



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:

**ANÁLISIS DE LAS ONDAS CEREBRALES DE NIÑOS AUTISTAS Y CON DESARROLLO
TÍPICO DURANTE LA REALIZACIÓN DE ACTIVIDADES RECREATIVAS**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO:

INGENIERA BIOMÉDICA

PRESENTADO POR:

22011074 ISIS ILIANA MARTÍNEZ MENJIVAR

ASESOR: MANUEL ADALID GAMERO

CAMPUS: SAN PEDRO SULA, ABRIL, 2024

DEDICATORIA

A Dios quien ha sido mi luz en este todo mi viaje académico. El amor y gracia de él han sido mi inspiración constante, guiándome en cada paso hacia el conocimiento.

De igual manera dedico mi trabajo a mis padres quienes día a día se han esforzado por hacer hasta lo imposible para sacarme adelante, son mi ejemplo de fortaleza, sabiduría y amor incondicional.

A mi adorada sobrina Vienna, le deseo un futuro lleno de bendiciones que su camino esté iluminado por la luz del amor y la sabiduría, y que siempre sienta el cariño y el apoyo incondicional de quienes la amamos.

Así mismo a mi abuelo Alberto Menjívar que sé que desde el cielo está muy orgulloso de mi y de la profesional que llegare a ser.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme permitido alcanzar este nuevo logro en mi vida académica. Su constante presencia y la sabiduría que me brinda cada día han sido fundamentales en este camino. Que su amor y guía continúen iluminando mi sendero hacia el conocimiento y el crecimiento personal. A sí mismo a la Virgen María a quien venero con devoción.

Agradezco a mis padres, Héctor Martínez y María de Jesús Menjívar, por ser mis pilares fundamentales y enseñarme el valor de la solidaridad y el compromiso. Siempre han estado ahí para mí, resolviendo problemas y brindándome su amor incondicional. Son los mejores padres del mundo y su ejemplo es mi mayor inspiración, los amo.

Agradezco a mi hermana Orquídea por enseñarme la importancia de la organización y el compromiso, siendo su ejemplo una luz en mi camino. A mi hermano Edilberto le agradezco por brindarme mi primera oportunidad laboral, a través de su generosidad, aprendí el valor de la responsabilidad y la madurez personal.

Agradezco a Dalila Romero por su constante apoyo y preocupación hacia mí. Considero que es una persona excepcional y la valoro como una segunda madre en mi vida.

A la familia Martínez Morales por brindarme de su infinito amor y son lo mejor que les ha pasado a mis últimos años. A sí mismo a la familia Pineda Morales por ser parte de este proyecto, gracias a ellos tengo una nueva familia.

A mi grupo de amigos Arlin, Brianna, Claudia, Darwin, Diego, Edgardo, Katherine, Moisés y Walter quienes hicieron que mis años como estudiante estuvieran llenos de alegría y por brindarme los mejores recuerdos de mi vida. Gracias por nunca dejarme sola, a todos los amos infinitamente

A Manuel Gamero le agradezco por darme los mejores consejos de vida, sin duda alguna que es la herencia más grande que me pudo brindar, lo recordare para toda la vida

A mi asesor teórico Alejandro Morgia por tener paciencia y dedicación, gracias por su colaboración y querer poder compartir sus conocimientos y tiempo hacia a mí.

EPIGRAFE

Toma, Señor y recibe toda mi libertad mi memoria mi entendimiento y toda mi voluntad; todo mi haber y mi poseer. Vos me lo diste a vos señor te lo devuelvo. Dame Tu Amor y Gracia, que éstas me bastan.

- **San Ignacio de Loyola**

RESUMEN EJECUTIVO

El estudio aborda la comparación de las señales cerebrales entre niños con y sin Trastorno del Espectro Autista (TEA) durante actividades recreativas. Se aplicaron técnicas estadísticas y de procesamiento de señales para examinar las diferencias en la modulación neuronal entre ambos grupos. Tres juegos, cornhole, colorear y bolos, fueron seleccionados como contextos para el análisis de las señales de EEG. El objetivo principal fue comprender cómo estas actividades afectan el desarrollo cognitivo y neurológico de los niños, centrándose en la identificación de patrones relacionados con la experiencia de placer, la interacción social y el desarrollo emocional.

