia es el rendimiento medio de detección en un tiempo, cuando hay disminución de este nivel, lleva a fallos en la atención. El decremento en la vigilancia es el descenso en la capacidad de señales, cuando hay este decremento, hay incapacidad en mantener la atención en un determinado tiempo, esto se aprecia en el aumento de tiempo de respuesta y/o en las tasas de error en la tarea con el tiempo. Esto se da generalmente cuando hay una tarea de alta demanda atencional [4].

El rendimiento de la atención sostenida está influido por varios factores: las características de los estímulos, la presencia de un fondo de ruido, la complejidad de las tareas, el conocimiento de los resultados del rendimiento, la pérdida de sueño o el estrés [3], [20]. Los paradigmas básicos para evaluar la atención requieren monitorizar el estímulo señal, con frecuencia mayor o menor.

Principalmente, hay dos paradigmas, el primero es la detección de estímulos y el segundo paradigma es la discriminación continua de estímulos [21]. El primer paradigma consiste en las tareas de detección, pero no en la identificación, de los estímulos porque solo se muestran los estímulos señal. Esta tarea se usa para evaluar un aspecto de la atención sostenida, la cual se conoce como vigilancia psicomotora que prepara al sujeto para detectar rápido el estímulo; en esta tarea solo hay una forma de respuesta y un aspecto de incertidumbre en el momento que aparece la señal [22].

En el segundo paradigma se presentan las señales y no señales entremezcladas de manera impredecible, de tal manera que el sujeto debe emitir una respuesta solo cuando

aparece la señal. Generalmente, la frecuencia de estímulos no señal es mayor a la frecuencia de estímulos señal [4].

2.1.3 Tareas para evaluar la atención sostenida

Hay dos tareas con posibles variantes. Las cuales son utilizadas para evaluar la atención sostenida, estas se denominan: tareas de ejecución continua (CPT) y las tareas de vigilancia (TVI); ambas son tareas simples y dirigidas al mecanismo atencional.

En las tareas CPT el participante debe dar una respuesta dicotómica, en que se confirma y/o rechaza el estímulo durante periodos prolongados de tiempo, mientras que en las TVI, el participante debe estar alerta y responder de vez en cuando al estímulo objetivo. Hay cierta tendencia de proponer a ambos tipos de prueba el término CPT, pero estos lo hacen desde paradigmas diferentes [23].

De acuerdo a diferentes pruebas de investigación las tareas CPT son las más recomendadas, puesto que presentan los mejores resultados y son populares en la parte clínica, y las tareas TVI son más usadas en el ámbito experimental, estas tareas se han recomendado en estudios relacionados con trastornos relacionados en el ámbito de aprendizaje [23].

Para conocer los resultados de las tareas anteriores, se debe tener en cuenta la puntuación de aciertos u omisiones que es lo que más está relacionado con la disfunción atencional, es decir que cuando el sujeto deja de marcar targets se supone que ya está distraído o que está cansado. En cambio, la puntuación de comisiones reflejaría un problema de control motor, de inhibición o impulsividad [23].

Algunas pruebas de evaluación de la atención sostenida son nombradas a continuación: el test de ejecución o CPT consiste en responder cuando salga la x en una secuencia de letras aleatorias. También está la prueba SART (sustained attention to response test) que consiste en no responder cuando salga el 3 e indicar si el número presentado (entre 1 y 9) es par o impar. Además, el test de símbolos y dígitos o SDMT (Symbol Digit Modalities test) es una prueba de atención sostenida y de velocidad de procesamiento [24]. Finalmente, en diferentes pruebas de investigación han propuesto que las tareas CPTs son las que presentan mejores resultados pero deben complementarse [23].

2.1.4 Trastorno del espectro autista

El trastorno del espectro autista (TEA o ASD) es la alteración del desarrollo del cerebro que se manifiestan desde el inicio de la infancia y dura toda la vida; puede perjudicar las relaciones sociales, debido a que afecta la comunicación social y la conducta, puesto que presenta comportamientos e intereses repetitivos y restringidos. Este trastorno es complejo y muy variado tanto en lo referente a la etiología y a su manifestación y evolución de los síntomas en las etapas del desarrollo en su expresión y presentación según el sexo, edad o comorbilidades [8].

La conceptualización, la definición y los criterios diagnósticos se han ido modificando a lo largo de las décadas, de acuerdo a las investigaciones y el DSM5 (manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales, actualizado en el 2013) incluye una denominación genérica de TEA y elimina las subcategorías del DSM IV-TR (trastorno autista, síndrome de Asperger y trastorno generalizado del desarrollo no especificado, entre otros) de tal manera que quedan englobados en el trastorno de espectro autista [8] (Tabla 2.1).

Tabla 2.1 Criterios de los trastornos del espectro autista del DSM5 [25]

<p>A. Deficiencias persistentes en la comunicación social y en la interacción social en diversos contextos.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Las deficiencias en la reciprocidad emocional, estas son variables, por ejemplo un acercamiento social anormal o hasta un fracaso en la conversación debido a la disminución de intereses, emociones o afectos compartidos. 2. Las dificultades en la comunicación no verbal (utilizadas en la interacción social) también varían, en la comunicación verbal y no verbal integradas pueden ocurrir anomalías en el contacto visual, expresiones corporales o deficiencias de la comprensión y el uso de gestos hasta una falta total de expresiones faciales y comunicación no verbal. 3. Las deficiencias en el desarrollo, mantenimiento y comprensión de las relaciones dificultad para ajustar el comportamiento en un ambiente social, pasando por dificultades en un juego imaginativo y para hacer amigos, hasta la ausencia de interés por otras personas.
<p>B. Patrones restrictivos y repetitivos de comportamiento, intereses o actividades, que se manifiestan en dos o más de los siguientes puntos.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Movimientos, utilización de objetos o habla estereotipadas o repetitivas (mover una parte del cuerpo, alineación de los juguetes o cambio de lugar de los objetos, repetir palabras o frases) 2. Insistencia en la monotonía, excesiva inflexibilidad de rutinas o patrones ritualizados de comportamiento verbal o no verbal. (gran angustia ante los cambios, dificultad con las transiciones, patrones de pensamiento rígido, rituales de saludo, necesidad de tomar el mismo camino, o comer los mismos alimentos cada día) 3. Intereses muy restringidos y fijos que son anormales en cuanto a su intensidad o foco de interés. (fuerte apego o preocupación por objetos inusuales) 4. Hiper- o hiporeactividad a los estímulos sensoriales o interés inhabitual por aspectos sensoriales del entorno (p. ej., desinterés a dolor y temperatura, olfateo o palpación excesiva de objetos, fascinación visual por las luces)
<p>C. Los síntomas deben estar en las primeras fases del periodo de desarrollo. (Pero no pueden manifestarse hasta que la demanda social supera las capacidades limitadas)</p>
<p>D. Los síntomas causan un deterioro en la vida social (interferencia en la vida cotidiana)</p>
<p>E. Estas alteraciones no se explican mejor por la discapacidad intelectual o por el retraso global del desarrollo. La discapacidad intelectual y el trastorno del espectro del autismo suelen coincidir, por tanto para hacer diagnóstico de comorbilidad junto con discapacidad intelectual, la comunicación social ha de estar por debajo de lo previsto para el nivel general de desarrollo.</p>

Se consideran tres grados de severidad para los síntomas de comunicación social y de comportamientos restringidos y repetitivos. El grado 3 significa que necesita apoyo muy notorio, el grado 2 necesita apoyo notable y el grado 1 necesita apoyo [8].

Tabla 2.2. Niveles de gravedad del trastorno del espectro del autismo [25]

Nivel de gravedad	Comunicación social	Comportamientos restringidos y repetitivos
Grado 3 "Necesita ayuda muy notable"	Las deficiencias graves de las aptitudes de comunicación social verbal y no verbal causan alteraciones graves del funcionamiento, inicio muy limitado de las interacciones y respuesta mínima a la apertura social de otras personas.	La inflexibilidad del comportamiento, extrema dificultad al cambio u otros movimientos restringidos/repetitivos interfieren notablemente con el funcionamiento en todos los ámbitos. Ansiedad intensa/dificultad para cambiar de foco.
Grado 2 "Necesita ayuda notable"	Deficiencias notables de las aptitudes de comunicación verbal y no verbal, problemas sociales aparentes, incluso con ayuda. Inicio limitado a la interacción social y reducción de respuesta o respuestas no normales a la apertura de interacción con las personas. Ejemplo, una persona que usa frases sencillas, que se limitan a sus intereses concretos con comunicación no verbal muy excéntrica.	La inflexibilidad de comportamiento, dificultad al cambio u otros movimientos restringidos/repetitivos aparecen con frecuencia notablemente e interfieren con el funcionamiento en diferentes contextos. Ansiedad y/o dificultad para cambiar el foco de acción.
Grado 1 "Necesita ayuda"	Sin ayuda, las deficiencias en la comunicación social causan problemas importantes. Dificultad para iniciar interacciones sociales, respuestas atípicas o insatisfactorias a la apertura social de otras personas. Podría parecer que tiene poco interés en las interacciones sociales. Por ejemplo cuando una persona establece comunicación con frases completas, pero en una conversación amplia, falla y también la intención de hacer amigos, es excéntrico y habitualmente sin éxito.	La inflexibilidad de comportamiento causa una interferencia significativa con el funcionamiento en uno o más contextos. Dificultad para alternar actividades. Los problemas de planificación y organización dificultan la autonomía.

2.1.5 Atención en niños con trastorno de espectro autista

Las alteraciones atencionales no son exclusivas de un trastorno en particular [26] sin embargo, las personas diagnosticadas con TEA pueden presentar dificultad en el proceso de atención, ocasionando que el aprendizaje sea más complicado [5]. Incluso, hay estudios que han analizado los perfiles atencionales de las personas diagnosticadas con este trastorno, y han encontrado, a pesar de la variabilidad individual resultados que apuntan a problemas a nivel de activación y modulación del foco atencional [27].

2.1.6 Atención y actividad eléctrica

Para entender un poco la actividad eléctrica de la atención es necesario revisar la teoría de Mike Posner y Steve Petersen, en la cual hay tres conceptos fundamentales; primero, el sistema de atención está separado, desde el punto de vista anatómico de los sistemas sensitivos que procesan la información entrante y produce conductas; segundo, la atención incluye tres redes de áreas anatómicas distribuidas: estado de alerta, orientación y control ejecutivo; tercero, estas diversas áreas constituyen las tres redes distintas y cada una representa un conjunto de procesos de la atención [28].

- Red del estado de alerta: Para mantener el estado de alerta es necesario que funcione el sistema activador reticular ascendente (SARA) en el mesencéfalo. El componente clave del SARA es la proyección noradrenérgica neuromoduladora desde el locus coeruleus en el tronco encefálico hasta el prosencéfalo, que prepara regiones, sobre todo en la corteza prefrontal y parietal posterior para detectar rápidamente los estímulos. Por ejemplo, cuando hay una señal de advertencia se aceleran automáticamente la orientación y la respuesta al objetivo [28].
- Red de orientación: El sistema orientador da prioridad a las neuronas sensitivas al seleccionar una modalidad sensitiva (visión, audición, tacto) o a un lugar en el espacio. Los estudios de imágenes han identificado dos redes en relación con los estímulos externos. Cuando se les dice a los participantes que se orienten hacia la aparición de la señal de la flecha, esto parece estimular la actividad en un *sistema dorsal* de los campos oculares frontales y el surco interparietal. Para que la atención cambie de orientación tiene que desconectarse del estímulo y cambiar a otro. Esto activa una *red más ventral* y consiste en regiones de la unión tempo parietal y la corteza ventral frontal [28].
- Redes ejecutivas dobles: Petersen y Posner proponen las redes dobles, con un rol arriba-abajo: una red dorsolateral-corteza prefrontal-parietal y una red cingular anterior/frontal media-insular anterior (opérculo frontal). (Figura 2.1.B). Se cree que la red frontoparietal, que se muestra en verde, se relaciona con las instrucciones de la tarea que son transitorias al inicio de una nueva tarea, mientras que la red cinguloopercular, que se muestra negra está asociada a una actividad sostenida en una tarea. Los dos conjuntos de regiones de cada red no interaccionan con fuerza una con otra, pero sí están correlacionados. Otros investigadores prefieren la teoría de la red ejecutiva unificada que incluye todas estas regiones, así pues, la doble red ejecutiva no es universalmente aceptada [28].

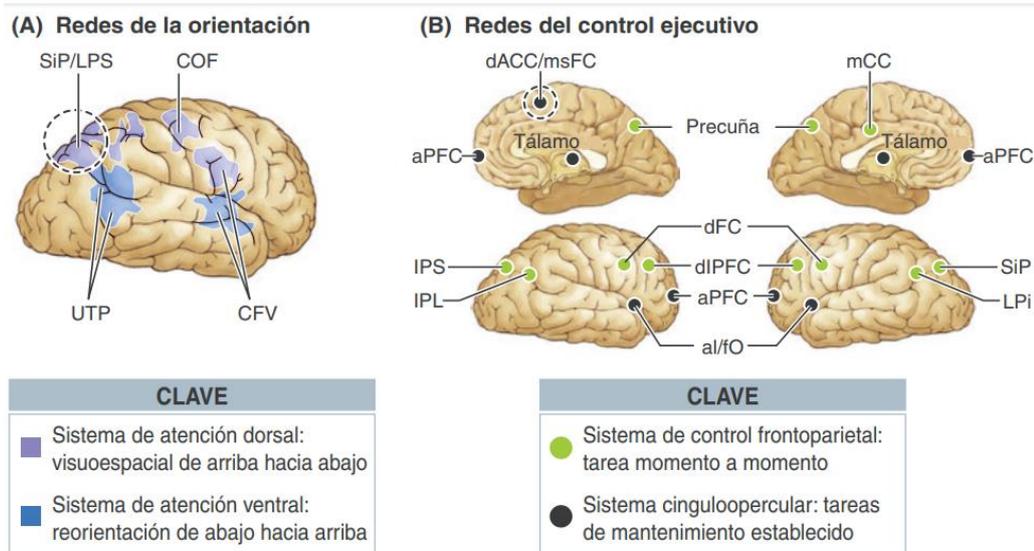


Figura 2.1 Redes de la atención **(A)** La red de orientación dorsal (violeta) que incluye los campos oculares frontales (**COF**) y el surco intraparietal/lóbulo parietal superior (**SIP/LPS**) opera en un proceso arribaabajo para sincronizar la actividad del sistema de orientación visuoespacial. El sistema ventral (azul), que incluye la unión temporoparietal (**UTP**) y la corteza frontal ventral (**CFV**), sincroniza la actividad del sistema orientador con las aferencias sensitivas abajo-arriba entrantes. **(B)** El sistema de control ejecutivo frontoparietal (verde) opera momento a momento, mientras que el sistema de control cingular-opercular (insular anterior) (negro) muestra una actividad sostenida durante la ejecución de la tarea. Abreviaturas: **dACC/msFC**, corteza cingular anterior dorsal; **aPFC**, corteza prefrontal anterior; **dIPFC**, corteza prefrontal dorsolateral; **dFC**, corteza frontal dorsal (corteza prefrontal); **al/fo**, ínsula interior/opérculo frontal; **LPI**, lóbulillo parietal inferior; **mCC**, corteza cingular media [28].

La atención también está relacionada con las ondas. En el momento que un estímulo requiere atención, hay una desincronización de la actividad neuronal durante la cual el ritmo alfa se sustituye por el ritmo Beta [29]. Teniendo en cuenta la asociación a patrones cerebrales específicos y tareas cognitivas, hay evidencia de que las ondas alfa de baja frecuencia (7-9.5 Hz) están asociadas a procesos atencionales [30]–[31].

Por otro lado, cuando hay atención sostenida hay participación de los circuitos en las regiones prefrontales y parietales del hemisferio derecho como lo han encontrado los investigadores de neurociencia [19]. También, se ha identificado patrones en las ondas cerebrales relacionadas con la memoria de trabajo que determinan en gran parte el estado de atención, lo cual facilita el proceso de aprendizaje [32]. Las ondas Beta y Alpha se encuentran relacionadas directamente con la activación cortical y la disminución de esta ha sido ampliamente relacionada con la regulación de atención [11].

2.1.7 Encefalograma y TEA

En los estudios que han realizado, utilizando Encefalograma (EEG) en la población diagnosticada con trastorno de espectro autista (TEA), han encontrado irregularidades y anomalías en los patrones de la actividad cerebral [33]. Entre los cuales se destacan la reducción de ondas Alfa (Alfa relativa) [34], un exceso de ondas Theta y Delta [34], [35], también en las ondas Gamma [36], [12] y un ligero exceso de ondas Beta [37]. Además, se encuentran patrones atípicos de simetría-asimetría en especial para las ondas Alfa y en áreas frontales [38].

2.1.8 Atención sostenida en niños con TEA y Encefalograma

Encefalograma o electroencefalograma (EEG) se define como una prueba funcional del cerebro que permite registrar la actividad eléctrica de la superficie del cerebro que se compone por ondas cerebrales [39]. En el electroencefalograma se evidenció el exceso de oscilaciones de alta frecuencia durante una tarea de atención visual sostenida en niños con TEA ya que hubo un aumento patológico de la actividad gamma [12].

2.1.9 Muse



Figura 2.2 MUSE 2: The Brain Sensing Headband - Dispositivo de auriculares con sensor múltiple de meditación.

Muse es un dispositivo que se encarga de registrar las ondas cerebrales, a través de sensores EEG, trabaja con dispositivos móviles por medio de Bluetooth tiene forma de diadema para colocarse en la cabeza y está diseñado para mejorar la meditación en las personas, con el fin de ayudar a las personas en los trastornos emocionales. Además, hay investigadores que están trabajando con este dispositivo para hacer investigación en neurociencia para ver si los resultados educativos pueden ser mejorados con la comprensión cerebral de los estudiantes [40].

El Muse 2, utiliza 4 sensores: TP9, indica que está en el oído izquierdo, AF7, está al lado izquierdo de la frente, AF8, en el lado derecho de la frente, TP10 en el oído derecho, estos son usados para registrar valores de las ondas cerebrales, las cuales son: Delta 1-4 Hz, Theta 4-8 Hz, Alfa 7.5-13 Hz, Beta 13-30Hz, Gamma 30-44 Hz.

2.2 REFERENTES DE INVESTIGACIÓN

A continuación, se muestran los referentes nacionales e internacionales. Los nacionales se encontraron utilizando la base de datos google scholar, con las siguientes palabras: autism, OR attention, OR eeg intervalo 2012- 2022 y para buscar los artículos internacionales: eeg, autism, attention. Se eligieron los artículos más afines con el proyecto.

2.2.1 Referentes Internacionales

1. **Mejora de los síntomas del trastorno por déficit de atención e hiperactividad en niños en edad escolar, adolescentes y adultos jóvenes con autismo a través de una ayuda de entrenamiento socioemocional basada en gafas inteligentes digitales: a corto plazo [41].**

El objetivo de este estudio preliminar fue describir los cambios en los síntomas relacionados con el TDAH (Trastorno de déficit atención e hiperactividad) en niños, adolescentes y adultos jóvenes con TEA inmediatamente, después del

uso del sistema Empowered Brain una ayuda de comunicación conductual y social para TEA que se ejecuta en gafas inteligentes de realidad aumentada.

Los participantes obtuvieron puntuaciones ABC-H (una medida de hiperactividad, falta de atención e impulsividad) posteriores a la intervención fueron más bajas para la mayoría de los participantes a las 24 horas y para todos los participantes a las 48 horas. A las 24 horas después de la sesión, las puntuaciones ABC-H promedio de los participantes se redujeron en un 54,9 % en el grupo de síntomas altos de TDAH y en un 20 % en el grupo de síntomas bajos de TDAH. A las 48 horas después de la sesión, las puntuaciones ABC-H en comparación con el valor inicial se redujeron en un 56,4 % en el grupo de síntomas altos de TDAH y en un 66,3 % en el grupo de síntomas bajos de TDAH.

2. Medición de la atención de un usuario con trastorno del espectro autista utilizando señales de EEG [14].

En este estudio se hicieron hallazgos que permiten desarrollar mejores escenarios de aprendizaje de acuerdo a las necesidades de la persona con TEA. Además, permite obtener información cuantificable sobre su progreso para reforzar la percepción del profesor o terapeuta.

En el artículo [14] se explica que las personas con TEA presentan niveles de atención variables porque tienen hipersensibilidad y puede ser un problema la gran cantidad de información ambiental. Además, para medir la atención, se calcula la densidad de espectro de potencia de la banda para detectar la potencia relativa theta (TRP), la potencia relativa alfa (ARP), la potencia relativa beta (BRP), la relación theta-Beta (TBR), relación theta-alfa (TAR) y theta/(alfa+Beta) que son funciones relacionadas con la atención. También, utilizan el modelo de red neuronal de perceptrón multicapa (MLP-NN), obteniendo un buen rendimiento. De esta manera obtienen información cuantificable que permita obtener información cuantificable sobre el desempeño de los modelos de ML cuando el usuario de TEA realiza actividades de didáctica/aprendizaje, lo anterior con el propósito de reforzar la percepción del docente o terapeuta.