Durante el análisis, se observó una mayor actividad cerebral en niños con TEA durante el juego de cornhole, lo que sugiere una respuesta neuronal diferenciada en este contexto específico. Este hallazgo resalta la importancia de comprender la neurobiología del autismo para diseñar intervenciones terapéuticas y programas de intervención más efectivos. Además, la investigación reveló la utilidad de las técnicas estadísticas y de procesamiento de señales en el análisis de las señales cerebrales, ofreciendo nuevas perspectivas sobre la relación entre las actividades recreativas y la función cerebral en niños con TEA.

Los resultados obtenidos tienen implicaciones significativas para la práctica clínica y educativa, proporcionando información valiosa sobre cómo diseñar intervenciones más efectivas para niños con TEA. Además, destacan la importancia de considerar el contexto de las actividades recreativas en el desarrollo y bienestar de estos niños. Este estudio sienta las bases para futuras investigaciones en el campo de la neurociencia aplicada al autismo, ofreciendo nuevas perspectivas sobre las intervenciones terapéuticas y educativas para esta población.

La investigación proporciona una comprensión más profunda de las diferencias en la modulación neuronal durante actividades recreativas en niños con y sin TEA. Estos hallazgos contribuyen al conocimiento existente sobre el autismo y abren nuevas vías para el desarrollo de

intervenciones terapéuticas más efectivas y centradas en las necesidades individuales de los niños con TEA.

Palabras claves: Ondas cerebrales, comportamiento, frecuencia, desarrollo cognitivo, desarrollo emocional.

ABSTRACT

The study addresses the comparison of brain signals between children with and without Autism Spectrum Disorder (ASD) during recreational activities. Statistical and signal processing techniques were applied to examine differences in neuronal modulation between both groups. Three games, cornhole, coloring, and bowling, were selected as contexts for EEG signal analysis. The main objective was to understand how these activities affect the cognitive and neurological development of children, focusing on identifying patterns related to pleasure experience, social interaction, and emotional development.

During the analysis, higher brain activity was observed in children with ASD during the cornhole game, suggesting a differentiated neuronal response in this specific context. This finding highlights the importance of understanding the neurobiology of autism to design more effective therapeutic interventions and intervention programs. Additionally, the research revealed the utility of statistical and signal processing techniques in analyzing brain signals, offering new insights into the relationship between recreational activities and brain function in children with ASD.

The results have significant implications for clinical and educational practice, providing valuable information on how to design more effective interventions for children with ASD. Additionally, they underscore the importance of considering the context of recreational activities in the development and well-being of these children. This study lays the groundwork for future research in the field of applied neuroscience to autism, offering new perspectives on therapeutic and educational interventions for this population.

The research provides a deeper understanding of differences in neuronal modulation during recreational activities in children with and without ASD. These findings contribute to existing knowledge about autism and open up new avenues for the development of more effective therapeutic interventions tailored to the individual needs of children with ASD.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN.....	18
II.	ESTADO DEL ARTE.....	20
	2.1 ANTECEDENTES	20
	2.2 PROBLEMÁTICA	40
	2.3 IMAGEN INTEGRADORA.....	41
	2.4 LIMITACIONES	43
III.	OBJETIVOS.....	50
	3.1 OBJETIVO GENRAL	50
	3.2 OBJETIVO ESPECIFICO.....	50
IV.	MÉTODOS.....	51
	4.1 ENFOQUE	51
	4.2 OBJETIVO DEL MÉTODO.....	53
	4.3 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN	54
	4.3.1 VARIABLE DEPENDIENTE	54
	4.3.2 VARIABLE INDEPENDIENTE.....	54
	4.3 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	55
	4.4 RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO	59
	4.4.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	60
	4.4.3 TÉCNICAS UTILIZADAS	60
	4.4.4 MATERIALES UTILIZADOS.....	61
	4.4.5 METODOLOGÍA DE ESTUDIO.....	63

4.6 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN/VALIDACIÓN.....	71
V. RESULTADOS.....	74
5.1 ESPECIFICACIÓN DE SISTEMA	74
5.2 ESPECIFICACIÓN DEL SUBSISTEMA	75
5.3 DEFINICIÓN DE COMPONENTES.....	76
5.4 DEFINICIÓN DE INTEGRACIÓN.....	80
5.5 VALIDACIÓN DE INTEGRACIÓN	82
5.6 VALIDACIÓN DE LOS COMPONENTES.....	83
5.7 VALIDACIÓN DE LOS SUBSISTEMAS	88
5.7.1 DIFERENCIA COMPARATIVA DE TODAS LAS BANDAS.....	88
5.7.2 DIFERENCIAS COMPARATIVAS DE LAS BANDAS DE FRECUENCIA	94
5.7.2.1 VISUALIZACIÓN COMPARATIVA EN LA ACTIVIDAD COLOREANDO.....	95
5.7.2.2 VISUALIZACIÓN COMPARATIVA EN EL JUEGO CORNHOLE.....	97
5.7.2.3 VISUALIZACIÓN COMPARATIVA EN EL JUEGO DE BOLOS.....	99
5.8 VALIDACIÓN DE SISTEMA	101
5.8.1 VISUALIZACIÓN DEL HEADPLOT DEL OPENBCI	101
5.8.2 DIFERENCIA O COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS– ACTIVIDAD COLOREAR	111
5.8.3 RELACIÓN O COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS – ACTIVIDAD CORNHOLE	112
5.8.4 DIFERENCIA O COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS – JUEGO DE BOLOS.....	112
5.9 RECOMENDACIONES Y MEJORAS	113

VI.	DISCUSIÓN.....	114
VII.	CONCLUSIONES.....	116
VIII.	REFERENCIAS	118
IX.	ANEXOS.....	123

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1. IMAGEN INTEGRADORA.....	42
ILUSTRACIÓN 2. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN	55
ILUSTRACIÓN 3. METODOLOGÍA.....	52
ILUSTRACIÓN 4. METODOLOGÍA EN V.....	63
ILUSTRACIÓN 5. ADQUISICIÓN Y ALMACENAMIENTO DE SEÑALES	68
ILUSTRACIÓN 6. REGISTRO DE DATOS UTILIZANDO MATLAB.....	69
ILUSTRACIÓN 7. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	71
ILUSTRACIÓN 8. SOFTWARE OPENBCI.....	79
ILUSTRACIÓN 9. CONFIGURACIÓN DEL SOFTWARE OPENBCI	79
ILUSTRACIÓN 10 VISUALIZACIÓN DEL SOFTWARE OPENBCI.....	80
ILUSTRACIÓN 11. ACTIVIDAD COLOREAR.....	81
ILUSTRACIÓN 12. CORNHOLE	81
ILUSTRACIÓN 13. JUEGO DE BOLOS.....	82
ILUSTRACIÓN 14. PROGRAMACIÓN PARA REGISTRO DE SEÑALES.....	84
ILUSTRACIÓN 15. CONTINUACIÓN DE PROGRAMACIÓN DE REGISTRO DE SEÑALES.....	85
ILUSTRACIÓN 16. BANDAS DE FRECUENCIAS EN NIÑOS CON TEA	89
ILUSTRACIÓN 17. BANDAS DE FRECUENCIA EN NIÑOS CON DESARROLLO TÍPICO	90
ILUSTRACIÓN 18. BANDAS DE FRECUENCIA EN NIÑOS CON DT (CORNHOLE)	91
ILUSTRACIÓN 19 BANDAS DE FRECUENCIA EN NIÑOS CON TEA (CORNHOLE).....	92
ILUSTRACIÓN 20. BANDAS DE FRECUENCIA EN NIÑOS CON DT (JUEGO DE BOLOS)	93
ILUSTRACIÓN 21. BANDAS DE FRECUENCIA EN NIÑOS CON TEA (JUEGO DE BOLOS)	94