3. Un método novedoso para la evaluación de la concentración durante comportamientos de lectura con actividad eléctrica registrada en el pericráneo [13].

En este trabajo se realizó una evaluación de concentración de comportamientos de lectura con detección de señales eléctricas, a través del procesamiento de señales digitales se logran obtener los correspondientes parámetros de evaluación de la concentración y con esta información el usuario es recordado por un sonido para concentrarse, o se recuerda al personal docente que ayude a los usuarios a mejorar sus hábitos de lectura cuando se detecta baja concentración y de esta forma facilitar la capacidad de concentración del usuario.

En este artículo, se encontró que cuando la onda Alfa es más baja y la onda Beta es más alta, la condición psicológica es relajada, pero concentrada. En este estudio para calcular la concentración utilizaron la onda Beta y la onda Alfa, que muestra la actividad eléctrica registrada en el pericráneo cuando el cerebro está relajado. Si el valor de la onda Alfa aumentaba gradualmente, el sistema mostraba un recordatorio, así pues cada persona se le asignó un valor de

umbral, para la onda Beta, y cuando se le dio un recordatorio de texto y luego musical, las ondas Beta aumentaron en comparación cuando no se les dio un recordatorio y la onda Alfa disminuyó, lo cual indica que mejoró la concentración con los recordatorios.

4. Actividad eléctrica cerebral de la atención en adolescentes policonsumidores por medio de un equipo de BCI (Brain Control Interface) [10]

En la presente investigación se tuvo como objetivo registrar la actividad eléctrica cerebral (EEG) en tareas de atención (sostenida y selectiva) en un grupo de 46 adolescentes policonsumidores, los resultados mostraron un incremento de ondas cerebrales beta- β , theta- θ y delta- δ . Se identificó una diferencia significativa con respecto al tiempo de respuesta entre los adolescentes consumidores de sustancias psicoactivas frente al grupo cuasi-control en ambos tipos de tareas atencionales.

Se encontró en el gráfico de densidad espectral de potencia, predominancia de ondas theta y delta en policonsumidores, asociadas a problemas como el enlentecimiento atencional, la atrofia cortical, la disfunción frontal y un bajo rendimiento en tareas de atención. Además, encontraron predominancia de ondas theta y alfa cuando los sujetos realizaron actividades de atención sostenida y selectiva, y relacionan estas ondas con la atención que tiene la persona. Aunque las ondas theta también se producen cuando hay una disminución en el nivel de activación, estas también están involucradas cuando hay mucha concentración durante la realización de las tareas.

5. Medidas psicofisiológicas para evaluar la carga cognitiva [42]

La contribución de este estudio es un método en tiempo real, objetivo y generalizable para evaluar la carga cognitiva en tareas cognitivas comúnmente encontradas en sistemas "ubicomp" y situaciones de atención dividida. Al recopilar datos de múltiples sensores y comparar su capacidad para evaluar la carga cognitiva, enfocándose en tres factores principales en estas áreas: velocidad de cierre, flexibilidad de cierre y velocidad perceptiva.

Los datos recopilados de múltiples sensores mostraron que en todos los participantes, el flujo de calor medio y las mediciones de ECG MAD fueron las más precisas en distinguir entre niveles bajos y altos de capacidad cognitiva, proporcionando una precisión de clasificación de más del 80% cuando se usan juntos. Al lograr esto, se proporcionó un método objetivo en tiempo real para evaluar la capacidad cognitiva en tareas comúnmente encontradas en sistemas ubicomp y situaciones de atención dividida.

2.2.2 Referentes nacionales

1. Influencia de un videojuego de neurofeedback BCI en niños con TDAH. Cuantificación de la actividad cerebral a través de una herramienta (toolbox) dedicada al procesamiento de una señal EEG [15].

En este trabajo se presentó un estudio piloto utilizando un videojuego de neurofeedback hecho para este propósito. El videojuego utiliza una Interfaz cerebro informática (BCI) de bajo costo para medir los niveles de atención de jugadores y usarlos como control de entrada en el videojuego. Los resultados

revelaron mejoras en los niveles de atención sostenida de los jugadores (medido por métricas de juego).

Los resultados mostraron una mejora en el rendimiento del juego, de esta manera indican la habilidad de atención sostenida mejorada durante el juego. Ellos encontraron por medio del modelo paso a paso, una relación significativa entre la potencia de la onda Theta y el tiempo empleado para completar el equipo de dosel en el primer nivel de juego. La banda theta se ha estudiado principalmente en la región frontal del cerebro (donde MindWave midió la señal) y se ha relacionado con una disminución de las funciones cognitivas, entre ellas la atención.

2. Desarrollo de un sistema de neurofeedback a partir de señales de EEG, para el control voluntario del nivel de atención [16].

Un proyecto conjunto entre campos del arte y la ciencia donde se desarrolla un sistema de neurofeedback enfocado en el control voluntario del nivel de atención. El objetivo principal consiste en reproducir un video artístico al ritmo del nivel de concentración de un sujeto, y acompañado de la sonorización de sus señales de Electroencefalografía.

En este artículo, la relación theta/beta disminuye al aumentar el nivel de atención, siendo theta la actividad entre 4 y 7 Hz y siendo Beta la actividad entre 12 y 30 Hz. Hay experimentos basados en Neurofeedback (NFB) que obtienen un mejor y más claro resultado para el sujeto si se suma la frecuencia alfa (8-12 Hz), de tal forma que se evalúa la componente en Beta con respecto a la suma de alfa y theta o se incluye alfa evaluando la componente Beta con respecto al rango entre theta alto y alfa bajo (5.5-10.5 Hz). En este trabajo se definió la relación entre (theta+alfa) y beta (4-12 Hz - 15-25Hz), se invierte quedando el radio $\beta/(\theta+\alpha)$, el cual debe aumentar con el grado de atención.

Debido a que la respuesta en el espectro de cada persona es diferente; se establece el radio mínimo entre frecuencias $\beta/(\theta+\alpha)$ definido como el umbral que determina si la persona se encuentra concentrada o no. Se hace necesario iniciar con un "entrenamiento" del sistema, obteniendo el radio durante 30 segundos con el sujeto en estado de reposo, y así, de acuerdo a la distribución de los datos (60 datos teniendo en cuenta ventanas de 0.5 segundos), se toma el valor del 70% de la distribución, de tal manera que represente un reto para quien hace el ejercicio.

Obtuvieron un sistema neurofeedback para la detección del nivel de atención por medio de señales de EEG, utilizando dos pantallas: una para mostrar el video, y otra para mostrar las señales (EEG, su transformación tiempo/frecuencia, el espectro en frecuencia y la gráfica del ratio que indica el nivel de concentración, la gráfica de cambio de velocidad y el resultado de la umbralización del radio con respecto al radio mínimo). El sistema de neurofeedback propuesto funciona apropiadamente manteniendo una correlación entre la sensación de concentración del sujeto y la reproducción del video acompañado por la sonorización de la señal de EEG. La relación $\beta/(\alpha+\theta)$ muestra sensaciones coherentes entre lo que el sujeto percibe en su nivel de atención y la retroalimentación que recibe por parte del sistema.

3. Un análisis del autismo desde la perspectiva de su influencia en familias y la tecnología como facilitador en el manejo de esta condición [43].

En este artículo se muestra cómo la tecnología ha contribuido a contrarrestar el síndrome que sufren los padres y familiares de los niños con TEA cuando se emplean tecnologías que faciliten sus necesidades específicas tales como el análisis de la neuroimagen de las tomografías, resonancias magnéticas, TAC y electroencefalografías entre otras pues proporcionan datos fundamentales para la valoración y evaluación en el objetivo de comprender el trastorno generado en las personas con TEA. Este análisis por medio de la investigación de las señales del cerebro con el propósito de la estimulación del perfil sensorial de la persona, es de gran utilidad en el tratamiento y comprensión de los mecanismos que causan el trastorno, resaltando el beneficio que supone sobre las particularidades de las personas con TEA, cuyas necesidades individuales, direccionan la búsqueda a un entorno donde la información juegue un papel a su favor.

4. Aplicabilidad del Neurofeedback para la capacidad de atención en un entorno escolar [44].

Este artículo presenta el trabajo desarrollado para estudiar la viabilidad de una herramienta que permita una estimación del estado de atención de una persona, con el fin de formar y mejorar futuras actividades en el entorno escolar de un niño. Como resultado se obtuvo que el nivel de estimador establecido aumenta considerablemente cuando el sujeto está más atento a la actividad, y los niveles de atención varían marcadamente de acuerdo con el tipo de actividad que realiza la persona. Esto indicaría que en general, es posible relacionar la actividad beta medida en la parte frontal, permitiendo estimar un nivel de atención de la persona de manera significativa.

2.3 ANÁLISIS DE LA LITERATURA

Tabla 2.3 Características de los artículos más afines al proyecto de investigación

Artículo	[14]	[13]	[10]	[15]	[16]
Contexto	Desarrollo de varias actividades de aprendizaje utilizando hojas de papel en un niño con TEA.	Adultos recitaron 40 palabras en inglés para probar la retención.	Adolescentes policonsumidores y cuasi control de consumidores. Se realizó una tarea para medir y evaluar la atención sostenida y selectiva.	Niños con TDAH que juegan un videojuego para medir niveles de atención.	Consiste en reproducir un video artístico al ritmo del nivel de atención de un sujeto, y acompañado de la sonorización de sus señales de Electroencefalografía.
Dispositivo	Interfaz cerebro-computadora (BCI) Epop+ a través de la plataforma Emotiv Pro.	El electrodo lee los potenciales eléctricos en el lóbulo frontal del cerebro del usuario. (BCI)	BCI (brain control interface) y Software Emotiv Xavier Test Bench.	Sistema BCI (MindWave). Se registró las señales de EEG a través del software de código abierto OpenViBE	Casco desarrollado por Neurosky (EEG).

Herramienta	MLP-NN Matlab	Transformada rápida de Fourier, ventana de Hamming, valor promedio de la energía total de un marco, el coeficiente de correlación y el algoritmo de juicio novedoso.	Transformada de Fourier, segmentación.	Herramientas en Matlab (Mindwave y emotive epoc). Transformada de Hilbert-huang (HHT) Modelo de regresión multilíneal paso a paso.	Sistema NFB.
Filtro	Filtro de doble muesca a 50 Hz y 60 Hz y un filtro de paso bajo a 64 Hz.	Filtro Kalman.	Filtro pasabanda.	N-ordene, filtro Butterworth (puede ser activado manualmente) (0.5-35 Hz).	
Ondas	Theta (4 a 8 Hz), Alfa (8 a 12 Hz), Beta (12 a 30 Hz).	Alfa y Beta.	Theta (4-7 hz), Beta(13-30 Hz) y delta (3-4 Hz).	Delta, Theta, Alfa y Beta. Mas específicamente con Theta y Beta. Encontraron resultados con Theta.	Theta+alpha y Beta (4-12 Hz y 15-25 Hz).
TEA	Sí (1 niño).	No (Sin enfermedades fisiológicas o psicológicas).	No (sin antecedentes neurológicos, trastornos psiquiátricos, enfermedades Orgánicas ni diagnóstico de déficit cognoscitivo).	No (ADHD).	No. (Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad)
Qué mide	Atención (cuantificable).	Evaluación de la concentración.	Tiempo de respuesta y frecuencia de las ondas relacionadas con la atención.	Cuantificación de la actividad cerebral.	Control del nivel de atención (neurofeedback).
Sensor	F3, F4, P7, P8.	Sensor en la frente y oreja izquierda.	AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4	Sensores BCI. Un electrodo seco colocado en el lóbulo frontal.(neuroRead)	No especifica en el artículo.
Resultados	La densidad del espectro de potencia (PSD) es útil para la detección de la atención. Por tanto Theta,	Se encontró valores de onda Beta y onda Alfa en porcentajes, que variaban en el tiempo en los sujetos. Donde	Se encontró un aumento de ondas theta y delta en zonas frontales y prefrontales en adolescentes	Se revelaron contribuciones significativas solo para el ritmo Theta. Los resultados mostraron una mayor actividad	La relación beta/(alpha+theta) muestra sensaciones coherentes entre lo que el sujeto percibe en su nivel de

	Alpha, Beta, Theta-Beta Ratio, Theta-Alfa ratio y TBAR son buenas características para la clasificación de la atención y el modelo de red neuronal de perceptrón multicapa (MLP-NN) logró un buen rendimiento.	las ondas Beta aumentaron y las Alfa disminuyeron cuando hubo recordatorios.	policonsumidores y en el grupo cuasi-control ondas theta y alfa que están relacionadas con la atención.	en los ritmos alfa y beta, que se han asociado con el comportamiento de hiperactividad.	atención y la retroalimentación que recibe por parte del sistema.
--	--	--	---	---	---

En la Tabla 2.3 se describen las características de los artículos que se encontraron más relacionados con el proyecto, los cuales habían trabajado con diferentes poblaciones entre ellas participantes neurotípicos, con TEA, con TDAH, o policonsumidores. Algunos de los artículos usaron dispositivos de análisis de las ondas cerebrales como BCI, neurosky, o un electrodo en el lóbulo frontal, mientras que en los demás la ubicación varió entre electrodos frontales, occipitales, parietales, y temporales. Para tratamiento de datos utilizaron herramientas como Matlab, MLP-NN, transformada de Fourier, Ventana, de Hamming, el coeficiente de correlación, transformada Hilbert-huang, filtro de doble muesca, filtro paso bajo, filtro kalman, filtro pasabanda y filtro Butterworth. Registraron las ondas Delta, Theta, Alfa y Beta.

El objetivo de estos artículos fue medir la atención, evaluar la concentración, medir el tiempo de respuesta, la frecuencia de las ondas relacionadas con la atención, cuantificar la actividad cerebral o tener un control de atención. Encontraron buenos resultados, utilizando un modelo de red neuronal de perceptrón multicapa, con el cual encontraron un buen rendimiento; en personas sin el diagnostico TEA, encontraron un aumento de onda Beta y una disminución de onda Alfa cuando hubo recordatorios de atención durante las actividades, se encontró un aumento de ondas theta y delta en policonsumidores; en un estudio solo revelaron contribuciones con la onda theta para los diagnosticados con hiperactividad, y en otro encontraron relación con la ecuación $Beta/(Alfa+Theta)$.

3. METODOLOGÍA

Con el fin de alcanzar los objetivos propuestos, se utilizó la metodología mixta [17] puesto que se iban a tratar datos cualitativos y cuantitativos de la atención sostenida; donde primero, se identifica las ondas, luego se diseña el experimento, después se hace la medición, la preparación y el procesamiento de datos, para poder relacionar y validar los resultados (Figura 3.1).

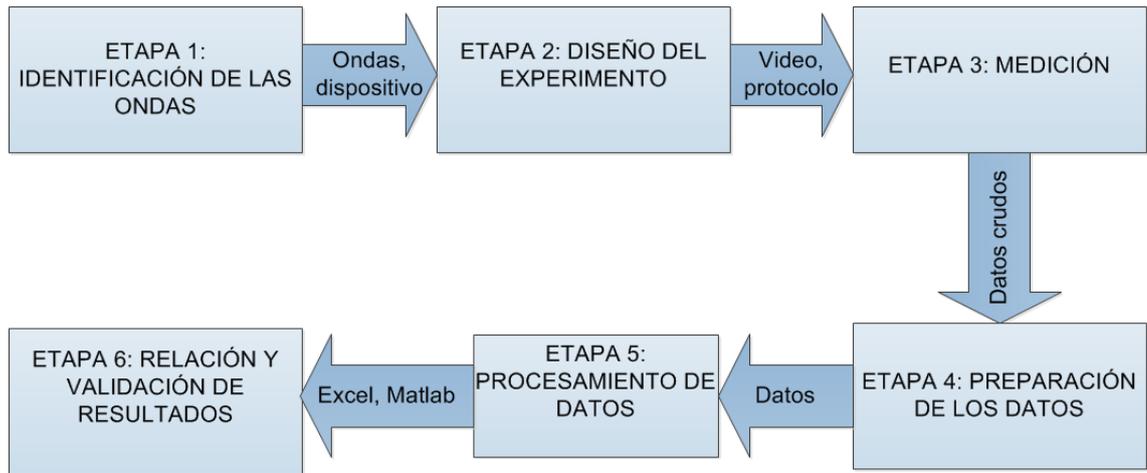


Figura 3.1 Diagrama de bloques de la arquitectura inicial del proyecto.

A continuación, se mostrarán las actividades que se realizaron para cumplir con los objetivos propuestos. Las actividades están organizadas de acuerdo a seis etapas.

3.1 ETAPA 1: IDENTIFICACIÓN DE LAS ONDAS CEREBRALES RELACIONADAS CON LA ATENCIÓN SOSTENIDA EN MENORES CON TEA POR MEDIO DE EEG.

Para cumplir con esta etapa se cumplió con las siguientes actividades:

3.1.1 Búsqueda bibliográfica: se realizó una búsqueda bibliográfica, utilizando la base de datos Scopus, con la Ecuación 3.1 para completar el marco teórico.

(EEG AND Trastorno de espectro autista AND Atención)

Ecuación 3.1

Después se realizó una búsqueda usando la base de datos google scholar en la cual se buscó artículos nacionales utilizando en el intervalo 2012-2022

(autism OR attention, OR eeg “Colombia”)

Ecuación 3.2

Para buscar los artículos internacionales, se utilizó Ecuación 3.3

(eeg, autism, attention)

Ecuación 3.3

A partir de estas palabras claves se encontraron artículos y se eligieron los más relacionados al proyecto, con estos se escogieron los más afines; los cuales aparecen en el análisis de brechas del capítulo anterior.

3.1.2 Análisis de Brechas: con los artículos se tuvo en cuenta las características siguientes: contexto, dispositivo, herramientas, filtro digitales, ondas utilizadas, si la

personas era diagnosticada con TEA o no, lo que se está evaluando, los sensores utilizados y los resultados.

3.2 ETAPA 2: DISEÑO DEL EXPERIMENTO

Para diseñar el experimento, primero se escogió la población, así pues, las personas seleccionadas para este trabajo fueron estudiantes diagnosticados con trastorno del espectro autista, de la fundación Cenidi de Popayán, exceptuando aquellos que no lograron realizar la prueba CPT o no soportaron el uso del dispositivo.

La fundación Cenidi es un centro especializado para personas con discapacidad cognitiva en la ciudad de Popayán desde 1981, fundada debido a la necesidad de los padres de familia de niños con necesidades especiales, de tener un lugar para que sus hijos puedan desarrollarse plenamente, fortaleciendo la atención integral de las personas con discapacidad [45]. La fundación, busca ayudar y acompañar a 60 niños con diferentes diagnósticos que no pueden estar en una institución tradicional ya que requieren cuidados especiales y un ambiente más tranquilo. Los recursos económicos con los que cuenta la fundación son muy limitados y en su mayoría es financiada por el estado, lo que limita su capacidad para realizar un proceso práctico y rápido que incluya los hogares, como para brindar un acompañamiento largo y personalizado a niños con TEA, que les permita interactuar entre ellos mismos y el mundo que los rodea.

La educación se da por grupos según las características con las que el niño llega al instituto, la clasificación de los niños se hace con los siguientes parámetros: Chiquitines: donde se intenta la regularidad de la conducta, límites y normas, actividades diarias, explorando conocimiento lo cual ayuda en la motricidad; Geempa, que significa "Grupo de estudios sobre educación, metodología de investigación y acción", en el cual, por medio de actividades lúdicas se pueda enseñar escritura, lectura comprensiva, pensamiento lógico matemático y convivencia pacífica [46]; Creando sueños: vocal e instrumental, empezó desde el 2016 como una chirimía, hacen uso de dibujos de animales o lo que el niño reconozca para definir cada una de las notas; cantan en seis idiomas entre ellos, alemán, inglés, hebreo, italiano, español y nativo bolivariano.

A los participantes se les asignó un código para salvaguardar su identidad, a los sujetos diagnosticados con trastorno de espectro autista se les asignó una S, es decir al primer participante se le asignó S₁, al segundo participante S₂ y al tercer participante S₃. Así mismo a los investigadores una I, a los docentes una D, a los padres de familia una F, a los psicólogos una P, a la directora una R y al acompañante una A.