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 LIMITANTES DE ESTUDIOS PASADOS	43
TABLA 2. OBJETIVO DEL MÉTODO.....	53
TABLA 3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	56
TABLA 4. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	60
TABLA 5. TIPOS DE JUEGOS.....	76
TABLA 6. MATERIALES	77
TABLA 7. SUJETOS SOMETIDOS A LAS PRUEBAS	83
TABLA 8. ESTIMACIÓN DE LA DIFERENCIA - (ACTIVIDAD DE COLOREAR).....	95
TABLA 9. RESULTADOS DE PRUEBAS EN APLICACIÓN DE T DE 2 MUESTRAS – JUEGO COLOREANDO.....	96
TABLA 10. ESTIMACIÓN DE LA DIFERENCIA BANDA BETA - JUEGO CORNHOLE.....	97
TABLA 11. RESULTADOS DE PRUEBA EN APLICACIÓN DE T DE 2 MUESTRAS – JUEGO CORNHOLE	97
TABLA 12. ESTIMACIÓN DE LA DIFERENCIA BANDA THETA – JUEGO CORNHOLE.....	98
TABLA 13. RESULTADOS DE LA BANDA THETA EN APLICACIÓN DE T DE 2 MUESTRAS – JUEGO CORNHOLE	98
TABLA 14. ESTIMACIÓN DE LA DIFERENCIA BANDA THETA – JUEGO BOLOS.....	99
TABLA 15. RESULTADOS DE LA BANDA THETA EN APLICACIÓN DE T DE 2 MUESTRAS – JUEGOS BOLOS	99
TABLA 16. ESTIMACIÓN DE LA DIFERENCIA BANDA GAMMA – JUEGO BOLOS.....	100
TABLA 17. RESULTADOS DE LA BANDA GAMMA EN APLICACIÓN DE T DE 2 MUESTRAS – JUEGOS BOLOS	100

TABLA 18. RESULTADOS HEADPLOT- GRUPO #1 DT (COLOREANDO)	101
TABLA 19. RESULTADOS HEADPLOT- GRUPO #2 (COLOREANDO)	103
TABLA 20. RESULTADOS HEADPLOT-GRUPO #1 (CORNHOLE).....	105
TABLA 21. RESULTADOS HEADPLOT- GRUPO #2 (CORNHOLE).....	106
TABLA 22. RESULTADOS HEADPLOT- GRUPO #1 (JUEGO BOLOS)	108
TABLA 23. RESULTADOS HEADPLOT- GRUPO #2 (JUEGO BOLOS)	110
TABLA 24. RESULTADOS DE LOS DIBUJOS COLOREADOS POR GRUPO.....	127
TABLA 25. SUJETOS EN LA ACTIVIDAD COLOREANDO.....	129

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. CONSENTIMIENTO FIRMADO POR PADRES DE FAMILIA	123
ANEXO 2. CONSENTIMIENTO FIRMADO POR PADRES DE FAMILIA	124
ANEXO 3. CONSENTIMIENTO FIRMADO POR PADRES DE FAMILIA	125
ANEXO 4. CONSENTIMIENTO FIRMADO POR PADRES DE FAMILIA	126
ANEXO 5. RESULTADO DE LAS ACTIVIDADES	127

I. INTRODUCCIÓN

La comprensión del Trastorno del Espectro Autista (TEA) como un trastorno del neurodesarrollo ha evolucionado significativamente en los últimos años. Se reconoce que el TEA se caracteriza por una variedad de alteraciones y retrasos en el desarrollo de funciones relacionadas con la maduración del sistema nervioso central, lo que comienza en la infancia y continúa a lo largo de la vida del individuo (Martínez-Morga et al., 2019).

La encefalografía se ha consolidado como una herramienta indispensable para los médicos en el diagnóstico y comprensión de trastornos neurológicos. Su aplicación permite un cuidado más preciso y la entrega de diagnósticos más certeros para cada paciente (Bouallegue et al., 2020).

A pesar de la abundancia de estudios que se centran en el desarrollo neurológico de los pacientes autistas, existe una falta de investigación que analice su comportamiento mientras interactúan con la sociedad. Los juegos recreativos representan una oportunidad única para explorar esta interacción, ya que proporcionan un entorno natural y dinámico para observar el comportamiento de los niños con TEA y sin TEA.

Esta investigación busca llenar este vacío al proporcionar un análisis comparativo de la actividad cerebral durante actividades recreativas en ambos grupos, con el objetivo de identificar posibles diferencias neurobiológicas y comportamentales. Y así mismo se realizará un análisis estadístico con el fin de poder brindar comparaciones significativas entre la señal de los grupos de niños con autismo y niños con un desarrollo típico.

Ciertas actividades recreativas pueden afectar la actividad cerebral y, por consiguiente, el desarrollo cognitivo y neurológico de niños con TEA. Mediante la comparación de señales cerebrales entre niños con y sin esta condición, se busca identificar posibles diferencias en la modulación neuronal durante la realización de actividades recreativas específicas. Los hallazgos de este estudio tienen el potencial de contribuir al diseño de intervenciones terapéuticas y programas de intervención que promuevan el bienestar y la calidad de vida de niños con TEA.

Además, este proyecto de investigación se fundamenta en la aplicación de tecnologías innovadoras para la captura y análisis de las señales cerebrales, lo que representa un avance significativo en el campo de la neurociencia aplicada. La utilización del dispositivo OpenBCI y el software especializado para el procesamiento de datos permiten una evaluación precisa y detallada de la actividad cerebral en tiempo real. Esta integración de tecnología de vanguardia no solo ofrece una mayor precisión en la recopilación de datos, sino que también facilita el análisis comparativo entre los grupos de estudio. Esta combinación de enfoques metodológicos y tecnológicos representa un paso importante hacia una comprensión más profunda de la neurobiología del autismo y sus implicaciones para la práctica clínica y educativa.

La investigación tendrá una estructura que estará conformada por siete capítulos: el capítulo III trata sobre el estado del arte, el cual presenta antecedentes de investigaciones anteriormente realizadas las cuales están relacionados con encefalografías en niños con el trastorno del espectro autista, estudios realizados con OpenBCI o EEG en niños con desarrollo típico. El cuarto capítulo abordará los objetivos del estudio, mientras que el quinto capítulo describirá el enfoque metodológico empleado en la elaboración del prototipo propuesto. El sexto capítulo estará dedicado a la presentación de los hallazgos obtenidos durante la investigación, por último, el séptimo capítulo ofrecerá las conclusiones derivadas del estudio.

II. ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se revisan los estudios que han analizado los orígenes y los avances en esta área de investigación, resaltando las contribuciones clave que han impulsado y facilitado avances importantes en la comprensión de la actividad neurológica y las técnicas de estudio requeridas.

2.1 ANTECEDENTES

Habeeb et al. (2019) realizó una investigación lleva como título «***Behavior Analysis Tool for Autistic Children Using EEG Signals***» se desarrolló una herramienta la cual sirve para la comprensión del comportamiento de niños que fueron diagnosticados con el trastorno del espectro autista. Utilizaron señales de electroencefalograma para poder analizar las emociones de cada niño, con el fin de poder proporcionar asistencia a los padres médicos y maestros en su interacción diaria con los niños con TEA. Involucró la recopilación de datos EEG con el uso de neurocasco (EPOC+) el cual permitía la lectura inalámbrica de señales cerebrales. Posteriormente estas fueron procesadas para poder eliminar el ruido y la extracción de características mediante la Transformación Rápida de Fourier (FFT). Lo cual permitió la identificación de cinco bandas de frecuencia (delta, theta, beta, Alpha y gamma) asociadas a las señales EEG.

Para clasificar las emociones utilizaron una red neuronal profunda (DNN), estaba diseñada para poder reconocer patrones en las características extraídas y tener que proporcionar las emociones a clases específicas.

Su objetivo principal destacó en proporcionar un resultado de las interacciones y emociones diarias que pueden presentar los niños de esta manera maestros, padres de familia y médicos pueden tener una mejor interacción con ellos facilitando así su proceso de aprendizaje y adaptación a nuevas situaciones.

Lograron construir un modelo de aprendizaje automático obteniendo una precisión del 53.5% que es capaz de predecir las emociones basadas en señales de EEG. Este enfoque representó un paso fundamental en la dirección de proporcionar recursos más efectivos y precisos

para comprender y abordar el comportamiento de los niños con TEA. La combinación de tecnologías, como el análisis de EEG y el aprendizaje automático, abre nuevas posibilidades para el desarrollo de herramientas más avanzadas y personalizadas en el ámbito del análisis de comportamiento en el contexto del TEA.

Mediante un análisis de frecuencia de las señales adquiridas, se identificó la capacidad de obtener una clasificación del estado emocional del paciente. Este enfoque se revela factible al proporcionar una mayor facilidad para discernir las distintas emociones presentes en el paciente.

Se realizó la siguiente investigación escrita por los autores Bouallegue et al., (2020) llamado «**A Dynamic Filtering DF-RNN Deep-Learning-Based Approach for EEG-Based Neurological Disorders Diagnosis**» propusieron abordar desafíos asociados con el diagnóstico de trastornos neurológicos tales como la epilepsia y el autismo. Dejaron de lado los enfoques convencionales que tenían dependencia de filtros estáticos en el procesamiento de señales de EEG, introdujeron un enfoque diferente el cual fuera dinámico y adaptativo. Su objetivo principal fue en poder dar un diagnóstico que aprendiera y se ajustara a las complejidades inherentes a los datos EEG, mejorando así la capacidad de clasificación.