Los criterios de inclusión y de exclusión que se tuvieron en cuenta fueron los siguientes:

Criterios de inclusión:

- Niños diagnosticados con Trastorno del Espectro Autista (TEA).
- Estudiantes de la fundación Cenidi en la ciudad de Popayán.
- Niños para los cuales se tiene consentimiento informado firmado por los acudientes.

Criterios de exclusión:

- Niños que no toleren el uso del dispositivo portátil de electroencefalograma.
- Niños que no sean capaces de asimilar y llevar a cabo la prueba adaptada.
- Niños que no hayan cumplido con el criterio de entrenamiento de la prueba.

En la Tabla 3.1, se muestran las actividades que se hicieron para poder diseñar el experimento.

Tabla 3.1 Actividades realizadas para el diseño del experimento

Fecha	Participantes	Actividades	Lo que se espera
Visita 1 27/10/21 (Fundación)	D ₂ I ₁ S ₁ , S ₂ , S ₃ y otros niños de clase D ₁ . P ₂	Acompañamiento en las actividades académicas, y un acercamiento a los participantes.	Conocer a los niños y tener un acercamiento.
Visita 2 25/01/22 (Fundación)	D ₂ I ₁ F ₁ , F ₂ R. D ₁	I ₁ junto con D ₂ comentaron acerca del proyecto. F ₁ y F ₂ hablaron de S ₁ , y S ₂ , también firmaron los consentimientos. D ₁ estaba de acuerdo en modificar la actividad y sugirió cambiar las letras por imágenes para S ₂ , y S ₃	Comentar a los padres de familia acerca del proyecto y firmar los consentimientos.
Visita 3 03/02/22 (Fundación)	I ₁ P ₂ P ₃ D ₁ R	I ₁ comentó acerca de la actividad escogida con las modificaciones sugeridas por P ₄ y por D ₁ , P ₂ y P ₃ estuvieron de acuerdo y sugirieron otras modificaciones.	Definir actividad de atención sostenida
En casa 10/03/2022- 31/03/2022	I ₁	Se realizó el video largo de una serie de imágenes de animales, donde cada imagen se muestra en 1.5 s y en medio de cada imagen se muestra un espacio negro en 1.5 s. Después se hizo esto mismo solo que con una serie de letras. Luego, Se realizó un video corto de animales donde cada imagen se muestra en 0.7s y en medio de cada imagen se muestra un espacio negro en 0.3 s. Ulteriormente, se hizo esto mismo, pero en vez de animales se colocó letras.	Modificar la tarea de atención sostenida con tiempos específicos.
Visita 4 24/03/2022 (Fundación)	I ₁ P ₁ S ₁	Presentación de la tarea de atención sostenida a P ₁ . S ₁ realizó la prueba sin la diadema Muse, luego con esta, pero apagada.	Asignar un día para la realización de la tarea, y que estén de acuerdo las psicólogas. Familiarización con el dispositivo Muse.
Visita 5 07/04/2022 (Fundación)	P ₁ I ₁ I ₂ S ₁	S ₁ realizó la tarea de atención sostenida con la diadema. Esta actividad fue grabada y se registraron los datos.	Prueba final para determinar la viabilidad de S ₁ realice la actividad.
Visita 6	S ₂ S ₃	Indicaciones de la tarea de atención sostenida a S ₂ y S ₃ utilizaron la tableta,	Que los S ₂ y

21/04/2022	F ₂ I ₁ I ₂	usando una balaca, similar a la diadema.	S ₃ , se familiaricen con la actividad y con la balaca
Visita 7 10/06/2022	I ₁ D ₁	Se entrevistó a D ₁ para la caracterización de los sujetos.	Obtener la caracterización de los sujetos
01/08/2022- 12/08/2022	I ₁	Se volvió a realizar 2 videos, en comparación con el anterior, se modificó el tiempo de duración.	Tener lista la tarea de atención sostenida.
Visita 8 12/08/2022	I ₁ D ₁	Se entrevistó a D ₁ para la caracterización de esta.	Obtener la caracterización de D ₁
Visita 9 19/08/2022	I ₁ P ₂ P ₃	Se entrevistó a P ₂ y P ₃ para su caracterización	Obtener la caracterización de P ₂ y P ₃
Visita 10 24/10/22	I ₁ I ₂	Se habló con la directora para acordar una fecha, debido a que no asistió el S ₁ .	Registro de la prueba CPT y del Muse.
Visita 11 27/10/22	I ₁ P ₃ A ₁ S ₁	El S ₁ realizó la prueba de atención sostenida y se le tomó las medidas de atención sostenida.	Registro de la tarea CPT y del Muse.
Visita 12 28/10/2022	I ₁ A ₁ S ₁	Se realizó la prueba de la actividad académica que requería atención sostenida.	Registro de la actividad y del Muse.

Para elegir la tarea de atención sostenida se realizan los siguientes pasos que son nombrados en orden cronológico:

1. Para seleccionar la tarea de evaluación de la atención, se escogió una tarea sencilla orientada a la atención sostenida conocida como "Test de la A", y se modificó la forma de presentación de acuerdo con las indicaciones de P4 quien sugirió el uso de tarjetas, en lugar de dictar las letras.

**L T P E A O A I C T D A L A A A N I A B F S A M R Z E O
A D P A Q L A U C J T O E A B A A Z Y F M U A H E V A
A R A T B P E A J O A A U M J L A Y P A Q B T A Z H E P
L Y D A E N T A O R A D I A B A F R A S O M A C T A S D**

Figura 3.2 Test de la A

*Descripción: El **test de la A**, es una prueba que evalúa la atención sostenida o vigilancia, en la cual el paciente debe escuchar una serie de letras aleatorias, (se recomienda una grabación), y cuando escuche la letra objetivo, (v.g la letra A) debe dar un golpe. Las letras se leen a 1 por segundo. Está tarea tiene una variación, la cual consiste en tachar la letra objetivo [24].*

Los errores más comunes que cometen los sujetos en esta prueba son: a) Omisión, es decir, fallos en determinar la letra objetivo cuando ha sido presentada. b) Perseveración: Cuando se continúa indicando la letra objetivo después de los siguientes ítems que siguen al objetivo; c) Confusión, se da cuando se identifica la letra objetivo cuando no se presenta. Respecto a la puntuación, cometer 1 o 2 errores en la prueba, es considerado como un indicio de alteración [24].

2. Realización de la primera visita a los tres niños en la Fundación Cenidi, la cual se hizo cuando los niños estaban realizando diferentes actividades académicas, con el fin de conocerlos y tener un primer acercamiento a ellos.

3. Se hizo la segunda visita para la socialización del proyecto en la fundación Cenidi, se presentó el test de atención seleccionado, a las psicólogas y docente de la fundación. D₁, estuvo de acuerdo con la estructuración del test; sin embargo surgieron cambios de acuerdo a D₁ y P₄, sugiriendo cambiar letras por imágenes llamativas para los participantes, estas imágenes pueden estar compuesta por animales o flores. Esta visita también se hizo para socializar el proyecto a los padres de familia, y para obtener los consentimientos firmados.

4. Se realizó la tercera visita para dialogar con las psicólogas de la fundación sobre la tarea seleccionada, donde sugirieron agregar sonido además de las modificaciones mencionadas anteriormente, y manifestaron que aun con estas era posible que solo S₁ lograra completar la actividad, así se acordó: realizar los cambios a la tarea y posteriormente a realizar pruebas con cada uno de los niños para determinar la viabilidad para realizar la prueba satisfactoriamente.

5. Para modificar la tarea de atención sostenida, de acuerdo a las sugerencias, se buscó diferentes programas para realizar un video. Al final se eligió Filmora por su accesibilidad, precisión y herramientas. Se realizaron dos videos donde se muestran imágenes de animales y otro de letras, ambos con sonido. Después se realizaron otros videos, similares a los anteriores, solo que esta vez se conocieron los valores de los tiempos exactos en que se muestra cada imagen, estos tiempos fueron basados en un artículo que realizaba un test de atención sostenida a niños con autismo [45].

6. En la cuarta visita, se realizó una presentación de las actividades modificadas a las psicólogas, quienes estuvieron de acuerdo y otorgaron un espacio para realizar la tarea con el S₁, acompañado de la terapeuta, pues ese día solamente había asistido un estudiante de los tres. Al S₁ se le mostró e indicó el video, el de letras y el de animales, para ver cómo reaccionaba. Esta prueba se realizó sin la diadema Muse, luego con esta pero apagada para determinar el efecto que esta tendría en S₁.

Cuando el S₁ ejecutó la tarea de atención sostenida, él identificó el objetivo, pues cada vez que veía la letra A, decía "A", asimismo cuando observó el video de los animales, decía "abeja", en el momento que veía la abeja, es más, cada vez que respondía correctamente al estímulo indicado se le ofreció un refuerzo positivo en forma de felicitación verbal; por tanto pudo realizar la actividad con la diadema y sin esta, aunque presentó errores, el numero fue mayor en la prueba con letras, P₁ indicó que la motivación de S₁ era menor con estas y que recomendaba trabajar con el video de animales.

7. Se realizó la quinta visita en la fundación para realizar la prueba experimental, para ver cómo reaccionaban los niños a la actividad de atención sostenida con la diadema, desafortunadamente, este día no asistieron S₂ y S₃, solamente el S₁, entonces, se realizó la actividad con él, mostrándole el video de animales, esta vez a través de una tableta,

primero se le mostró el video lento, luego el rápido, esto se hizo junto con P₁, paralelamente se registraron los valores de la diadema Muse, quedando como evidencia un registro visual de la sesión.

8. En la sexta visita a la fundación, se buscó la familiarización de la actividad y de la diadema en los sujetos que faltaban, S₂ y S₃, por eso se llevó una balaca como simulador del Muse, para ver cómo interactuaban con este y con la actividad. Primero, se intentó realizar la actividad con S₃, quien estaba molesta cuando llegó al salón donde se realizó la actividad, se esperó a que se tranquilizara, más adelante se le mostró algunos juegos, después vieron el video de animales; sin embargo, ella no vio el video en toda la actividad, se distraía desviando la mirada constantemente, y se notaba incomoda de tener la balaca en la frente pues se la quitaba casi inmediatamente.

Posteriormente, al S₂ se le mostró un juego en la tableta para que se familiarizara con esta, después se le mostró el video de animales, se le dijo que aplaudiera cada vez que viera el objetivo, en este caso era la imagen de la abeja. I₁, I₂ y F₁ realizaron la actividad junto con s₂ para guiarla, sin embargo no pudo realizar la actividad satisfactoriamente, a pesar de que parecía motivada pues cuando veía a la abeja imitaba con su boca el sonido del animal, y esto solo ocurrió cuando le decía F₂ que lo hiciera, además se distrajo en la actividad; Por otro lado, no se dejaba quieta la balaca, pues a veces la movía con sus manos.

9. En la séptima visita se realizó una entrevista a D₁ para la caracterización de S₁, S₂, y S₃. Después, se volvió a realizar dos videos, en comparación con el anterior ya realizado, se modificó el tiempo de duración con el fin de ajustar los parámetros al de las pruebas de atención sostenida similares. Luego, se hizo la octava visita para la caracterización de D₁. Esta se llevó a cabo en la oficina de D₁, quien respondió a las preguntas dichas por I₁ que están en la Tabla 3.2 y las respuestas en la Tabla 4.5

La novena visita a la fundación se realizó en el aula de clase con P₂, P₃, y con algunos niños de la fundación que estaban presentes. Mientras P₂ y P₃ realizaron las actividades académicas con los niños, I₁ les hizo las preguntas que aparecen en la Tabla 3.2, (que ya se les había enviado antes de manera digital) I₁ les indicó que las respuestas debían ser relacionadas con los sujetos y con el trabajo de investigación. P₃, tuvo más disponibilidad en las preguntas, debido a que P₂ realizó actividades por fuera del salón de clases. Las preguntas se hicieron poco a poco, cuando ya las respondían, se hacía la siguiente pregunta.

Tabla 3.2 Mapa de empatía

<p>¿Qué PIENSA Y SIENTE?</p> <p>Lo que realmente importa. Principales preocupaciones Inquietudes y aspiraciones.</p>	<p>¿Qué OYE?</p> <p>Lo que dicen los amigos. Lo que dice el jefe. Lo que dicen las personas influyentes.</p>	<p>¿Qué VE?</p> <p>Entorno Amigos La oferta del mercado.</p>
<p>¿Qué DICE Y HACE?</p> <p>Actitud en público Aspecto Comportamiento hacia los demás.</p>	<p>ESFUERZOS</p> <p>Miedos Frustraciones Obstáculos</p>	<p>RESULTADOS</p> <p>Deseos/necesidades Medida del éxito Obstáculos.</p>

3.3 ETAPA 3: MEDICIÓN DE LAS SEÑALES

Para realizar la toma de medidas se hicieron dos visitas, la visita undécima y la visita duodécima.

La undécima visita se realizó con el fin de que S_1 realizara la prueba CPT utilizando la diadema Muse. La prueba se realizó en un salón vacío, allí I_1 en compañía de A_1 alistaron los implementos necesarios (mesas, asientos, computador, tableta, trípode, cámara y pañitos) para la realización de la prueba. Antes de que el S_1 llegara al salón, I_1 realizó una prueba para ver si todo estaba en orden. Primero, I_1 se limpió la piel donde tuvo contacto con los sensores de la diadema Muse, posteriormente se ubicó en la silla donde se iba a realizar la prueba, al frente del computador. Luego, se colocó la diadema, y A_1 inició la grabación para el registro de los valores del EEG en la tableta, unos minutos después, se dio inicio al video CPT en el computador, e I_1 realizó una parte de la prueba mientras se registraba la actividad en video.

Cuando S_1 llegó al salón en compañía de P_3 , S_1 se ubicó en la silla al frente del computador, con P_3 al lado, (observar Figura 4.2). I_1 , le limpió la piel donde hubo contacto con los sensores, después le colocó la diadema y esperó que esta registrara los datos adecuadamente, una vez empezó a registrar los valores de las ondas, se inició la grabación de las ondas registradas por el Muse, así se recolectó valores en tiempo de reposo, en el cual, P_3 le recordó a S_1 las instrucciones para la prueba, indicándole que con la palma de la mano, diera un golpe en la mesa cuando apareciera la abeja. Después de un tiempo, percatándose que los sensores estuvieran en contacto, se inició la grabación de la prueba CPT y el niño empezó a realizar la actividad.

Esta prueba fue grabada con un celular fijo a un trípode, lográndose ver el S_1 , P_3 , el video CPT y las ondas en la tableta, de modo que, el desempeño de la prueba se encuentra registrado en video, y los datos de las señales del EEG en un archivo .csv (valores separados por comas) por medio de la aplicación MindMonitor. Para obtener los resultados de la prueba CPT, se registraron los tiempos cuando apareció y desapareció la señal objetivo, el tiempo de reacción de S_1 ante estas señales evidenciado por medio del golpe en la mesa con la palma de la mano y también se registró los errores de omisión, perseveración o confusión. Todo esto quedó registrado en la Tabla 4.8.

La duodécima visita se hizo con el fin de registrar los valores de las ondas cerebrales del S_1 , mientras realizaba una actividad académica en la fundación, la cual se realizó en el aula de clase. Primero, D_3 , le indicó a S_1 la actividad académica, que consistió en colorear las palabras que tenían cinco, seis y ocho letras en un texto, de verde, amarillo y azul respectivamente (mirar Figura 4.3). Después el niño empezó a realizar la actividad con la diadema Muse puesta, aunque en momentos S_1 pausaba, se le sugirió que continuara, con señalamientos a la hoja donde realizó la actividad. En esta actividad D_3 no estuvo tan pendiente de S_1 , porque estaba realizando otras actividades con los demás estudiantes. Así pues, los datos se registraron en un video durante la prueba y usando la aplicación Muse, se registraron las señales de las ondas.

Nota: Todas las visitas realizadas a la fundación fueron con un previo aviso a R, es decir se pidió permiso, y se habló con los docentes y psicólogas para poder acordar las reuniones.

3.4 ETAPA 4: PREPARACIÓN DE DATOS

3.4.1 Preparación de los datos de la prueba de atención sostenida

En esta etapa se descartaron algunos datos. Así pues, en Anexo A se tuvo en cuenta hasta la imagen objetivo 110, porque fue hasta ese dato que registró el Muse 2, pues este se apagó inesperadamente cuando se estaba realizando la prueba. Además, el dato entre 70 y 71 se borró porque no era claro, y compartía parte del segundo con el tiempo de reacción del objetivo número 70. El dato 89 fue descartado porque no es claro si el sujeto reaccionó adecuadamente, además el tiempo de reacción es muy corto en comparación con los otros tiempos; en el dato 22 se encontraba inicialmente registrado un tiempo de reacción, este fue eliminado para el tratamiento de datos, debido a que la reacción fue sugerida por la psicóloga.

3.4.2 Preparación de datos obtenidos por la aplicación Mind Monitor registrados por la diadema Muse

Para la organización de los datos, primero se guardó la información de la aplicación Mind Monitor en el formato .xlsx, pues se encontraban en formato .csv, después, utilizando las herramientas de Excel, se filtraron los datos para dejar solo los pertinentes a los valores absolutos de las frecuencias de cada uno de los sensores, descartando la información de los otros tipos de medidas que registra el Muse y las columnas en blanco, de esta manera se pudo apreciar los valores de las ondas delta, theta, alfa, beta y gamma con respecto a la hora registrados en intervalos de segundo.

Se calculó el valor promedio de cada frecuencia con la información de los 4 sensores. Además, en los 13 segundos para los que no hubo registro con la diadema, los cuales fueron calculados teniendo en cuenta el promedio entre el valor inmediatamente anterior y el siguiente como se muestra en la Tabla 3.3, que es una muestra de uno de los segundos no registrados en una tabla completa.

Tabla 3.3 Muestra de datos antes de imputar y después de imputar

a) Datos sin imputar (valores no registrados de la aplicación Mind Monitor)

1	TiempoRef	TimeStamp	Tiempo [s]	Beta_TP9	Beta_AF7	Beta_AF8	Beta_TP10
23	11:10:33	11:10:33	0:00:21	0.9238144	1.0854436	0.05396266	0.64543444
24	11:10:34		0:00:22				
25	11:10:35	11:10:35	0:00:23	0.9238144	1.0854436	0.16689329	0.64543444

b) Datos imputados en color gris

1	TiempoRef	TimeStamp	Tiempo [s]	Beta_TP9	Beta_AF7	Beta_AF8	Beta_TP10
23	11:10:33	11:10:33	0:00:21	0.9238144	1.0854436	0.05396266	0.64543444
24	11:10:34		0:00:22	0.9238144	1.0854436	0.11042798	0.64543444
25	11:10:35	11:10:35	0:00:23	0.9238144	1.0854436	0.16689329	0.64543444

Nota: En esta Tabla 3.3 se observa que en un segundo a la hora 11:10:34, no se registró valores (parte a), y de cómo se completaron los valores que aparecen en color gris (parte b).

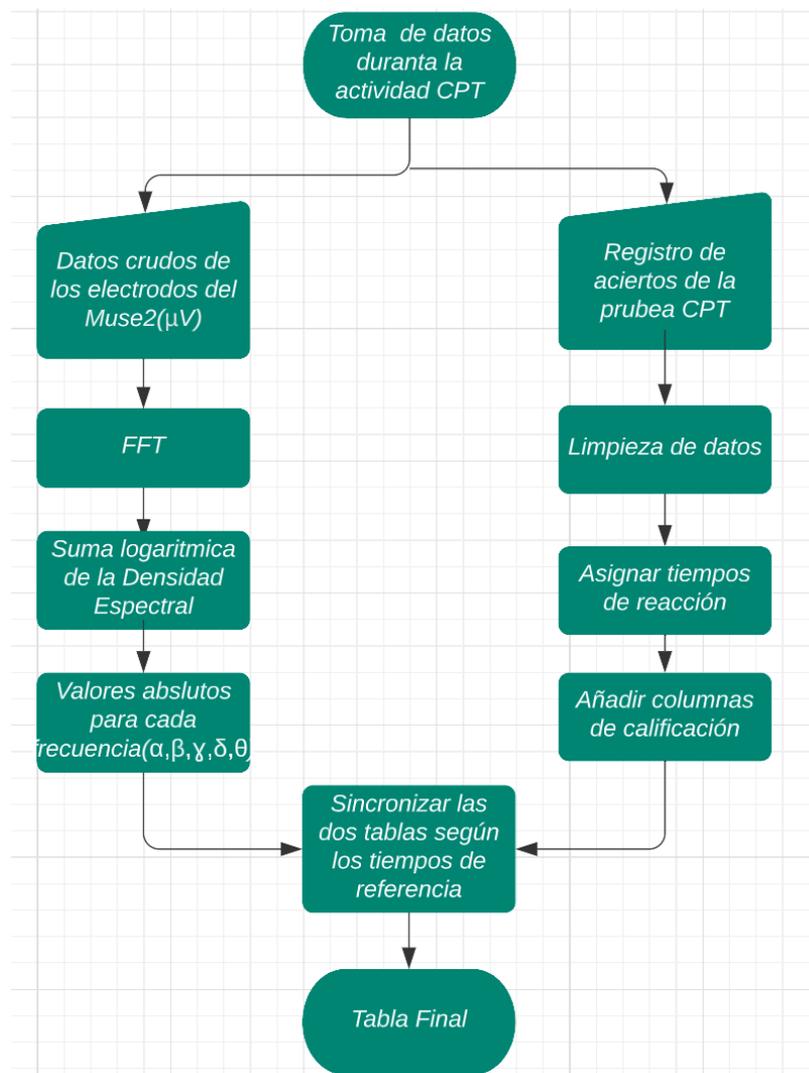
3.4.3 Preparación de los datos para la visualización

Teniendo en cuenta el tiempo del video, a los 3 segundos de inicio de este, empezó a registrar valores la aplicación Mind Monitor, y a los 2:22 segundos, empezó a registrar la prueba CPT, con estos valores se realizó la sincronización de los datos de la prueba de atención CPT con los datos dados por la aplicación Mind Monitor. Después, se organizaron los datos de las ondas registrados por la diadema Muse con respecto al tiempo en una tabla de Excel de 21 columnas.