Diseñaron y aplicaron 6 tipos de filtros FIR/IIR en combinación con una red neuronal (RNN) con unidades de puertas recurrentes (GRUs). Lo cual les permitió que la red les permitiera poder aprender a aplicar el filtro más adecuado con un orden específico, de esta manera poder minimizar el error cuadrático medio (MSE) a nivel de época, lo cual les arrojó un resultado altamente efectivo en la mejora de la calidad de las señales EEG para el entrenamiento de la RNN.

Lograron una contribución la cual introdujo un enfoque dinámico en el procesamiento de señales EEG para diagnosticar la epilepsia y el autismo. Al implementar la red neuronal con unidades de puertas recurrentes para el diseño de filtros demostró ser efectiva ya que mejoraron la calidad de señal EEG mediante el aprendizaje automático que se ajusta a la complejidad de los datos. La combinación de esta técnica con la extracción de características mediante ICA y la clasificación a través de CNN contribuyó a un sistema integral que alcanzó tasas de precisión excepcionales del 100 % para la epilepsia y del 99.5 % para el autismo. Lograron demostrar una

capacidad para poder adaptarse dinámicamente a diversas condiciones y trastornos neurológicos, resaltando su relevancia y el impacto en el diagnóstico asistido por la inteligencia artificial en el ámbito de la neurología.

Haputhanthri et al., (2019) llevaron a cabo una investigación a la cual titularon como «**An EEG based Channel Optimized Classification Approach for Autism Spectrum Disorder**» hicieron uso del prototipo ASDGenus, el cual tiene incorporado un algoritmo de procesamiento de señales EEG que sirve para filtrar el ruido causado por el parpadeo ocular. Posteriormente realizaron extracciones de características utilizando enfoques estadísticos y la transformada discreta de onda. Realizaron cuatro comparaciones de modelos de aprendizaje automático, el cual incluía regresión logística, Naïve SVM, Bayes y random forest.

Su objetivo principal fue desarrollar un enfoque automatizado que pudiera permitir la clasificación temprana del TEA utilizando un número mínimo de canales de EEG. El propósito de plantear la reducción de canales era de simplificar el procesamiento, que fuera más rentable y aplicable durante la revisión de la rutina del paciente.

Presentaron un resultado el cual fue la combinación del modelo de random forest con un conjunto de características seleccionadas mediante CFS y alcanzaron la precisión de un 93%. En cuanto a la regresión logística que utilizaron tuvieron un conjunto de características específicas, la cual logró una precisión del 87%. El hecho de querer disminuir los canales demostró ser totalmente eficaz para mejorar la precisión de ciertos modelos. Y con eso demostraron que podían facilitar el diagnóstico temprano del TEA, lo cual es productivo para intervenciones tempranas y tratamientos más efectivos.

Se propuso una metodología innovadora y automatizada para la identificación temprana del TEA mediante el procesamiento de señales EEG, al reducir los canales y la selección de características demostró que se podía mejorar la precisión de ciertos modelos, y presenta un apoyo positivo en la detección temprana y la individualización de tratamientos. Se propuso la combinación de datos de EEG con las imágenes térmicas para poder brindar una mejora aún más

a las precisiones del diagnóstico, ofreciendo un paso adelante en la investigación del TEA y su diagnóstico, contribuyendo a la mejora de la atención y la calidad de vida de cada paciente.

Se realizó la siguiente investigación escrita por Zhao et al., (2021) la cual se titula como **«Electroencephalogram feature extraction and classification of autistic children on recurrence quantification analysis»** su objetivo principal fue profundizar las diferencias en las características no lineales de las señales de electroencefalograma con niños diagnosticados del espectro autista y aquellos con un desarrollo típico (TD). Para que esto se llevaron a cabo utilizaron el método de análisis de recurrencia cuantitativa con el fin de extraer y cuantificar características específicas de las señales EEG, tales como RR (puntos de recurrencia), DET (determinismo) y LADL (longitud promedio de las líneas diagonales).

Iniciaron tomando los datos EEG de ambos grupos de niños (TEA y TD) posteriormente aplicaron el análisis RQA para poder cuantificar las características no lineales en ciertas regiones del cerebro. Así mismo implementaron un clasificador de máquinas de soporte vectorial con el objetivo de clasificar a los niños en los grupos de TEA o TD basándolos en esas características.

Mediante el estudio identificaron marcadas diferencias en las características no lineales de las señales EEG entre niños con autismo y con desarrollo típico. Se notaron principalmente en la región de la corteza prefrontal. Destacaron que al combinar el análisis RQA con la clasificación SVM era más precisa en comparación con métodos tradicionales, lo cual brinda la utilidad potencial de este tipo de enfoque.

Tuvieron respuestas tales como que las señales de niños con autismo tenían patrones menos complejos y más predecibles en comparación con niños con TD. Demostraron que la corteza prefrontal demuestra las diferencias observadas en las características no lineales entre los dos grupos.

Lograron establecer las bases para la potencial aplicación de las características en la identificación temprana y la evaluación del trastorno autista.

Djemal et al., (2017) realizaron una investigación la cual titularon como **«EEG-Based Computer Aided Diagnosis of Autism Spectrum Disorder Using Wavelet, Entropy, and ANN»**

en este artículo tuvieron como objetivo poder desarrollar un sistema de diagnóstico asistido por computadoras para poder clasificarlas de manera automática de sujetos con TEA y sujetos sin TEA haciendo uso de señales de EEG. Lo que querían realizar era brindar una herramienta específica para facilitar el diagnóstico y mejorar la precisión del diagnóstico del TEA a los médicos.

Hicieron uso de la transformada wavelet discreta para poder crear una descomposición de las señales de EEG en diferentes coeficientes de detalle y aproximación. Para poder extraer características relevantes de las señales utilizaron estadísticas, como la media desviación estándar, varianza sesgo y curtosis. No tuvieron una buena respuesta ya que observaron que la precisión de la clasificación era demasiado limitada y no era precisa.

Exploraron distintas funciones de entropía, como la entropía de Shannon, entropías de energía y umbral, y la entropía de Renyi, de esta manera tener características de las señales más funcionales del EEG. Realizaron proceso de optimización, donde evaluaron diferentes longitudes segmento, combinaciones de wavelet.

El método propuesto se validó utilizando un conjunto de datos proporcionado por la Universidad King Abdulaziz en Jeddah, Arabia Saudita, el cual contiene señales de EEG de sujetos con y sin TEA. La clasificación se realizó mediante un clasificador de red neuronal artificial (ANN), y se empleó una metodología de validación cruzada de 10 pliegues para evaluar el rendimiento del sistema.

Los resultados obtenidos demostraron que la combinación de DWT y la entropía de Shannon, con segmentos superpuestos de un minuto de duración, proporciona la máxima precisión de clasificación, alcanzando hasta un 99.71%. Es importante destacar que la simplicidad del método propuesto, que utiliza operaciones aritméticas y logarítmicas básicas, contribuye a su eficacia y aplicabilidad práctica.

En cuanto a las contribuciones de la investigación, se destaca la implementación de un sistema CAD eficiente para el diagnóstico del TEA, con una precisión significativamente mejorada en comparación con métodos existentes. Además, la metodología propuesta puede considerarse más simple y menos costosa en términos computacionales, lo que favorece su implementación

práctica y potencial integración en entornos clínicos. Este estudio contribuye, por lo tanto, a la mejora de las herramientas disponibles para el diagnóstico temprano y preciso del trastorno del espectro autista.

Alturki et al., (2020) realizaron una investigación a la cual titularon como **«EEG Signal Analysis for Diagnosing Neurological Disorders Using Discrete Wavelet Transform and Intelligent Techniques»** consistía en desarrollar un sistema el cual fue único para poder diagnosticar tres tipos de trastornos neurológicos haciendo uso de señales de electroencefalografía. Las tres enfermedades neurológicas eran epilepsia vs. Neurotípico, TEA vs. Neurotípico y epilepsia vs. TEA vs. Neurotípico. Buscaron mejorar la precisión del diagnóstico por medio de la investigación de diferentes técnicas de extracción y clasificación de características para señales EEG, por medio de canales únicos y canales múltiples.

Utilizaron un conjunto de datos el cual fue proporcionado por la universidad de Bon, Alemania; aplicaron la técnica de análisis de componentes independientes para poder eliminar artefactos causados por el parpadeo, de esta manera mejorar la calidad de la señal. Realizaron segmentaciones de los datos en ventanas de tiempo fijo de 50 segundos y aplicaron un filtro elíptico de paso de banda con la frecuencia de 0.1-0.6 Hz para eliminar el ruido e interferencias.