Adicionalmente y sincronizada mente, se crearon cuatro columnas más: en la primera columna se colocó el tiempo de reacción de S_1 ; en la segunda columna se asignaron valores numéricos: 0, cuando no hubo valores de tiempo de reacción, 1 cuando hubo error por S_1 , 2 cuando el tiempo de reacción era mayor al promedio y 3 cuando el tiempo de reacción era menor al promedio; en la tercera columna también se asignó valores los resultados de S_1 , 1 cuando reaccionó y no debía (falso positivo), 2 cuando no reaccionó a la imagen objetivo (falso negativo), 3 cuando no reaccionó a la imagen no objetivo (verdadero negativo) y 4 cuando reaccionó a la imagen objetivo (verdadero positivo). En la cuarta columna se asignó valores: 0 cuando hubo errores y 1 cuando hubo aciertos. Añadiendo estas cuatro columnas, se creó la matriz de 25 columnas.

Se calcularon cuatro ratios con cada uno de los sensores de la siguiente manera: de la columna 26 a la 29 se calculó el ratio Theta/Beta, para los sensores TP9, AF7, AF8 y TP10. De la columna 30 a 33, se calculó el ratio Theta/Alfa, de la columna 34 a la 37 se calculó el ratio Theta/(Alfa+Beta) y de la columna 38 a la 41 se calculó el ratio Beta/(Theta +Alfa).

A continuación se muestra un resumen de lo que se realizó para obtener los datos finales:



La Figura 3.3, resume un poco los pasos que se hicieron para el tratamiento de los datos.

3.5 ETAPA 5: PROCESAMIENTO DE DATOS

3.5.1 Realización de las gráficas de correlación

Para la realización de las gráficas es necesario saber que el coeficiente de correlación es la medida que cuantifica la intensidad de la relación lineal de dos variables. Este coeficiente se representa con la letra r y su fórmula compara la distancia de cada dato puntual respecto a la media de la variable, para mirar hasta qué punto la relación entre las variables se ajusta a una línea imaginaria trazada entre los datos. La correlación aporta información si solo se trabaja con dos variables, no puede detectar valores atípicos, lo cual afecta en los resultados y tampoco detecta las relaciones correctamente curvilíneas [46].

Hay variantes del coeficiente de correlación, de los cuales uno de los más empleados en la práctica, es el coeficiente de correlación de Pearson, el cual es el que se emplea en este trabajo. El coeficiente de correlación r es un valor sin unidades entre -1 y 1. Cuanto más se aproxima r a cero, más débil es la relación lineal; los valores de r positivos indican una correlación positiva, ocurre cuando los valores de ambas variables incrementan juntos; los valores de r negativos indican una correlación negativa, cuando los valores de una variable aumentan y la de la otra descienden. Los valores 1 y -1 representan una correlación perfecta. El coeficiente de correlación se calcula usando la siguiente ecuación:

$$r = \frac{\sum[(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 * \sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad \text{Ecuación 3.4}$$

Donde:

x_i : Valor de x

\bar{x} : Media de x variable

y_i : Valor de y

\bar{y} : Media de y variable

Para el procesamiento de los datos se utilizó las herramientas de Excel, con las cuales se halló el coeficiente de correlación entre el tiempo y los valores de las ondas cerebrales registradas por cada sensor. Esto se hizo teniendo en cuenta todos los datos registrados por la aplicación Mind Monitor, es decir, el tiempo de reposo y el tiempo de la prueba CPT y también se calculó el coeficiente de correlación solamente para la prueba CPT con el tiempo. Adicional a esto, se graficó las ondas con respecto al tiempo de la prueba CPT, también, se graficó la primera parte (video lento), luego la segunda (video rápido), luego la tercera (video lento) parte del video CPT.

Las correlaciones también se calcularon usando un programa de Python, al cual se le importó la Tabla 4.12 de Excel, que se explicó cómo se hizo en la etapa anterior. Del programa se tuvo en cuenta las correlaciones del tiempo de reposo y se agregaron a la Tabla 4.13. Además, con este programa también se realizó las gráficas de correlación, y se tuvo en cuenta la gráfica de la onda Beta registrada por el sensor AF8 para observar mejor el comportamiento de los datos.

Utilizando las herramientas de Excel, se graficó el tiempo de reacción durante la prueba con respecto al valor absoluto de la onda Beta registrado por el sensor AF8. Para ello, se utilizaron dos ejes verticales para comparar el comportamiento de la onda beta con los tiempos de reacción registrados.

3.5.2 Estadística de datos

El diagrama de caja y bigotes, es un gráfico que representa un grupo de datos estadísticos de manera visual utilizando cuartiles, de tal manera que permite visualizar rápidamente la dispersión de una serie de datos, indicando los cuartiles, la mediana, los valores extremos y los valores atípicos. Este diagrama está formado por una caja rectangular y unas líneas (o bigotes) de los cuales se destacan los siguientes valores:

El primer y el tercer cuartil (Q_1 y Q_3) son los límites de la caja, dentro de esta hay una línea que indica la mediana (equivalente al segundo cuartil Q_2); los límites de los bigotes son los valores extremos, es decir el valor mínimo y el valor máximo de la serie de datos; los puntos fuera de los bigotes son los valores atípicos (outliers), los cuales probablemente se han medido incorrectamente y no deberían tenerse en cuenta en el estudio estadístico. En la figura Figura 3.4 se observa que la diferencia entre el tercer y el primer cuartil es el rango intercuartílico (o rango intercuartil), otra medida de dispersión estadística. Estos diagramas son muy útiles para comparar variables numéricas.

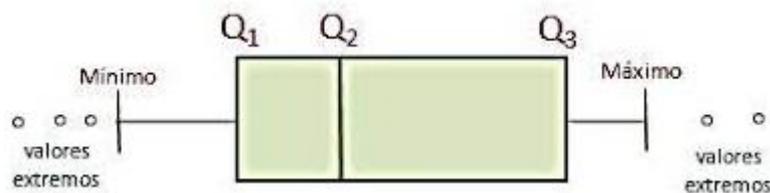


Figura 3.4 Diagrama de Caja y bigotes

Para realizar un diagrama de caja y bigotes a partir de una serie de datos, se debe hacer lo siguiente: ordenar los datos de la muestra estadística, luego, calcular los cuartiles (Q_1 , Q_2 y Q_3) y representarlos como la caja del diagrama. El primer cuartil y el tercer cuartil corresponden a los límites de la caja del diagrama. El primer y el tercer cuartil corresponden a los límites de la caja, y para representar la mediana (el segundo cuartil) se debe dibujar una línea dentro de la caja donde se encuentre su valor. Después, se calcula el rango intercuartílico, el cual es igual al tercer cuartil menos el primer cuartil como en la siguiente ecuación:

$$IQR = Q_3 - Q_1 \quad \text{Ecuación 3.5}$$

Una vez calculados los cuartiles se calcula los valores admisibles LI Y LS, cuyas fórmulas son:

$$LI = Q_1 - 1,5 * IQR \quad \text{Ecuación 3.6}$$

$$LS = Q_3 + 1,5 * IQR \quad \text{Ecuación 3.7}$$

Después se identifican los valores atípicos de la muestra, que son los valores menores que LI o mayores que LS y se representan los valores con puntos fuera del alcance los bigotes. Por último, se identifican y representan los valores extremos, los cuales corresponden al valor más pequeño y el más grande dentro del intervalo formado por LI y LS, se aprecian en el final de los bigotes.

Para el análisis de los datos se realizaron diagramas de cajas y bigotes utilizando las herramientas de Excel, con el fin de determinar cuál de los valores de frecuencia registra la mejor separación entre los dos conjuntos de datos (aciertos y errores) en la cual se seleccionaron los datos de Beta promedio entre los sensores AF8, AF7 Y TP9, así se creó una caja cuando hubo aciertos y otra caja cuando hubo errores descartando los valores atípicos por fuera de la desviación estándar. A estas cajas se les colocó los valores respectivos de media, mediana, valor máximo y mínimo.

3.6 ETAPA 6: RELACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

Hay una herramienta que se encarga de visualizar el desempeño de una prueba, la cual se conoce como matriz de confusión [47], se compone de cuatro opciones: verdadero positivo (VP) es el valor real positivo y la prueba predijo que también era positivo, en este caso, el sujeto reaccionó cuando salió la señal objetivo; verdadero negativo (VN) es el valor real negativo y la prueba predijo que el resultado es negativo, es decir en la prueba de atención sostenida es cuando el sujeto no debía reaccionar y no reacciona; falso negativo (FN) es el valor real positivo, y la prueba predijo que el resultado es negativo, es decir cuando el sujeto debía reaccionar y no reacciona; falso positivo (FP) es el valor real negativo, y la prueba predijo que el resultado es positivo, ocurre cuando aparece una señal no objetivo y el sujeto reacciona cuando no debía.

A continuación se muestra el diagrama de la matriz de confusión.



Figura 3.5 Matriz de confusión

A partir de estos cuatro valores, surgen las métricas de la matriz de confusión, la exactitud, la precisión, la sensibilidad y la especificidad. Estas medidas de desempeño son las más usadas.

- La exactitud se refiere a lo cerca que está el resultado de una medición del valor verdadero. Esta se presenta como la proporción de valores verdaderos (tanto verdaderos positivos (VP) como verdaderos negativos (VN)) dividido entre el número total de casos (verdaderos positivos, falsos positivos, falsos negativos, verdaderos negativos). En forma práctica es la cantidad de predicciones positivas que fueron correctas.

$$Exactitud = \frac{(VP + VN)}{(VP + FP + FN + VN)} = \frac{Recovered}{Total} \quad \text{Ecuación 3.8}$$

- La precisión se refiere a la dispersión del conjunto de valores obtenidos a partir de mediciones repetidas de una magnitud. Cuando la dispersión es menor, mejor es la precisión. Esta se representa por la proporción de verdaderos positivos dividido entre todos los resultados positivos (tanto verdaderos positivos, como falsos positivos). En forma práctica es el porcentaje de casos positivos detectados. Se calcula como:

$$Precisión = \frac{VP}{(VP + FP)} = \frac{True\ Positives}{Recovered} \quad \text{Ecuación 3.9}$$

La sensibilidad y la especificidad nos indican la capacidad del estimador para discriminar los casos positivos, de los negativos.

- La sensibilidad se representa como la fracción de los verdaderos positivos. También se conoce como Tasa de Verdaderos Positivos. Es la proporción de casos positivos que fueron correctamente identificadas por el algoritmo. En este caso, significa que hay atención cuando el sujeto reacciona. Se calcula de la siguiente manera:

$$Sensibilidad = \frac{VP}{(VP + FN)} \quad \text{Ecuación 3.10}$$

Esta ecuación indica verdaderos positivos/ total abejas.

Es la capacidad de poder detectar correctamente la abeja entre las abejas.

- La especificidad es la fracción de los verdaderos negativos. También conocida como la tasa de verdaderos negativos. Se trata de los casos negativos que el algoritmo ha clasificado correctamente.

$$Especificidad = \frac{VN}{(VN + FP)} \quad \text{Ecuación 3.11}$$

Lo que quiere decir, verdaderos negativos/Total animales no objetivo.

Es la capacidad de poder identificar los casos de imágenes No objetivos entre todas las imágenes No objetivo.

Otra herramienta para el desempeño de la prueba es el coeficiente de correlación de Matthews (MCC), es una herramienta para la evaluación de modelos, mide las diferencias entre los valores reales y los valores predichos y es equivalente al estadístico chi-cuadrado para una tabla de contingencia de 2 x 2 [48]. Esta medida confiable produce puntajes altos solo si la predicción arroja buenas tasas para las cuatro categorías [49].

$$MCC = \frac{TN \times TP - FN \times FP}{\sqrt{(TP + FP)(TP + FN)(TN + FP)(TN + FP)}} \quad \text{Ecuación 3.12}$$

Para la validación del experimento se relacionó los datos registrados por el Muse durante una actividad académica típica, llevada a cabo en la fundación con supervisión de D₃ y la calificación de la atención sostenida asignados por el profesional P₃ (atento o no atento) durante la tarea. Para esto, se hizo una visita 13 en la cual asistieron I₁, I₂ y

P₃. En esta visita, I₁ junto con I₂ mostraron el video en el que S₁ estaba realizando la actividad académica con el fin de apreciar la atención sostenida de S₁. Después de esto, se realizaron algunas preguntas a P₃. Las cuales fueron: ¿Cuál era el tiempo recomendable para realizar una actividad completa? ¿Cuánto duraba su atención sostenida sin distraerse?

Para la recolección de los datos tomados en la visita 13, se utilizó una tabla, en la cual se indicó en qué momento el S₁ estaba atento y en qué momentos no, de acuerdo con P₃. Así pues se registraron los rangos de tiempo donde hubo atención y donde no. Después de esto, se sincronizaron estos datos con los datos del sensor AF8, como en ocasiones este sensor no tuvo buen contacto, entonces se descartaron algunos datos que estaban repetidos.

4. RESULTADOS

A continuación se encuentran los resultados de acuerdo al orden la metodología.

4.1 RELACIÓN DE LA ONDA BETA CON LA ATENCIÓN

Teniendo en cuenta el primer objetivo del proyecto, y los artículos más afines encontrados se obtuvo lo siguiente:

En los artículos mencionados del análisis de brechas, se encontró que las ondas Beta, theta y alfa están relacionadas con la atención, y por tanto pueden ayudar a pronosticar la atención del sujeto. De acuerdo con [16] La relación theta/beta disminuye al aumentar el nivel de atención. Así mismo, la relación Beta/(theta+alfa) aumenta con el nivel de atención. Muy similar en [13] que relacionaron el aumento de Beta y la disminución de theta con un mejoramiento de la concentración, es decir, que cuando la onda alfa es más baja y la onda Beta es más alta, el sujeto está concentrado pero relajado.

Es importante mencionar que las ondas theta y delta, están relacionadas con el bajo rendimiento en las tareas de atención: enlentecimiento atencional, atrofia cortical, disfunción frontal, como encontraron en policonsumidores. Sin embargo, hallaron predominancia en ondas theta y alfa cuando estos sujetos realizaron actividades de atención sostenida y selectiva, relacionaron estas ondas con la atención, a pesar de que las ondas theta también se producen cuando hay disminución en el nivel de activación, y cuando hay mucha concentración en la realización de tareas [10]. Hay resultados favorables con Theta que está relacionada con la disminución de las funciones cognitivas, entre ellas la atención [15].

Nota: Más adelante se mostrarán los resultados obtenidos de este trabajo.

4.2 DISEÑO DE LA TAREA DE ATENCIÓN SOSTENIDA Y PROTOCOLO

Se trabajó inicialmente con tres estudiantes de la fundación Cenidi diagnosticados con trastorno de espectro autista con diferentes grados de discapacidad intelectual, a los que se les realizó un proceso de caracterización y posteriormente se desempeñaron en pruebas preliminares para determinar su capacidad para realizar la prueba adaptada, de tal manera que se utilizó el protocolo similar a [45] adicionándole el dispositivo Muse.

A los participantes se les asignó un código para salvaguardar su identidad, tal como se describe en la siguiente tabla.

Tabla 4.1. Códigos de las personas

S ₁	Este participante, es un niño de 11 años con trastorno de espectro autista de grado 1 y trastorno afectivo bipolar.
S ₂	Esta participante, es una chica de 18 años con trastorno de espectro autista de grado 2, Trastorno Mixto de Ansiedad.
S ₃	Esta participante, es una niña de 13 años con trastorno de espectro autista de grado 3, epilepsia focal sintomática y sospecha de Síndrome de Landau Kleffner.
I ₁	Investigador 1, es una estudiante de Ingeniería Física de la universidad del Cauca
I ₂	Investigador 2, es un estudiante de Ingeniería Física de la universidad del Cauca
D ₁	Docente de la Fundación Cenidi (Chiquitines)
D ₂	Docente de la universidad del Cauca (Acompañante)
D ₃	Docente de la Fundación Cenidi (Geempa)
F ₁	Padre de S ₁
F ₂	Madre de S ₂
F ₃	Madre de S ₃
P ₁	Psicóloga, acompañante del s ₁
P ₂	Psicóloga, auxiliar de la D ₁ en la fundación Cenidi.
P ₃	Psicóloga, auxiliar de la fundación Cenidi.
P ₄	Psicóloga de la universidad del Cauca
R	Directora de la fundación Cenidi
A ₁	Acompañante, estudiante de Ingeniería en Automática

Los tres niños fueron sometidos a pruebas preliminares para determinar su tolerancia a usar el dispositivo portátil de electroencefalograma y a su capacidad para asimilar y llevar a cabo la prueba adaptada, estas pruebas consistieron en usar balacas y utensilios con una sensación similar en la zona de la frente donde estarían ubicados los electrodos durante la prueba y a una jornada donde se les explicó en qué consistía la prueba con apoyo del personal de la fundación e incentivos verbales para cada acierto durante la actividad. Después de realizar este procedimiento se determinó que tan solo uno de los sujetos (S₁) se encontraba en condiciones de realizar la actividad completa porque cumplió con el criterio de entrenamiento de la prueba, a diferencia de S₂ y S₃.

De la séptima visita, se obtuvo la caracterización de S₁, S₂ y S₃. Después se realizó un video el cual representa la tarea de atención sostenida (Figura 4.1). Para poder realizar esta tarea junto con la diadema Muse, se tuvo en cuenta lo siguiente:

- Familiarización con el sujeto
- Se le indicó cómo hacer la prueba en compañía de la psicóloga.

- Se realizó un ensayo de la prueba días antes para ver el comportamiento del sujeto.

Además de eso, para obtener un registro de las ondas, se realizó lo siguiente:

- Se limpió la piel del sujeto con paños donde se iba a colocar la diadema
- Se acomodaron los sensores para que registraran adecuadamente.
- Se registraron los datos de los sensores en tiempo de reposo.
- Se registraron los datos de los sensores cuando el S₁ estaba realizando la prueba CPT.

En la Tabla 4.2, Tabla 4.3 y Tabla 4.4 se muestra la caracterización de los sujetos, S₁, S₂, S₃, respectivamente, esta se realizó con ayuda de P₂, P₃ y en especial por D₁

Tabla 4.2. Caracterización del S₁

<p>¿Qué piensa y siente?</p> <p>Al S₁ le gusta jugar, le gustan los juegos didácticos, le gusta pintar. Le preocupa que no lo dejen jugar y no le gusta que le interrumpan una actividad que le guste, ni que le quiten los objetos que está manipulando, pues le irrita. Tampoco que le invadan su espacio.</p>	<p>¿Qué OYE?</p> <p>El S₁ oye invitaciones para ir a jugar. Además que realice las actividades que se le mandan y palabras afectivas por sus familiares.</p>	<p>¿Qué VE?</p> <p>S₁ vive en un entorno medio-bajo, el suele ver a su padre, hermanos, profesoras, psicólogas y compañeros de clase. El suele buscar información en internet, sin supervisión de un adulto, le gustan los videojuegos, youtube, también libros de cuentos y juegos didácticos.</p>
<p>¿Qué DICE Y HACE?</p> <p>S₁ no es sociable, pero sí es afectivo. Es hiperactivo y amigable. Es amable y obediente cuando se le dice. Aunque puede manipular a su padre a través de gritos y llantos para obtener lo que quiere, según D₁.</p>	<p>ESFUERZOS</p> <p>Prefiere trabajar con animales que con las letras. Se frustra cuando no puede hacer una actividad, pues no pregunta cuando tiene dudas, más bien grita o se pone agresivo o tira las cosas.</p>	<p>RESULTADOS</p> <p>Le gustan los idiomas, ir a un lugar y jugar</p>

Tabla 4.3. Caracterización del S₂

<p>¿Qué piensa y siente?</p> <p>Al S₂ le preocupa que la alejen de su zona de confort. Le gustan los colores llamativos.</p>	<p>¿Qué OYE?</p> <p>Que realice las actividades que se le mandan, con apoyo.</p> <p>S₂ inspira temor de sus compañeros, porque cuando hay oportunidad, quiere halar el cabello y en ocasiones los araña. Es un comportamiento que ella ha adaptado para ella a pesar que se corrige.</p>	<p>¿Qué VE?</p> <p>El S₂ vive en un entorno medio, ve a sus profesoras y psicólogas, a sus compañeros de clase, se encuentra en lugar sustituto, conformado por la madre sustituta, (quien tiene mucha dedicación y compromiso con ella), por su padre sustituto, sus tres hermanos, dos hermanas son docentes y el otro está estudiando en la universidad.</p> <p>Presta atención a medios como el celular, computador o cuentos con imágenes de naturaleza, también ve videos en YouTube.</p>
<p>¿Qué DICE Y HACE?</p> <p>Suele tocarse la cabeza, le gusta halar el cabello para llamar la atención.</p> <p>S₂ es alegre, utiliza lenguaje no verbal, señala lo que quiere o lleva a la persona hasta al objeto que quiere y lo señala para que se lo pase. No es sociable.</p> <p>En ella influye su madre sustituta, debido a que ella es su figura de autoridad y por ende tiende a realizar acciones para agradarle y que le dé su visto bueno.</p>	<p>ESFUERZOS</p> <p>No maneja el lenguaje verbal y no puede ver bien.</p> <p>S₂ está expuesto por la condición, en su núcleo familiar que solo su madre se haga cargo de ella, para su movilización en los diferentes entornos. Es vulnerable a que puedan acceder a ella sexualmente o que pueda ser agredida físicamente.</p>	<p>RESULTADOS</p> <p>Deseo de ir con su mamá, deseo de ver videos en YouTube y de estar sola. Se le debe hablar con autoridad para que realice las actividades.</p>

Tabla 4.4. Caracterización del S₃

<p>¿Qué piensa y siente?</p> <p>Al S₃ le gusta ser halagada, que no le invadan su espacio, le preocupa que la alejen de su zona de confort. Siente apego emocional por su mamá debido a que se movilizan juntas.</p>	<p>¿Qué OYE?</p> <p>Que realice las actividades que se le mandan, con apoyo.</p> <p>S₃ inspira ternura, pero ella manifiesta su satisfacción con una sonrisa, que los compañeros la interpretan diciendo que se encuentra contenta. La conocen y saben que a ella no le gusta que le toquen su cabello.</p>	<p>¿Qué VE?</p> <p>EL S₃ vive en un entorno bajo. A veces mira a los ojos, ve a sus profesoras, psicólogas, compañeros de clase, a su madre y hermanos. Suele ver un entorno laboral por los varios trabajos de su madre, ambulantes o de construcción. S₃ presta atención a computadores, celulares o a la música.</p>
--	---	--

¿Qué DICE Y HACE?	ESFUERZOS	RESULTADOS
<p>No le gusta que invadan su espacio, por eso utiliza un mecanismo de defensa en su actitud y suele meterse los dedos a la boca.</p> <p>No es sociable, sonríe cuando está satisfecha según la profesora y es agresiva cuando está cansada. Su lenguaje es no verbal, a veces suele señalar lo que quiere, por lo general, los alimentos que le gustan.</p> <p>Además, puede llorar o agredir a su madre para conseguir algo.</p>	<p>No le gusta que le toquen la cabeza pues es sensible con su cabello.</p> <p>Está expuesto por la condición, en su núcleo familiar que solo su madre se haga cargo de ella, para su movilización en los diferentes entornos.</p> <p>Es vulnerable por su condición que puedan acceder a ella sexualmente o que pueda ser agredida físicamente.</p> <p>Se estresa en su entorno y se cansa, por tanto reacciona agresivamente con su mamá.</p>	<p>Deseo de ir con su mamá</p>

La Tabla 4.5 muestra la caracterización de D₁

Tabla 4.5 Caracterización del D₁

¿Qué PIENSA Y SIENTE?	¿Qué OYE?	¿Qué VE?
<p>A D₁ le importa cómo llegar a los sujetos, para crear un vínculo y tener una comunicación. Le gusta trabajar con los niños diagnosticados de trastorno del espectro autista porque es un reto, porque le permite ser más recursivo.</p> <p>Piensa que debe haber un acompañamiento que es bueno que haya un dispositivo tecnológico que pueda aportar en el aprendizaje, mientras el docente está pendiente de los otros niños también.</p> <p>Piensa que los niños ya llevan una manera de comunicarse que se les ha enseñado, y que cualquier persona que llegue debe adaptarse a eso para que el niño lo pueda entender.</p> <p>Piensa que es bueno que los sujetos puedan usar todos los sentidos.</p> <p>Le interesa que los niños aprendan.</p> <p>Piensa que hay que anticipar a los sujetos antes de cada actividad.</p>	<p>Oye que trabajar con niños diagnosticados con trastorno de espectro autista es muy difícil.</p>	<p>Ya había trabajado con niños diagnosticados de trastorno de espectro autista. Asistió a conferencias de niños con autistas, y aprendió un lenguaje de tarjetas (como un medio de comunicación) diseñado para los niños que requería de tiempo para aprenderlo.</p> <p>Ve que no hay mucho apoyo por parte de F₃ porque le hace las cosas a S₃ como bañarla, vestirla, etc.</p>
¿Qué DICE Y HACE?	ESFUERZOS	RESULTADOS
<p>Es cariñosa con los sujetos. A S₃ le dice frases cariñosas porque no habla, A S₁, le enseña a decir frases estructuradas para pedir un favor educadamente. Para que este sujeto pueda comunicar lo quiere. Busca una comunicación adecuada para</p>	<p>Le preocupa la comunicación con los sujetos, ya que no es fácil. Dice que no puede estar pendiente de los sujetos todo el tiempo, pero que sí lo requieren.</p> <p>Ve como obstáculo el dinero porque para trabajar con</p>	<p>Desea tener un apoyo con algún dispositivo digital en la clase, mientras realiza actividades con otros estudiantes. Para que se entretengan y aprendan.</p> <p>Desea que las personas, como la familia de los sujetos, le pregunten que pueden hacer por</p>

<p>los sujetos porque si estos no logran comunicarse, se alteran.</p> <p>No le gusta que a los niños les pongan actividades que no puedan realizar. Prefiere que los otros profesores, colaboren pero con las actividades que D₁ propone.</p> <p>Dice que los sujetos son muy organizados, más que las personas sin el diagnostico. Que les afecta mucho cuando hay un cambio en su rutina, que no son flexibles.</p> <p>Crea estrategias para preparar las actividades de los niños para que no haya choque por cambio de rutinas.</p> <p>Anticipa a los sujetos, y utiliza motivaciones de cosas que les gustan a ellos.</p> <p>D₁ es muy observadora, lo cual le permite proponer objetivos que se puedan cumplir.</p> <p>Ella trata de cumplir lo que dice a los sujetos, y dice que exige sin que se note mucho.</p> <p>Pone límites, con voz de autoridad, con la actitud, con los gestos, mirando a los ojos, en el momento indicado.</p>	<p>niños diagnosticados con trastorno de espectro autista requiere dinero. Por ejemplo, trabajar con dispositivos digitales como una tableta o un computador. Le frustra el tiempo.</p> <p>Miedo que la golpeen, pero dice que los sujetos de la fundación no han sido agresivos con ella.</p>	<p>los sujetos. Necesita colaboración, cooperación, comprensión, solidaridad y tolerancia.</p> <p>Necesidad que más personas trabajen con los sujetos y que tengan el mismo enfoque para que haya un resultado.</p> <p>Se necesita mucho material para los niños, a color, grandes.</p> <p>Ella mira los resultados en la parte de experimentación. Ahí es donde se puede ver si funcionan muchas cosas con ellos.</p>
--	--	--

En las siguientes tablas (Figura 4.6, Figura 4.7) se muestra la caracterización de las psicólogas P2 y P3, con quienes se pudo realizar una reunión presencial, en el momento que ellas trabajaban con los niños de la fundación.

Tabla 4.6 Caracterización del P₂

<p>¿Qué PIENSA Y SIENTE?</p> <p>Piensa que S₁, es un chico maravilloso, que se puede trabajar con él en muchas actividades.</p> <p>Piensa que el trabajo que se está realizando es interesante y le gustaría que siguieran trabajando es eso, y tener más herramientas para evaluar más características. Por ejemplo con secuencias de imágenes.</p>	<p>¿Qué OYE?</p> <p>Escucha a sus compañeras, la colaboración que hay entre ellas.</p>	<p>¿Qué VE?</p> <p>Ella ve que S₁ trabaja bien las actividades, que cuando termina una actividad, quiere otra, y que a este le gusta mucho los animales, cuando ve uno, se queda mirándolo.</p>
<p>¿Qué DICE Y HACE?</p> <p>Es amable con las personas de su alrededor, es alegre y atenta. Se dirige a los niños por sus nombres. Le dice a S₁ como se llama, y suele preguntarle “quien soy yo” para que sea reconocida.</p>	<p>ESFUERZOS</p> <p>Miedo a que sean agresivos los sujetos.</p>	<p>RESULTADOS</p> <p>Le gustaría poder evaluar muchas cosas en los niños. Cosas beneficiosas para los sujetos, que ellos aprendan, por ejemplo a identificar los animales.</p>

Tabla 4.7 Caracterización del P₃

<p>¿Qué PIENSA Y SIENTE? Busca que los niños logren una regulación conductual y que avancen en sus procesos cognitivos para que puedan acceder a una inclusión escolar. Y que puedan ser independientes, aunque sea en las actividades básicas de la vida diaria. Le preocupa que no haya apoyo familiar en los sujetos y que también haya exceso, que no les permita independizarse. Piensa que S₁ ya debe estar escolarizado con acompañamiento permanente.</p>	<p>¿Qué OYE? Escucha que el manejo de los niños debe ser con personas afines a ellos. Que debe tener conocimiento de los niños, por ejemplo que a ellos no les gusta que los toquen.</p>	<p>¿Qué VE? Ve vulnerabilidad en el entorno de los sujetos, en la parte económica Ve los avances de S₁ con el acompañamiento de la terapeuta. Nota que a S₁ le gustan los calendarios. Dice que los sujetos suelen tener una fijación en algo.</p>
<p>¿Qué DICE Y HACE? Es seria, es motivadora y cariñosa con los niños. Destaca el acompañamiento de los terapeutas del S₁, y que eso ha generado apego, y cuando ocurre esto, se cambia de terapeuta. También destaca el apoyo de F₁ Trata de reforzar las actividades básicas e instrumentales de los sujetos. Dice que se dirige a los sujetos por sus nombres y con autoridad.</p>	<p>ESFUERZOS Miedo a que sean agresivos los sujetos. Miedo a que hayan golpes entre los niños o que se golpeen con un objeto.</p>	<p>RESULTADOS Dice que necesita el acompañamiento de la familia de los niños, para el fortalecimiento y para avanzar. También el seguimiento clínico, para ver si hay avances, como están los niños, en especial con los autistas. Quiere que los niños sean muy funcionales. Un ejemplo que nombró, fue poder identificar el sonido de los animales.</p>

Posteriormente se rediseñó un video que muestra la tarea de atención sostenida CPT. El video está dividido en tres partes. La primera parte, es un video lento, donde se muestra imágenes de animales, separadas por una imagen en blanco, cada imagen dura 1,5 s, tanto las imágenes de animales como las imágenes en blanco y todo el video dura cuatro minutos. El segundo video es similar al anterior pero más rápido, con imágenes de animales animados separados con imágenes en blanco, pero esta vez, las imágenes de animales se muestran en 0,7 s cada una, y los espacios en 0,3 s cada uno y la duración del video es de cuatro minutos. El tercer video es igual al primero. Por tanto, uniendo todas estas tres partes de video, se obtiene un video de 12 minutos (Figura 4.1).

La cantidad total de imágenes, objetivo y no objetivo, es 400 (sin contar los espacios en blanco), en la primera parte del video, hay 80 imágenes, en la segunda, 240 y en la tercera 80 imágenes. Se estableció una relación de, de imagen objetivo y no objetivo, 30% y 70% respectivamente, es decir 120 imágenes objetivo y 240 imágenes no objetivo. De acuerdo con el protocolo estandarizado para pruebas CPT.



Figura 4.1 Video CPT, pausado en la imagen objetivo.

4.3 MEDIDAS OBTENIDAS

En la Figura 4.2 se muestra una pausa del video de toda la actividad realizada en la fundación para la obtención de las medidas.



Figura 4.2 Video de toda la actividad, pausado.

En la Tabla 4.8 se encuentran los datos recolectados del video: En la primera columna aparece el número de objetivo que indica el número que se le asignó a cada imagen objetivo, en este caso, a la abeja; en la segunda columna, aparece el tiempo de inicio, que indica donde apareció la abeja a partir del inicio de la grabación con el celular; la tercera columna, los tiempos en que S_1 dio un golpe en la mesa ante cualquier estímulo, en la cuarta columna, el tiempo final en que apareció la imagen objetivo; en la quinta columna (Correcto), cuando el S_1 marcó después de la aparición de la imagen objetivo, en la sexta columna (Omisión), cuando el S_1 , no reaccionó a la imagen objetivo, en la séptima columna (Perseveración) cuando el S_1 , continuó indicando la imagen objetivo después de las siguientes figuras, y en la octava columna (Confusión), cuando marcó y no salió la imagen objetivo.

Tabla 4.8 Datos obtenidos de la prueba CPT

Numero de objetivo	Tiempo objetivo inicio	Tiempo Reacción	Tiempo Objetivo Final	Correcto	Omisión	Perseveración	Confusión
		02:29:04					x
1	02:34:48	02:35:12	02:36:19	x			
2	02:40:48	02:41:18	02:42:19	x			
3	02:55:48	02:56:30	02:57:19	x			
...							
24	06:16:48	06:17:50	06:18:19	x			
25	06:26:52	06:27:14	06:27:33	x			
26	06:28:52	06:29:16	06:29:33	x			
27	06:33:52	06:34:26	06:34:33	x			
28	06:35:52	06:36:20	06:36:33	x			
...							
97	10:21:52	10:22:14	10:22:33	x			
		10:29:22					x
		10:32:08					x
98	10:34:52	10:35:52	10:36:23	x			
99	10:40:54	10:41:56	10:42:23	x			
...							
120	14:04:52	14:05:58	14:06:23	x			
121	14:16:52	14:18:00	14:18:23	x			
Totales				115	6	2	6

La aplicación Mind Monitor registra la información 'cruda' de cada uno de los cuatro canales de electrodos en el Muse en uV y posteriormente calcula la densidad espectral de las frecuencias en cada uno de estos canales. La potencia de banda absoluta para un rango de frecuencia dado (por ejemplo, alfa, 9-13Hz) es el logaritmo de la suma de la densidad espectral de potencia de los datos del EEG en ese rango de frecuencia. Esta información se obtiene en formato .csv y contiene los valores de las ondas delta, theta, alfa, beta y gamma con respecto a la hora, registrados en intervalos de un segundo (Tabla 4.9)

Tabla 4.9 Muestra de Datos registrados por aplicación MindMonitor, utilizando la diadema Muse

...							
21	05:40:48	05:41:52	05:42:19	x			
22	05:55:48		05:57:19		x		
23	06:04:48	06:05:44	06:06:19	x			
24	06:16:48	06:17:50	06:18:19	x			
25	06:26:52	06:27:14	06:27:33	x			
...							
70	08:57:50	08:58:26	08:58:33	x			
71	09:03:50	09:04:16	09:04:33	x			
72	09:07:50	09:08:32	09:08:33	x			
...							
87	09:58:50	09:59:38	09:59:33	x			
88	10:01:52	10:02:16	10:02:33	x			
89	10:06:50	10:07:16	10:07:33	x			
...							
108	12:25:52	12:26:58	12:27:21	x			
109	12:31:52	12:33:06	12:33:21	x		Dio golpe, se	desconectó
Total				102	7	1	6

4.4.2 Obtención de la preparación de los datos

Después de las modificaciones de la información en el formato xlsx se obtuvo los valores separados por columnas, de las ondas delta, theta, alfa, beta y gamma con respecto a la hora, registrados en intervalos de un segundo. En la Tabla 4.11 se puede apreciar una muestra de estos datos, con valores solo de las ondas beta registradas por cuatro sensores. Esta tabla contiene: En la primera columna, el tiempo registrado del video, es decir a los 3 segundos empezó a tomar datos la diadema Muse. En la segunda columna aparece el tiempo de referencia, o sea, la variación de la hora cada segundo, desde que empezó a tomar datos el Muse hasta que terminó; En la tercera columna los tiempos en que se registraron valores con la aplicación Muse; En la cuarta, quinta, sexta y séptima columna aparecen los valores para la onda beta con el sensor TP9, AF7, AF8, TP10 respectivamente.

Tabla 4.11 Muestra de Datos registrados de las ondas beta de la diadema Muse.

Tiempo video	TiempoRef	TimeStamp	Beta_TP9	Beta_AF7	Beta_AF8	Beta_TP10
00:00:03	11:10:12	11:10:12	0,8257298	1,0811971	0,21462919	0,53597516
00:00:04	11:10:13	11:10:13	0,9238144	1,0854436	0,11442702	0,63083595
00:00:05	11:10:14	11:10:14	0,9238144	1,0854436	0,19228177	0,64543444
⋮						
00:02:22	11:12:31	11:12:31	0,51689947	0,24385871	0,09797247	0,6366038
00:02:23	11:12:32	11:12:32	0,51689947	0,43089336	0,13985482	0,28918537
00:02:24	11:12:33	11:12:33	0,51689947	0,41470733	0,17624877	0,28918537

.

.

.

00:11:56	11:22:05	11:22:05	0,30177015	1,1305954	0,5959058	0,5880192
00:11:57	11:22:06					
00:11:58	11:22:07	11:22:07	0,30177015	1,1305954	0,5959058	0,5880192

.

.

.

00:12:30	11:22:39	11:22:39	0,29843262	1,1305954	0,6282501	0,5363396
00:12:31	11:22:40	11:22:40	0,29843262	1,1305954	0,6959552	0,5363396
00:12:32	11:22:41	11:22:41	0,29843262	1,1305954	0,6959552	0,5363396

4.4.3 Preparación de los datos para graficar

Debido a la cantidad de información, solo se muestra una parte de los datos utilizados para la realización de las gráficas, uniendo la información de la Tabla 4.10 con Tabla 4.11 se obtuvo como resultado la Tabla 4.12, que contiene 25 columnas, en la primera columna se aprecia el tiempo en segundos a partir del cual se registran datos en la aplicación Mind Monitor, en la segunda, tercera, cuarta y quinta columna, se aprecian los valores de Delta con el sensor TP9, AF7, AF8, TP10 respectivamente, así mismo en las siguientes columnas, se encuentran los valores de las ondas Theta, Alfa, Beta y gamma, para así se completar las 21 columnas. Las últimas cuatro columnas se agregaron para analizar los datos.

En la columna 22 aparece TR, la cual me indica el tiempo de reacción que tuvo S_1 a la imagen objetivo en décimas de segundo, En la columna 23 aparece MC, la cual me representa la matriz de confusión, donde 1 indica cuando hubo reacción donde no debía (falso positivo), 2 cuando no hubo reacción a la imagen objetivo (falso negativo), 3 cuando no hubo reacción a imágenes no objetivos (verdadero negativo) y 4 cuando hubo reacción a la imagen objetivo (verdadero positivo).

En la columna 24 llamada A_t , aparece un vector de unos y ceros, que muestra la calificación otorgada a cada uno de los eventos enumerados en MC, los valores 1 y 2 para desatención correspondiente a 0 y los valores 3 y 4 para atención correspondientes a 1. Por último en la columna 25 se encuentra el vector P_t que califica 0 para valores donde no hubo tiempo de reacción (incluyendo verdaderos negativos), 1 para los valores de desatención, 2 para tiempos de reacción mayores al promedio y 3 cuando el tiempo de reacción es menor.

La columna 26 hasta la columna 29 se encuentra el ratio Theta/Beta con los sensores TP9, AF7, AF8 Y TP10 respectivamente. Al igual que estas 4 columnas, de la columna 30 a la 33 se encuentra el ratio Theta/Alfa con cada sensor. De la columna 34 a 37 se encuentra el ratio $\text{Theta}/(\text{Alfa}+\text{Beta})$ y de la columna 38 a 41 se encuentra el ratio $\text{Beta}/(\text{Theta}+\text{Alfa})$ con cada sensor.

Tabla 4.12 Muestra de datos listos para graficar, registrados por la diadema Muse

Tiempo	DeltaTP9	...	GammaTP10	TR	MCA _t	P _t	T/B	T/AI	T/(AI+B)	B/(T+AI)	
0:00:00	0.975	...	-0.095	-	-	-	-	0.594	0.299	0.199	0.388
0:00:01	1.098	...	-0.171	-	-	-	-	1.055	0.337	0.256	0.239
...
0:02:19	0.623	...	0.324	0	3	1	0	5.165	0.952	0.804	0.094

0:02:20	0.623	...	0.130	0	3	1	0	-0.570	-0.186	-0.140	0.402
...
0:06:23	1.437	...	0.018	0	3	1	0	1.497	1.487	0.746	0.399
0:06:24	1.080	...	0.065	22	4	1	3	0.388	0.355	0.186	0.676
...
0:12:28	0.973	...	0.158	0	3	1	0	0.380	1.032	0.278	1.337
0:12:29	0.973	...	0.158	74	4	1	2	0.380	1.032	0.278	1.337

4.5 PROCESAMIENTO DE DATOS

4.5.1 Gráficas de correlación

A continuación, se muestran los coeficientes de correlación de los valores de las ondas con respecto al tiempo (observe Tabla 4.13). La primera columna indica el nombre de las ondas registradas por los sensores TP9, AF7, AF8 y TP10, en la segunda columna aparecen los coeficientes de las ondas durante la prueba CPT, en la tercera columna aparecen los coeficientes de las ondas durante el registro de la diadema Muse (Tiempo de reposo y prueba CPT) y en la cuarta columna aparecen los coeficientes de las ondas solo en tiempo de reposo.

Tabla 4.13 Coeficientes de correlación de los valores de las ondas (con cada sensor) con respecto al tiempo.

Ondas Cerebrales	Coeficiente_de_Correlación		
	CPT	Reposo_y_CPT	Reposo
Delta_TP9	0,008	-0,099	-0,138
Delta_AF7	-0,619	-0,410	-0,865
Delta_AF8	-0,061	-0,146	0,274
Delta_TP10	0,095	0,054	-0,405
Theta_TP9	-0,020	-0,041	-0,059
Theta_AF7	-0,494	-0,313	0,856
Theta_AF8	-0,092	-0,143	0,358
Theta_TP10	0,067	0,152	-0,311
Alpha_TP9	0,017	0,077	0,046
Alpha_AF7	-0,490	-0,259	0,855
Alpha_AF8	-0,041	-0,030	0,139
Alpha_TP10	0,092	0,140	-0,222
Beta_TP9	-0,227	-0,200	-0,609
Beta_AF7	0,055	0,376	-0,856
Beta_AF8	0,673	0,784	0,037
Beta_TP10	0,005	0,119	-0,451
Gamma_TP9	0,019	-0,029	-0,31
Gamma_AF7	0,429	0,605	-0,861
Gamma_AF8	0,549	0,745	0,117
Gamma_TP10	-0,038	-0,045	0,547

Teniendo en cuenta que el coeficiente de correlación de Pearson indica la dirección y la fuerza de la relación lineal entre dos variables, los valores entre 0,5 y 1, indican una

correlación positiva fuerte [50]. Entonces se aprecia en la Tabla 4.13 que el mejor coeficiente de correlación fue para la onda Beta registrada por el sensor AF8, tanto en la prueba CPT con un valor de 0,673, como en toda la prueba con un valor de 0,784. Además, se aprecia una buena correlación (0,745) en toda la prueba para la onda Gamma registrada por el sensor AF8.

A continuación, en la Figura 4.4 se observa gráficamente los coeficientes de correlación en donde se muestran las ondas con respecto al tiempo; recordemos que el vector At, representa cuando hubo atención o desatención y el vector Pt representa valores de 0,1,2 o 3, todo esto durante la prueba CPT.

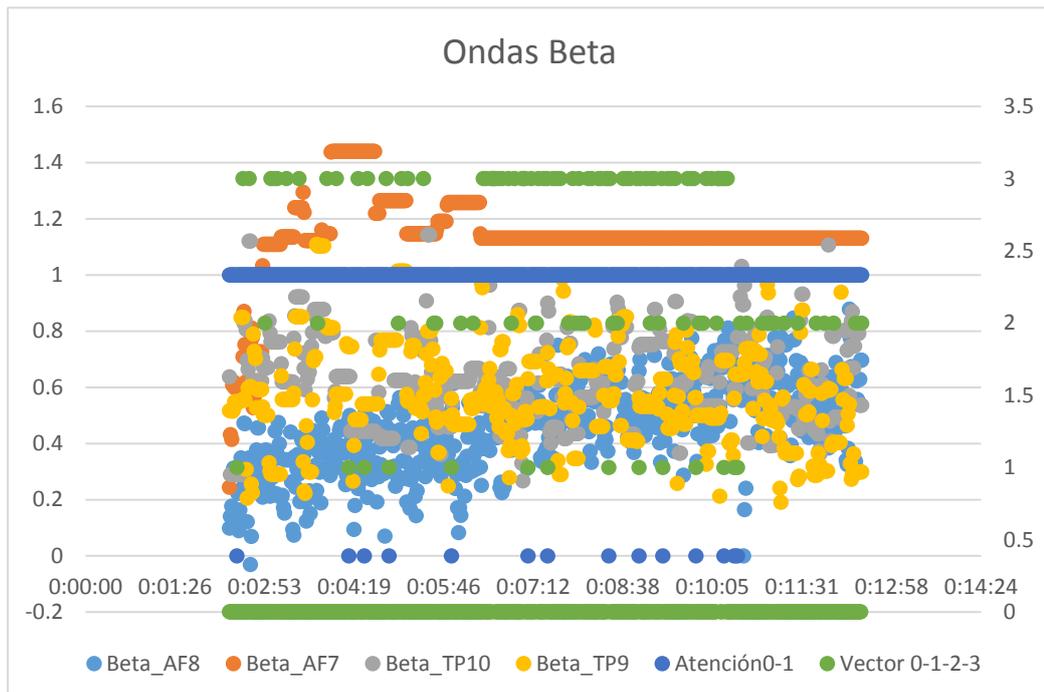


Figura 4.4 Ondas Beta, vector atención (At), vector Pt con respecto al tiempo durante la prueba CPT

En la Figura 4.4 se aprecia el vector "Pt", el cual indica que la cantidad de valores del tiempo de reacción menores al promedio fueron 25, 7 en el primer video lento, 15 en el video rápido, y 13 en el segundo video lento, lo cual indica que aumentó el tiempo de reacción en el tiempo, pues a partir del minuto 10:32 el vector TR deja de tener valores iguales a 3, además es notorio que a partir de ahí, empiezan a decaer los valores de las ondas Beta con el sensor AF8, lo cual podría indicar que empieza a decaer la atención porque la onda beta y el sensor del lóbulo frontal derecho tienen relación con la atención además, esta también puede afectar el tiempo de reacción [51]. También se aprecia que los valores de Beta registrados por el sensor AF7, tienen valores mayores a los otros sensores.

Seguidamente, en Figura 4.5 se muestran los coeficientes de correlación gráficamente de la onda Gamma, la cual presentó mejor correlación con el sensor AF8, al igual que la onda Beta. En esta figura, se muestran las ondas con respecto al tiempo, el vector At, que me representa cuando hubo atención o desatención y el vector Pt, todo esto durante la prueba CPT.

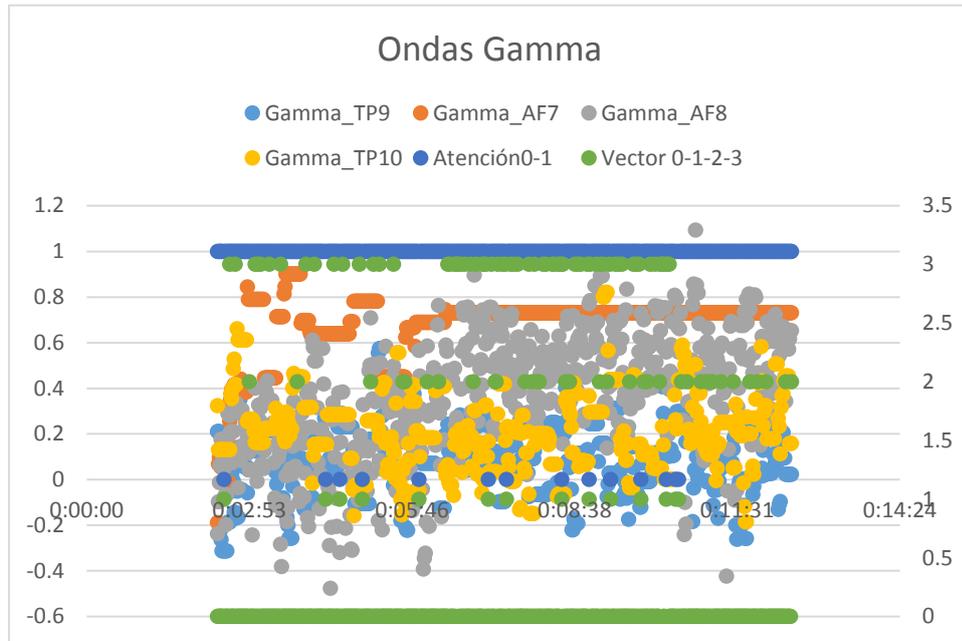


Figura 4.5 Ondas Gamma, vector atención (At), vector Pt con respecto al tiempo durante la prueba CPT

Al igual que en Figura 4.4, en la Figura 4.5 se aprecia que el sensor AF7 contiene mayores valores que los demás sensores. Esto no ocurrió con las demás gráficas de Delta, Theta y Alfa las cuales se muestran a continuación (Observe Figura 4.6, Figura 4.7 , Figura 4.8). Los valores con el sensor AF7 no se analizaron porque hubo desconexión en muchas ocasiones debido al movimiento del sujeto en la prueba.

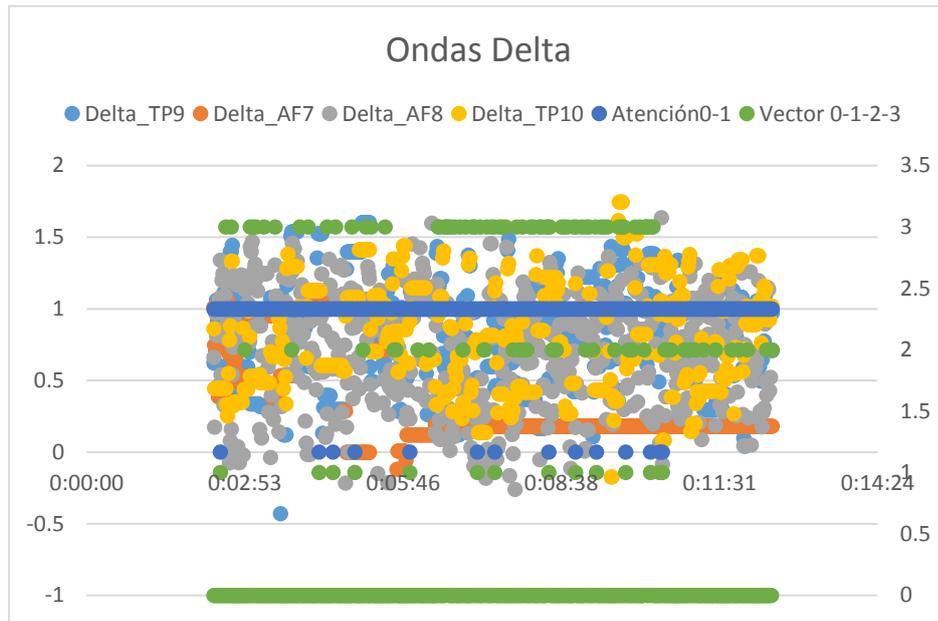


Figura 4.6 Ondas Delta, vector atención (At), vector tiempo de reacción (TR) con respecto al tiempo durante la prueba CPT

La Figura 4.6, muestra que el mejor coeficiente de correlación fue para la onda Delta registrada con el sensor AF7, con un valor de $-0,619$ durante la prueba CPT, lo cual indica que los valores de esta onda fueron disminuyendo con el tiempo, sin embargo, a esto no se le intentó dar un mayor análisis porque los hubo mucha desconexión con el sensor AF7. Los demás valores aunque no tuvieron una correlación lineal buena, presentan datos dispersos que se aprecian en un determinado rango.

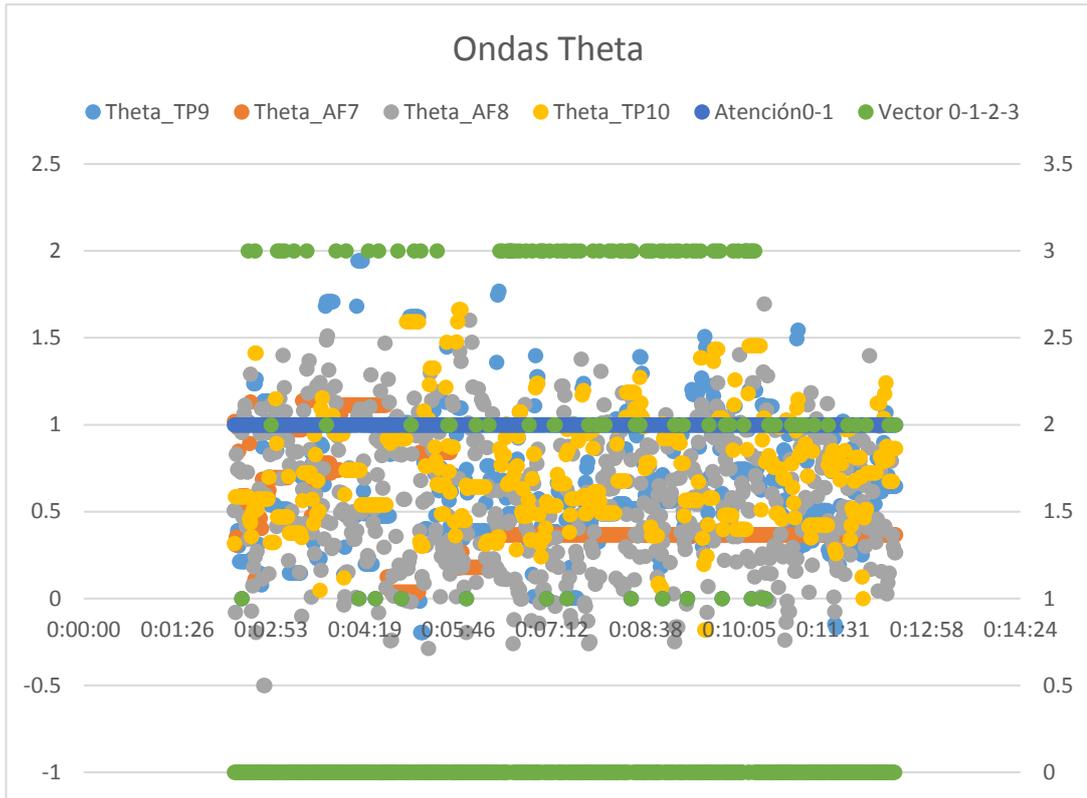


Figura 4.7 Ondas Theta, vector atención (At), vector tiempo de reacción (TR) con respecto al tiempo durante la prueba CPT

En la Figura 4.7 y Figura 4.8 se muestran los valores de las ondas, los cuales son bastante dispersos como lo indicó su coeficiente de correlación.

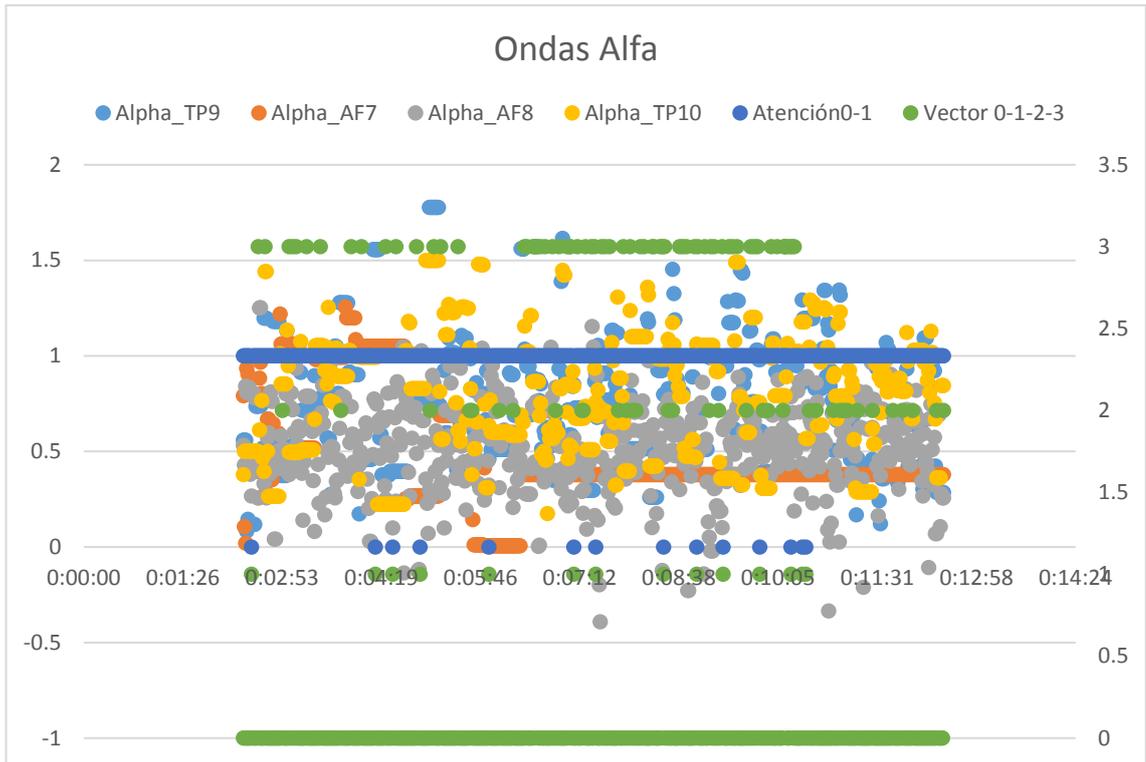


Figura 4.8 Ondas Alfa, vector atención (At), vector tiempo de reacción (TR) con respecto al tiempo durante la prueba CPT

Se tuvo en cuenta la Figura 4.9 dada por el programa de Python, la cual muestra la dispersión de las ondas Beta registradas por el sensor AF8, con respecto al tiempo. En esta se aprecia que los datos están muy dispersos, así como su valor lo indica.

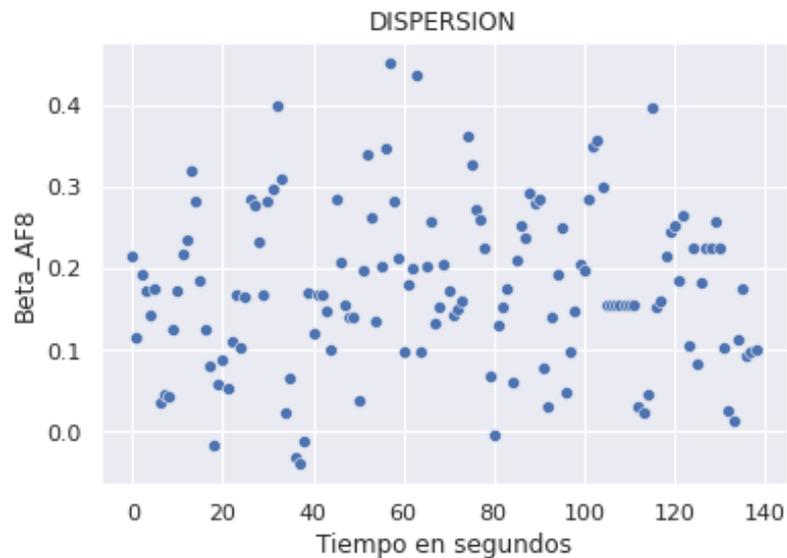


Figura 4.9 Ondas Beta_AF8 con respecto al tiempo durante el reposo.

A continuación se muestra la gráfica del tiempo de reacción y de la onda Beta con el sensor AF8, con respecto al tiempo.

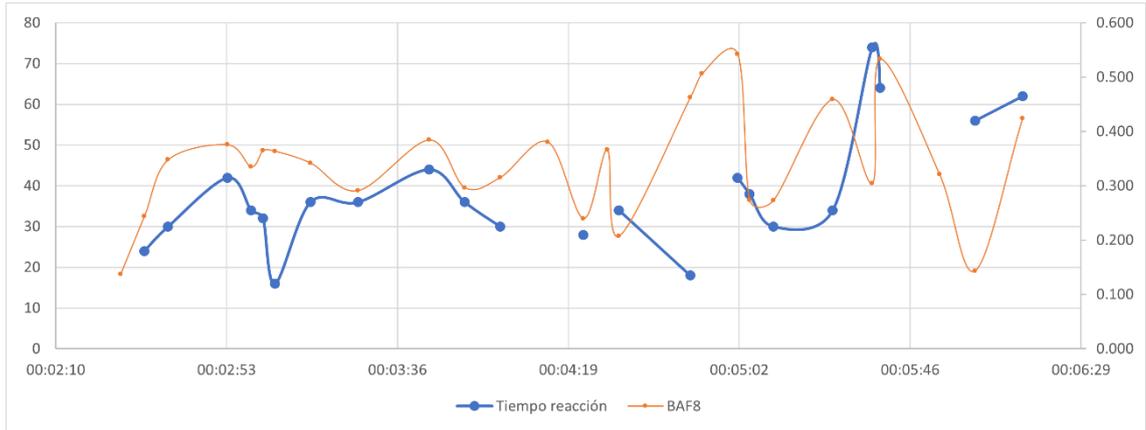


Figura 4.10 Gráfica de Tiempo de reacción y Beta con el sensor AF8, estas con respecto al tiempo.

Esta gráfica muestra la relación entre el tiempo de reacción registrado durante la prueba de atención y los valores registrados para la onda beta en el sensor AF8, los valores en donde la onda azul es interrumpida representan los errores de las prueba y se interpretan como los valores de desatención más altos, es decir serían puntos más elevados que cualquiera de los tiempos de reacción registrados. De esta manera se puede observar una relación entre los aumentos y decrecimientos de los valores absolutos registrados para la onda beta en este sensor y el tiempo en el que S_1 demoró en reaccionar a los estímulos objetivos durante la prueba.

4.5.2 Análisis de estadísticas

Para el análisis de los datos, se tuvo en cuenta un diagrama de caja y bigotes, como se muestra en la Figura 4.11 en la cual se aprecian dos cajas: la primera caja, que aparece en color azul, contiene solo los verdaderos positivos que son aciertos, y la otra incluye los errores, la cual aparece en color naranja.

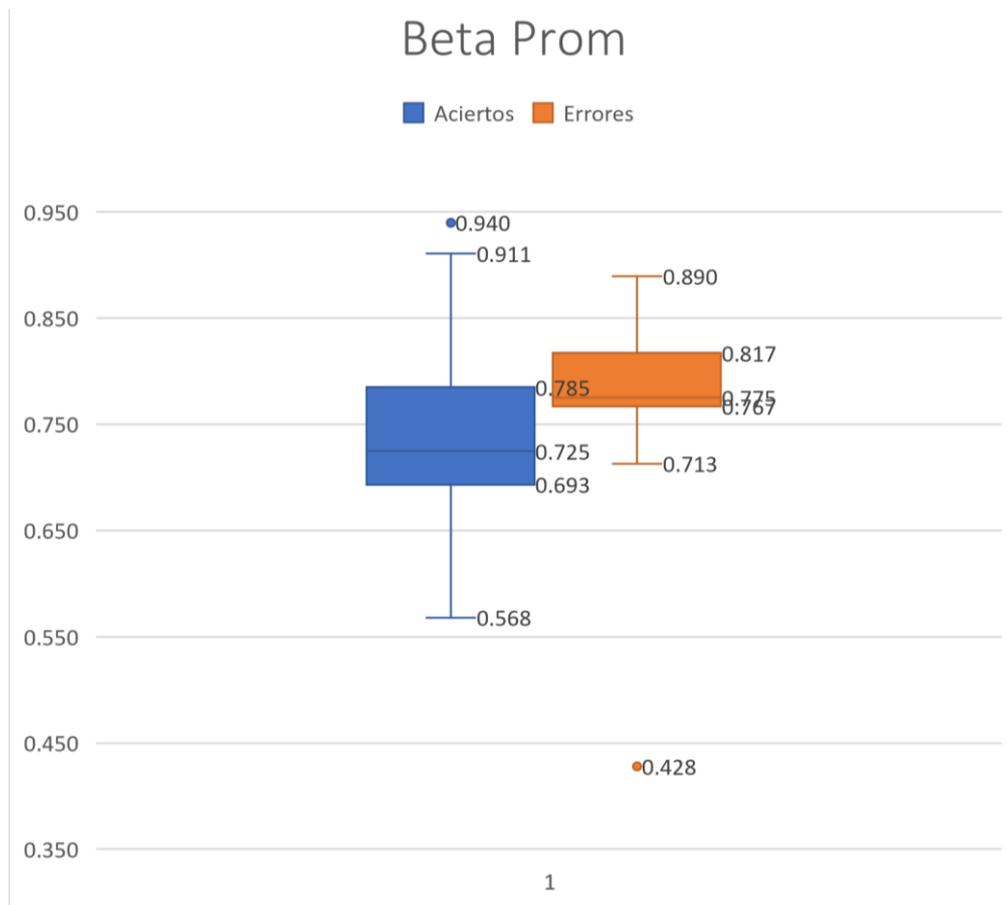


Figura 4.11 Diagrama de Caja y Bigotes para Beta con el sensor AF8,AF7 y AF7

La Figura 4.11 muestra una gran cantidad de datos distribuidos en un rango a lo largo de una recta numérica, los datos están agrupados en cuatro sesiones con igual cantidad de datos. Los puntos fuera de la caja, muestran valores atípicos. El diagrama de caja y bigotes contiene un mínimo, un máximo, el primer cuartil, el segundo cuartil o mediana y el tercer cuartil. La mediana es el número medio de los datos, en el grupo de aciertos la mediana es 0,725 y 0,775 para los valores de los errores.

El primer cuartil es la mediana del grupo de números menores, que corresponde a 0,693 en los valores de aciertos, y 0,767 en los valores cuando hubo errores; el tercer cuartil, es la mediana del grupo de los números mayores, que corresponde a 0,785 para los valores de aciertos, y 0,817 para los valores cuando hubo errores. En los valores de Beta cuando hubo aciertos se tiene un mínimo igual a 0,568 y un máximo igual a 0,911. En los valores de Beta cuando hubo errores se tiene un mínimo de 0,713 y un máximo de 0,890. Por tanto se puede apreciar que el grupo de los valores mayores están más dispersos para los valores de aciertos. Además, el único valor atípico en los valores de errores fue el valor 0,428, el cual fue el primer error que tuvo en la prueba, pues en ese momento S_1 estaba muy emocionado con la mano levantada, preparado para reaccionar.

El diagrama de cajas y bigotes que mostró una mejor separación entre los datos de aciertos y errores fue el correspondiente al promedio de los valores absolutos de la onda beta en los sensores TP9, AF7, y AF8. En este se evidencia valores más altos de la onda Beta durante los periodos identificados como errores dentro de la prueba con un valor mínimo de 0,767 y máximos de 0,817 mientras que los valores calificados como

aciertos se ubican entre 0,693 y 0,785 lo que permite interpretar una clara separación de los valores de la onda Beta en estos sensores durante los aciertos y desaciertos registrados durante la prueba de atención CPT.

4.6 RELACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

Teniendo en cuenta los datos de la Tabla 4.8, utilizando los valores totales, se halló, VP, FP, FN y VN, donde:

$$VP = 115 \quad FP = 6+2 \quad FN=6$$

$$VN= 400-(115+8+6)$$

Nota: el número 400 es la suma de imágenes objetivo y no objetivo.

En la siguiente tabla se indican con más detalle los valores VP, FP, FN y VN.

Tabla 4.14 Verdaderos positivos y verdaderos negativos

	Abeja presente	Abeja Ausente
Marcó	VP= 115	FP= 8
No marcó	FN= 6	VN= 270
Total = 400	121	279

Aunque los datos no coincidieron con la relación de objetivos y no objetivos, 30% 70%, respectivamente, como se indicó en el punto 4.2.2. Hubo la necesidad de hacer una aproximación, quedando: $VP \approx 114$, $FP= 8$, $FN= 6$, $VN \approx 271$ quedando 120 imágenes objetivo, y 280 imágenes no objetivo.

Los valores VP, FP, FN y VN se hallaron para calcular la sensibilidad, especificidad, precisión, exactitud y el coeficiente de correlación de Matthews, ya mencionados en el capítulo anterior, utilizando Ecuación 3.8, Ecuación 3.9, Ecuación 3.10, Ecuación 3.11, Ecuación 3.12 como se muestra en la Tabla 4.15.

Tabla 4.15 Resultados del valor de la sensibilidad, especificidad, precisión y exactitud.

Sensibilidad	0,950
Especificidad	0,971
Precisión	0,934
Exactitud	0,963
Coefficiente de correlación de Matthews	0,918

Para la validación del experimento se relacionó los datos registrados por el Muse y la calificación de la atención sostenida asignados por el profesional P₃ (atento o no atento) durante la tarea. Así pues, de la visita 13 se obtuvo apreciaciones del profesional P₃ afirmando que cuando el S₁ estaba realizando la actividad, había atención sostenida y que en periodos cortos en que desviaba la mirada seguía razonando o analizando, y cuando los periodos eran largos había atención sostenida.

Después de esto, se obtuvo respuestas de P₃ a las preguntas realizadas por I₂, obteniendo que el sujeto suele realizar una prueba completa que requiera un esfuerzo

mental en un periodo de 30 minutos, de lo contrario el S_1 puede irritarse. En este tiempo, este realiza pausas cortas, aproximadamente de un minuto, por ejemplo cuando se ríe o hace preguntas externas, esto cada cinco minutos aproximadamente. Después de haber terminado una actividad académica, el S_1 puede realizar otras actividades afines para él, por ejemplo juegos de fichas o calendarios. También P_3 afirmó que S_1 , razona muy bien y retiene la información.

P_3 Afirma que las escuelas regulares necesitan ajustes para la inclusión de los estudiantes, por ejemplo de S_1 , debido a que no se conoce como es la manera de trabajar de los niños y para ello es necesario herramientas tecnológicas que sean un apoyo para el profesor, pues los estudiantes requieren todo el tiempo de actividades, ya sea juegos lúdicos porque llegan recargados de energía y necesitan liberarla. Por eso es necesario tener actividades que les motiven para que no se dispersen.

A partir de la visita 13, se registraron intervalos de tiempos mientras el sujeto realizaba la actividad académica, se indicó en cuales intervalos de tiempo hubo atención y en cuales no, de acuerdo a P_3 . Estos datos se sincronizaron con los datos del sensor AF8, pero el dispositivo muse tuvo desconexiones en el momento en que realizó la tarea con atención sostenida, por tanto no se tuvo en cuenta esta tarea en el análisis de los datos.

5. CONCLUSIONES

5.1 CONCLUSIONES

El registro de la actividad eléctrica cerebral en niños con TEA realizado con el Muse2 durante la prueba adaptada de atención sostenida permitió identificar patrones relacionados a los procesos de atención sostenida del sujeto en el que se realizó el estudio, lo cual se logró al establecer una relación entre los valores de las frecuencias registradas por el EEG y la atención sostenida cuantificada durante la prueba CPT.

Existe una relación entre los valores registrados de onda Beta promedio, y la medida en el sensor AF8 con la atención sostenida cuantificada durante la prueba CPT, donde el conjunto de los valores absolutos más altos medidos de esta onda corresponden a los instantes donde se cometieron errores asociados a la desatención del niño con TEA durante la actividad. Además, se encontró relación de la onda Beta, particularmente en el sensor AF8, que muestra que estos valores aumentan con el tiempo, en una prueba donde se espera un decrecimiento gradual de la atención a lo largo del tiempo y corroborada por el aumento del tiempo promedio de reacción del niño, resultado ligado a la disminución en la atención sostenida.

Con el fin de relacionar los resultados obtenidos mediante el EEG con un test estandarizado de atención sostenida conocido como CPT, fue necesario rediseñar e implementar una prueba de atención sostenida con ayuda de los psicólogos, y un proceso de caracterización personalizado de manera que fuere apta para desarrollarse con los niños con TEA participantes en este estudio. Teniendo en cuenta estas dos pruebas en conjunto se encontró relación entre ambas, pues la onda Beta registrada por el sensor AF8, aunque iba aumentando en el tiempo, empezó a decaer y en ese momento también aumentó el tiempo de reacción del sujeto.

Los valores calculados para la validación de la prueba CPT de sensibilidad (0,950), especificidad (0,971) y el coeficiente de Matthews (0,918) en conjunto con los altos coeficientes de Pearson, se encuentran dentro de los valores adecuados para la validación estadística de la prueba para estudios no paramétricos.

Los resultados encontrados en este trabajo brinda una alternativa objetiva para medir la atención sostenida en niños con TEA utilizando un dispositivo no invasivo, lo que ofrecería un mayor entendimiento del desempeño del estudiante durante las tareas y actividades diarias en centro formativo, así contribuyendo a la investigación en un área donde los estudios enfocados a personas neuro divergentes son escasos, y brindando información acerca de los requerimientos individuales de los estudiantes durante su proceso de aprendizaje, esta información permitirá a los educadores herramientas adicionales para enfrentar las necesidades específicas, que pueden conducir a un sistema de aprendizaje más efectivo.

5.2 TRABAJO FUTURO

A partir de este proyecto y con base en los datos obtenidos, se propone realizar mediciones de las ondas cerebrales durante diferentes tareas que involucren la atención sostenida para comparar y validar los resultados obtenidos durante esta investigación respecto a los sensores o frecuencias más relacionadas a la atención sostenida.

Se propone aumentar la cantidad de niños participantes en el estudio que cuenten con diversas características de TEA con el fin de expandir la investigación y determinar las posibles diferencias encontradas de las ondas cerebrales entre ellos, el aumento y variedad de los participantes involucrados promueve la posibilidad de trabajar con un sensor diferente que sea más cómodo para los niños que rechazan el contacto físico, ya que esta es una de las características más frecuentes del TEA y la causa principal que impidió trabajar con uno de los participantes iniciales.

Se sugiere el uso del dispositivo Muse S pues otorga mediciones ya familiares con las halladas en este proyecto al ser un sensor de la misma marca, con el beneficio de estar diseñado para el descanso nocturno lo que la hace más cómoda y los electrodos se encuentran mejor ajustados durante el movimiento de la cabeza.

Finalmente, la implementación de este sistema de reconocimiento en el aula de clases que brinde una calificación para la atención en tiempo real sería una herramienta muy útil, especialmente para educadores que no se encuentren familiarizados con el diagnóstico de TEA o las maneras del estudiante en particular, permitiría una mejor adaptación a diversos espacios de estudio.

5.3 RECOMENDACIONES

Es necesario antes de empezar con las mediciones y actividades, realizar un proceso de familiarización con la población, ya que los niños diagnosticados con trastorno de espectro autista pueden reaccionar de forma hostil a las situaciones y personas desconocidas. Esto se logra al conocerlos con anticipación mientras se realizan las pruebas preliminares, al mismo tiempo que se introduce el dispositivo EEG y se establece su relación con usarlo en la frente durante largos periodos de tiempo.

Es importante hacer pruebas antes de realizar la actividad final para asegurarse de que el dispositivo esté funcionando adecuadamente, es decir, que haya una buena conexión a Bluetooth entre la diadema Muse y el dispositivo donde se aprecian las ondas cerebrales, con el fin de registrar los datos eficazmente. Además, se recomienda asegurarse de que los sensores se encuentren haciendo un contacto estable con la piel y que las pruebas que se realicen, no requieran movimientos bruscos, porque esto se verá afectado en la calidad de los datos.

La evidencia que se presentó anteriormente demuestra que trabajar con niños diagnosticados con el trastorno de espectro autista representa una alta complejidad, pues presentan comportamientos restringidos, por tanto fue necesario tomarse el tiempo de conocerlos por medio de los profesores, psicólogos, padres de familias y de la compañía de ellos para así poder diseñar una prueba más adecuada, cada niño es un mundo diferente, por tanto se invita a seguir trabajando con los demás niños, buscar más sensores que se adecuen a cada uno de ellos, por ejemplo sensores más pequeños.

6. Bibliografía

- [1] P. Gil Gregorio, "Criterios diagnósticos. Beneficios del diagnóstico precoz," *Rev. Esp. Geriatr. Gerontol.*, vol. 51, no. Supl 1, pp. 7–11, 2016, doi: 10.1016/S0211-139X(16)30137-8.
- [2] J. García Sevilla, "Psicología de la atención," in *Psicología General*, 1997.
- [3] J. García Sevilla, *Psicología de la atención*, Madrid: Sí. 1997.
- [4] M. Nieto, "La atención sostenida como marcador de vulnerabilidad de la esquizofrenia: una serie de meta-análisis de estudios con Test de Ejecución Continua (CPT)," 2016.
- [5] Quijada G Carmen., "Espectro autista," *Padres y Maest. Publicación la Fac. Ciencias Humanas y Soc.*, vol. 0, no. 347, pp. 86–91, 2008, doi: 10.14422/pym.v0i347.571.
- [6] L. Londoño, "Attention as a basic psychological process," *Pensando Psicol.*, vol. 5, no. 8, pp. 91–100, 2009, [Online]. Available: <https://dspace.uib.es/xmlui/bitstream/handle/11201/150730/555786.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [7] M. Soroa, J. A. Iraola, N. Balluerka, and G. Soroa, "Evaluación de la atención sostenida de niños con trastorno por déficit de atención con hiperactividad," *Rev. Psicodidact.*, vol. 14, no. 1, pp. 13–27, 2009.
- [8] A. Hervás Zúñiga, N. Balmaña, and M. Salgado, "Los trastornos del espectro autista : aportes convergentes," *Pediatr. Aten. Primaria*, vol. 21, no. 2, pp. 92–108, 2017, [Online]. Available: https://www.pediatriaintegral.es/wp-content/uploads/2017/xxi02/03/n2-092-108_AmaiaHervas.pdf.
- [9] K. J. R. Gaitán, "En Colombia no hay estadísticas oficiales acerca del autismo," 2021. <https://www.edicionmedica.com.co/secciones/salud-publica/-en-colombia-no-hay-estadisticas-oficiales-acerca-del-autismo-1021> (accessed May 04, 2022).
- [10] A. A. Díaz Baquero and S. M. Camelo Roa, "Actividad eléctrica cerebral de la atención en adolescentes policonsumidores usando un equipo BCI (brain control interface)," *Acta Colomb. Psicol.*, vol. 22, no. 1, pp. 175–188, 2019, doi: 10.14718/acp.2019.22.1.9.
- [11] A. A. Budzynski Thomas H, Budzynski Kogan Helen Budzynski, Evans James R. Evans, *Introduction to quantitative EEG and neurofeedback*, vol. 148. 2009.
- [12] E. V. Orekhova *et al.*, "Excess of High Frequency Electroencephalogram Oscillations in Boys with Autism," *Biol. Psychiatry*, vol. 62, no. 9, pp. 1022–1029, 2007, doi: 10.1016/j.biopsych.2006.12.029.
- [13] C. Lin, Y. Lai, J. Lin, and P. Wu, "A novel method for concentration evaluation of reading behaviors with electrical activity recorded," *Comput. Methods Programs Biomed.*, vol. 114, no. 2, pp. 164–171, 2014, doi: 10.1016/j.cmpb.2014.02.005.
- [14] J. J. Esqueda-elizondo *et al.*, "Attention Measurement of an Autism Spectrum Disorder User Using EEG Signals : A Case Study," pp. 1–20, 2022.
- [15] and H. G. O. Zamora B. D., Muñoz J. E., Lopez D. S., "Influence of a BCI neurofeedback videogame in children with ADHD. Quantifying the brain activity through an EEG signal

- processing dedicated toolbox,” pp. 1–8, 2016.
- [16] V. M. Sanchez A, “Desarrollo de un sistema de neurofeedback a partir de señales de EEG, para el control voluntario del nivel de atención,” pp. 1–6, 2014.
- [17] R. F. C.-C. B.-L.-P. Hernandez-Sampieri, *Metodología de la investigación*, 6th ed., vol. 21, no. 5. 2014.
- [18] P. N. Rios M., Muñoz J.M., “Alteraciones de la atención tras daño cerebral traumático : evaluación y rehabilitación,” no. March 2007, 2007.
- [19] M. Sarter, B. Givens, and J. P. Bruno, “The cognitive neuroscience of sustained attention : where top-down meets bottom-up,” vol. 35, pp. 146–160, 2001.
- [20] J. . Ballard, “Computerized assessment of sustained attention: a review of factors affecting vigilance performance,” no. J Clin Exp Neuropsychol., 1996, doi: 10.1080/01688639608408307.
- [21] R. Langner and S. B. Eickhoff, “Sustaining attention to simple tasks: A meta-analytic review of the neural mechanisms of vigilant attention,” *Psychol. Bull.*, vol. 139, no. 4, pp. 870–900, 2013, doi: 10.1037/a0030694.
- [22] J. Lim and D. F. Dinges, “Sleep deprivation and vigilant attention,” *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, vol. 1129, pp. 305–322, 2008, doi: 10.1196/annals.1417.002.
- [23] M. S. & J. Llabrés, “Tarea de Atención Sostenida en la Infancia,” *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, 2004.
- [24] M. R. Atarcho, “Capítulo 4: Pruebas para evaluar atención,” pp. 71–102, 2003, [Online]. Available: https://www.ugr.es/~setchift/docs/pruebas_evaluar_atencion.pdf.
- [25] A. Gatell Carbó, “American Psychiatric Association. Diagnostic and statistical manual of mental disorders. 5th ed. Washington DC: American Psychiatric Publishing; 2013.,” *Pediatría Integral*, vol. 26, no. 1. pp. 21–33, 2013.
- [26] R. Seijas Gómez, “Atención, memoria y funciones ejecutivas en los trastornos del espectro autista: ¿cuánto hemos avanzado desde Leo Kanner?,” *Rev. la Asoc. Española Neuropsiquiatría*, vol. 35, no. 127, pp. 573–586, 2015, doi: 10.4321/s0211-57352015000300009.
- [27] P. López-Frutos, Jose M; Sotillo, María; Tripichio and C. Ruth, “FUNCIONES ATENCIONALES DE ORIENTACIÓN ESPACIAL , ALERTA Y,” vol. 16, pp. 101–112, 2011.
- [28] B. Kolb, *Neuropsicología Humana*, 7a Edición. 2017.
- [29] M. Castillo Dolores, *La atención*, Primera Ed. Madrid: Septiembre 2009, 2009.
- [30] H. S. and B. R. W. Klimes, M. Doppelmayr, “Theta synchronization and alpha desynchronization in a memory task.”
- [31] W. Klimesch, H. Schimke, and J. Schwaiger, “Episodic and semantic memory : an analysis in the EEG theta and alpha band,” vol. 91, pp. 428–441, 1994.
- [32] S. N. Jacob, D. Hähnke, and A. Nieder, “Structuring of Abstract Working Memory Content

- by Fronto-parietal Synchrony in Primate Cortex,” *Neuron*, vol. 99, no. 3, pp. 588-597.e5, 2018, doi: 10.1016/j.neuron.2018.07.025.
- [33] E. García-berjillos, M. Aliño, M. Gadea, and R. Espert, “Eficacia del neurofeedback para el tratamiento de los trastornos del espectro autista: Una revisión sistemática,” vol. 20, no. 2012, pp. 151–163, 2015, doi: 10.5944/rppc.vol.20.num.2.2015.15169.
- [34] A. S. Chan and S. L. Sze, “Quantitative Electroencephalographic Profiles for Children With Autistic Spectrum Disorder,” vol. 21, no. 1, pp. 74–81, 2007, doi: 10.1037/0894-4105.21.1.74.
- [35] L. Cornew, T. P. L. Roberts, L. Blaskey, and J. C. Edgar, “Resting-State Oscillatory Activity in Autism Spectrum Disorders,” pp. 1884–1894, 2012, doi: 10.1007/s10803-011-1431-6.
- [36] E. A. Lushchekina, E. D. Podreznaya, V. S. Lushchekin, and V. B. Strelets, “A Comparative EEG Study in Normal and Autistic Children,” vol. 42, no. 3, pp. 236–243, 2012.
- [37] R. Coben, A. R. Clarke, W. Hudspeth, and R. J. Barry, “EEG power and coherence in autistic spectrum disorder,” vol. 119, pp. 1002–1009, 2008, doi: 10.1016/j.clinph.2008.01.013.
- [38] C. P. Burnette, H. A. Henderson, A. Pradella, I. Nicole, C. B. Schwartz, and P. C. Mundy, “Anterior EEG Asymmetry and the Modifier Model of Autism,” pp. 1113–1124, 2011, doi: 10.1007/s10803-010-1138-0.
- [39] T. Talamillo García, “Manual básico para enfermeros en electroencefalografía,” *Enfermería Docente*, no. 94, pp. 29–33, 2011, [Online]. Available: <http://www.juntadeandalucia.es/servicioandaluzdesalud/huvvsites/default/files/revistas/ED-094-07.pdf>.
- [40] G. V. Daniel Urgilés, “Implementación de un sistema BCI para el análisis del comportamiento de bioseñales neurológicas,” pp. 1–90, 2017.
- [41] A. Vahabzadeh, N. U. Keshav, J. P. Salisbury, and N. T. Sahin, “Improvement of Attention-Deficit / Hyperactivity Disorder Symptoms in School-Aged Children , Adolescents , and Young Adults With Autism via a Digital Smartglasses-Based Socioemotional Coaching Aid : Short-Term , Uncontrolled Pilot Study Corresponding Auth,” vol. 5, pp. 1–13, 2018, doi: 10.2196/mental.9631.
- [42] E. Haapalainen, S. Kim, J. F. Forlizzi, and A. K. Dey, “Psycho-Physiological Measures for Assessing Cognitive Load,” pp. 301–310, 1997.
- [43] P. L. E. Casas R. J. P., Aparacio, “Un análisis del autismo desde la perspectiva de su influencia en familias y la tecnología como facilitador en el manejo de esta condición y la tecnología como facilitador en el manejo de esta condición,” vol. 8, 2016.
- [44] C. E. R. Meza, M. A. V. Manrique, and F. E. S. Quijano, “Applicability of Neurofeedback for attention capacity in a school environment,” *2018 9th Int. Semin. Biomed. Eng. SIB 2018 - Conf. Proc.*, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/SIB.2018.8467755.
- [45] H. B. Garretson, D. Fein, and L. Waterhouse, “Sustained Attention in Children with Autism,” vol. 20, no. 1, pp. 101–114, 1990.
- [46] Jmp Statical Discovery, “Coeficiente de correlación,” *Portal de formación estadística*. https://www.jmp.com/es_co/statistics-knowledge-portal/what-is-correlation/correlation-coefficient.html (accessed Feb. 20, 2023).

- [47] J. I. Barrios, "La matriz de confusión y sus métricas," 2019. <https://www.juanbarrios.com/la-matriz-de-confusion-y-sus-metricas/>.
- [48] (2014). Kaden, M. et al., "Optimización de Medidas Generales de Precisión Estadística para Clasificación Basada en Aprendizaje VectorQuantization.," 2014, [Online]. Available: <http://www.i6doc.com/fr/livre/?GCOI=28001100432440>.
- [49] G. Chicco, D. Jurman, "Las ventajas del coeficiente de correlación de Matthews (MCC) sobre la puntuación F1 y la precisión en la evaluación de la clasificación binaria.," vol. 21, 2020.
- [50] Consultoría Estratégica de Investigación de Mercados, "¿Qué es el coeficiente de correlación de Pearson?," 2019. <https://www.cimec.es/coeficiente-correlacion-pearson/>.
- [51] H. cognitiva. Neuropsicología, "Tiempo de reacción." .

ANEXOS

Anexo A Tabla de tiempos tomados del video.

Numero de objetivo	Tiempo objetivo inicio	Tiempo Reacción	Tiempo Objetivo Final	Correcto	Omisión	Perseveración	Confusión
		02:29:04					x
1	02:34:48	02:35:12	02:36:19	x			
2	02:40:48	02:41:18	02:42:19	x			
3	02:55:48	02:56:30	02:57:19	x			
4	03:01:48	03:02:22	03:03:19	x			
5	03:04:50	03:05:20	03:06:19	x			
6	03:07:48	03:08:04	03:09:19	x			
7	03:16:50	03:17:24	03:18:19	x			
8	03:28:48	03:29:24	03:30:19	x			
9	03:46:50	03:47:32	03:48:21	x			
10	03:55:48	03:56:24	03:57:17	x			
11	04:04:48	04:05:18	04:06:17	x			
		04:17:12					x
12	04:25:48	04:26:16	04:27:19	x			
13	04:31:48		04:33:19		x		
14	04:34:48	04:35:22	04:36:19	x			
15	04:52:48	04:53:06	04:54:19	x			
		04:56:10					x
16	05:04:48	05:05:30	05:06:19	x			
17	05:07:48	05:08:26	05:09:19	x			
18	05:13:48	05:14:18	05:15:19	x			
19	05:28:48	05:29:22	05:30:19	x			
20	05:37:48	05:39:02	05:39:19	x			
21	05:40:48	05:41:52	05:42:19	x			
22	05:55:48	05:58:18	05:57:19	x			
23	06:04:48	06:05:44	06:06:19	x			
24	06:16:48	06:17:50	06:18:19	x			
25	06:26:52	06:27:14	06:27:33	x			
26	06:28:52	06:29:16	06:29:33	x			
27	06:33:52	06:34:26	06:34:33	x			
28	06:35:52	06:36:20	06:36:33	x			
29	06:36:50	06:37:14	06:37:33	x			
30	06:37:50	06:38:04	06:38:33	x			
31	06:40:52	06:41:16	06:41:33	x			
32	06:44:52	06:45:16	06:45:33	x			
33	06:50:50	06:51:16	06:51:33	x			
34	06:53:52	06:54:58	06:54:33	x			
35	06:56:52	06:57:12	06:57:33	x			
36	07:03:52	07:04:08	07:04:33	x			
37	07:05:52	07:06:18	07:06:33	x			
38	07:06:52	07:07:06	07:07:33	x			
		07:10:18					x
39	07:12:52	07:13:22	07:13:33	x			
40	07:16:52	07:17:36	07:17:35	x			
41	07:17:52	07:18:48	07:18:33	x			
42	07:19:52	07:20:14	07:20:33	x			
43	07:24:52	07:25:16	07:25:33	x			
44	07:27:52	07:28:18	07:28:33	x			
45	07:28:52		07:29:33		x		
46	07:33:52	07:34:24	07:34:33	x			
47	07:36:52	07:37:20	07:37:35	x			
48	07:40:50	07:41:12	07:41:31	x			
49	07:48:50	07:49:52	07:49:33	x			

50	07:52:50	07:53:26	07:53:31	x			
51	07:55:50	07:56:54	07:56:33	x			
52	07:58:50	07:59:22	07:59:33	x			
53	08:00:50	08:01:36	08:01:30	x			
54	08:03:50	08:04:46	08:04:33	x			
55	08:07:50	08:08:12	08:08:33	x			
56	08:10:50	08:11:26	08:11:33	x			
57	08:17:50	08:18:22	08:18:33	x			
58	08:19:50	08:20:32	08:20:31	x			
59	08:24:50	08:25:16	08:25:33	x			
60	08:26:50	08:27:20	08:27:33	x			
61	08:27:50		08:28:33		x		
62	08:28:50	08:29:02	08:29:33	x			
63	08:31:50	08:32:54	08:32:33	x			
64	08:35:50	08:36:42	08:36:33	x			
65	08:41:50	08:42:24	08:42:33	x			
66	08:44:50	08:45:12	08:45:33	x			
67	08:47:50	08:48:16	08:48:33	x			
68	08:54:50	08:55:26	08:55:33	x			
69	08:56:50		08:57:33		x		
70	08:57:50	08:58:26	08:58:33	x			
		08:58:58				x	
71	09:03:50	09:04:16	09:04:33	x			
72	09:07:50	09:08:32	09:08:33	x			
73	09:08:52	09:09:20	09:09:33	x			
74	09:10:50	09:12:06	09:11:33	x			
75	09:15:50	09:16:38	09:16:33	x			
76	09:18:50	09:19:14	09:19:33	x			
77	09:19:50		09:20:33		x		
78	09:24:50	09:25:24	09:25:33	x			
79	09:27:52	09:28:14	09:28:33	x			
80	09:31:50	09:32:28	09:32:33	x			
81	09:39:50	09:40:38	09:40:33	x			
82	09:43:50	09:44:16	09:44:33	x			
83	09:46:50	09:47:31	09:47:33	x			
84	09:49:52	09:50:19	09:50:33	x			
85	09:51:50		09:52:33		x		
86	09:54:52	09:55:47	09:55:33	x			
87	09:58:50	09:59:38	09:59:33	x			
88	10:01:52	10:02:16	10:02:33	x			
89	10:04:50	10:05:00	10:05:33	x			
90	10:06:50	10:07:16	10:07:33	x			
91	10:10:52	10:12:04	10:11:33	x	Retardo	Beta bajo	
92	10:12:50	10:13:18	10:13:33	x			
93	10:13:52	10:14:26	10:14:33	x			
94	10:14:52	10:15:11	10:15:33	x			
95	10:17:52	10:18:14	10:18:33	x			
		10:19:08				x	
96	10:19:52	10:20:14	10:20:33	x			
97	10:21:52	10:22:14	10:22:33	x			
		10:29:22					x
		10:32:08					x
98	10:34:52	10:35:52	10:36:23	x			
99	10:40:54	10:41:56	10:42:23	x			
100	10:55:52	10:56:58	10:57:23	x			
101	11:01:52	11:02:54	11:03:23	x			
102	11:04:52	11:05:52	11:06:23	x			
103	11:07:54	11:08:58	11:09:23	x			
104	11:16:52	11:17:56	11:18:23	x			
105	11:28:54	11:30:02	11:30:23	x			
106	11:46:52	11:48:06	11:48:23	x			

107	11:55:52	11:56:58	11:57:21	x			
108	12:04:52	12:05:54	12:06:21	x			
109	12:25:52	12:26:58	12:27:21	x			
110	12:31:52	12:33:06	12:33:21	x		Dio golpe, se	desconectó
111	12:34:52	12:36:00	12:36:23	x		No hay registro	
112	12:52:52	12:54:02	12:54:23	x		No hay registro	
113	13:04:52	13:05:58	13:06:23	x			
114	13:07:52	13:09:08	13:09:23	x			
115	13:13:52	13:14:56	13:15:23	x			
116	13:28:52	13:30:00	13:30:23	x			
117	13:37:52	13:39:02	13:39:23	x			
118	13:40:52	13:42:08	13:42:23	x			
119	13:55:52	13:56:56	13:57:23	x			
120	14:04:52	14:05:58	14:06:23	x			
121	14:16:52	14:18:00	14:18:23	x			
Totales				115	6	2	6

Anexo B Tabla de los tiempos tomados en el video, modificada.

Numero de objetivo	Tiempo objetivo inicio	Tiempo Reacción	Tiempo Objetivo Final	Correcto	Omisión	Perseveración	Confusión
		02:29:04					x
1	02:34:48	02:35:12	02:36:19	x			
2	02:40:48	02:41:18	02:42:19	x			
3	02:55:48	02:56:30	02:57:19	x			
4	03:01:48	03:02:22	03:03:19	x			
5	03:04:50	03:05:20	03:06:19	x			
6	03:07:48	03:08:04	03:09:19	x			
7	03:16:50	03:17:24	03:18:19	x			
8	03:28:48	03:29:24	03:30:19	x			
9	03:46:50	03:47:32	03:48:21	x			
10	03:55:48	03:56:24	03:57:17	x			
11	04:04:48	04:05:18	04:06:17	x			
		04:17:12					x
12	04:25:48	04:26:16	04:27:19	x			
13	04:31:48		04:33:19		x		
14	04:34:48	04:35:22	04:36:19	x			
15	04:52:48	04:53:06	04:54:19	x			
		04:56:10					x
16	05:04:48	05:05:30	05:06:19	x			
17	05:07:48	05:08:26	05:09:19	x			
18	05:13:48	05:14:18	05:15:19	x			
19	05:28:48	05:29:22	05:30:19	x			
20	05:37:48	05:39:02	05:39:19	x			
21	05:40:48	05:41:52	05:42:19	x			

22	05:55:48		05:57:19		x		
23	06:04:48	06:05:44	06:06:19	x			
24	06:16:48	06:17:50	06:18:19	x			
25	06:26:52	06:27:14	06:27:33	x			
26	06:28:52	06:29:16	06:29:33	x			
27	06:33:52	06:34:26	06:34:33	x			
28	06:35:52	06:36:20	06:36:33	x			
29	06:36:50	06:37:14	06:37:33	x			
30	06:37:50	06:38:04	06:38:33	x			
31	06:40:52	06:41:16	06:41:33	x			
32	06:44:52	06:45:16	06:45:33	x			
33	06:50:50	06:51:16	06:51:33	x			
34	06:53:52	06:54:58	06:54:33	x			
35	06:56:52	06:57:12	06:57:33	x			
36	07:03:52	07:04:08	07:04:33	x			
37	07:05:52	07:06:18	07:06:33	x			
38	07:06:52	07:07:06	07:07:33	x			
		07:10:18					x
39	07:12:52	07:13:22	07:13:33	x			
40	07:16:52	07:17:36	07:17:35	x			
41	07:17:52	07:18:48	07:18:33	x			
42	07:19:52	07:20:14	07:20:33	x			
43	07:24:52	07:25:16	07:25:33	x			
44	07:27:52	07:28:18	07:28:33	x			
45	07:28:52		07:29:33		x		
46	07:33:52	07:34:24	07:34:33	x			
47	07:36:52	07:37:20	07:37:35	x			
48	07:40:50	07:41:12	07:41:31	x			
49	07:48:50	07:49:52	07:49:33	x			
50	07:52:50	07:53:26	07:53:31	x			
51	07:55:50	07:56:54	07:56:33	x			
52	07:58:50	07:59:22	07:59:33	x			
53	08:00:50	08:01:36	08:01:30	x			
54	08:03:50	08:04:46	08:04:33	x			
55	08:07:50	08:08:12	08:08:33	x			
56	08:10:50	08:11:26	08:11:33	x			
57	08:17:50	08:18:22	08:18:33	x			
58	08:19:50	08:20:32	08:20:31	x			
59	08:24:50	08:25:16	08:25:33	x			
60	08:26:50	08:27:20	08:27:33	x			

61	08:27:50		08:28:33		x		
62	08:28:50	08:29:02	08:29:33	x			
63	08:31:50	08:32:54	08:32:33	x			
64	08:35:50	08:36:42	08:36:33	x			
65	08:41:50	08:42:24	08:42:33	x			
66	08:44:50	08:45:12	08:45:33	x			
67	08:47:50	08:48:16	08:48:33	x			
68	08:54:50	08:55:26	08:55:33	x			
69	08:56:50		08:57:33		x		
70	08:57:50	08:58:26	08:58:33	x			
71	09:03:50	09:04:16	09:04:33	x			
72	09:07:50	09:08:32	09:08:33	x			
73	09:08:52	09:09:20	09:09:33	x			
74	09:10:50	09:12:06	09:11:33	x			
75	09:15:50	09:16:38	09:16:33	x			
76	09:18:50	09:19:14	09:19:33	x			
77	09:19:50		09:20:33		x		
78	09:24:50	09:25:24	09:25:33	x			
79	09:27:52	09:28:14	09:28:33	x			
80	09:31:50	09:32:28	09:32:33	x			
81	09:39:50	09:40:38	09:40:33	x			
82	09:43:50	09:44:16	09:44:33	x			
83	09:46:50	09:47:31	09:47:33	x			
84	09:49:52	09:50:19	09:50:33	x			
85	09:51:50		09:52:33		x		
86	09:54:52	09:55:47	09:55:33	x			
87	09:58:50	09:59:38	09:59:33	x			
88	10:01:52	10:02:16	10:02:33	x			
89	10:06:50	10:07:16	10:07:33	x			
90	10:10:52	10:12:04	10:11:33	x	Retardo	Beta bajo	
91	10:12:50	10:13:18	10:13:33	x			
92	10:13:52	10:14:26	10:14:33	x			
93	10:14:52	10:15:11	10:15:33	x			
94	10:17:52	10:18:14	10:18:33	x			
		10:19:08				x	
95	10:19:52	10:20:14	10:20:33	x			
96	10:21:52	10:22:14	10:22:33	x			
		10:29:22					x
		10:32:08					x
97	10:34:52	10:35:52	10:36:23	x			

98	10:40:54	10:41:56	10:42:23	x			
99	10:55:52	10:56:58	10:57:23	x			
100	11:01:52	11:02:54	11:03:23	x			
101	11:04:52	11:05:52	11:06:23	x			
102	11:07:54	11:08:58	11:09:23	x			
103	11:16:52	11:17:56	11:18:23	x			
104	11:28:54	11:30:02	11:30:23	x			
105	11:46:52	11:48:06	11:48:23	x			
106	11:55:52	11:56:58	11:57:21	x			
107	12:04:52	12:05:54	12:06:21	x			
108	12:25:52	12:26:58	12:27:21	x			
109	12:31:52	12:33:06	12:33:21	x		Dios golpe, se	desconectó
Total				102	7	1	6