Optaron por usar la transformada discreta de Wavelet para descomponer las señales en sub-bandas. Posteriormente llevaron a cabo cinco métodos estadísticos para extraer características de las sub-bandas las cuales incluían LBP, SD, varianza, curtosis y entropía.

La combinación de DWT con entropía o LBP y SVM o ANN produjo las mayores precisiones para datos de canal único y de canal múltiple, respectivamente. Lograron altos niveles de precisión en el diagnóstico de epilepsia y autismo en comparación con sujetos neurotípicos, con porcentajes de clasificación cercanos al 100% en algunos casos.

Anuragi et al., (2021) elaboraron un estudio llamado **«Automated FBSE-EWT Based Learning Framework For Detection Of Epileptic Seizures Using Time-Segmented EEG Signals»** crearon un modelo para poder detectar automáticamente las convulsiones de la epilepsia por medio de análisis de señales de EEG.

Su objetivo fue crear un marco automatizado que les pudiera permitir a los profesionales de salud monitorizar y poder diagnosticar la epilepsia de manera más precisa. Emplearon el método FBSE-EWT, que es una combinación de Fourier y la transformada de wavelet. Lo cual les permitió una descomposición más rápida de las señales de EEG en sub-bandas estrechas y no solapadas. Así mismo usaron Relief-F para poder identificar y seleccionar características más relevantes de EEG.

Todas las implementaciones las hicieron en MATLAB R2016a, así mismo hicieron uso de algoritmos específicos como SVM (Support Vector Machine) k-NN (K-Nearest Neighbors) y Ensemble Bagged Tree, para poder tener las señales clasificadas. La contribución central de este proyecto fue la introducción y aplicación del método FBSE-EWT, una combinación innovadora de la serie de Fourier Bessel expandida (FBSE) y la transformada wavelet incrementalmente adaptativa (EWT).

Les permitió una descomposición más precisa de las señales de EEG en sub-bandas estrechas y no solapadas, proporcionando así una representación más rica de la información. Se exploraron dos estrategias de segmentación temporal de las señales de EEG, utilizando múltiples tamaños de marco, con el fin de adaptarse a la variabilidad en la duración de las convulsiones.

Representó un avance significativo en la detección automática de convulsiones epilépticas, sino que también destacó la eficacia del enfoque FBSE-EWT. Los resultados obtenidos, con una precisión del 100% en varios casos utilizando el conjunto de datos de EEG de Bonn y un 99.84% de precisión con el conjunto de datos de EEG de cuero cabelludo CHB-MIT, respaldan la validez y el potencial práctico del marco propuesto

Shaw et al., (2020) realizaron una investigación a la cual titularon como **«Early Identifications Of Autism Spectrum Disorder Among Children Aged 4 Years»** realizaron una vigilancia activa para estimar la prevalencia del Trastorno del Espectro Autista (TEA) entre niños de 4 años en seis áreas específicas de los Estados Unidos.

Utilizaron un enfoque de vigilancia activa, donde identificaron a los niños a través de registros de fuentes comunitarias, como clínicas de salud pediátrica, programas de educación

especial y programas de intervención temprana. Luego, realizaron evaluaciones exhaustivas utilizando criterios del Manual Diagnóstico y Estadístico de Trastornos Mentales, Quinta Edición (DSM-5).

El objetivo principal del proyecto fue estimar la prevalencia del TEA entre niños de 4 años en 2016 y monitorear la identificación temprana del TEA. También se buscó evaluar las tendencias a lo largo del tiempo y proporcionar información valiosa para profesionales de la salud, la educación, la política y la investigación. Además, se enfocaron en recopilar datos sobre la presencia de discapacidad intelectual co-ocurrente y la edad de evaluación y diagnóstico para niños con TEA.

Utilizaron un enfoque de vigilancia activa, revisando registros con códigos específicos de clasificación, como los de la Clasificación Internacional de Enfermedades, Novena y Décima Revisión (ICD-9 e ICD-10), así como registros de educación especial y programas de intervención temprana. Y revisaron los registros recopilados y llevaron a cabo evaluaciones completas utilizando criterios del Manual Diagnóstico y Estadístico de Trastornos Mentales, Quinta Edición (DSM-5). También se menciona que, en algunos lugares, más del 50% de los registros se revisaron utilizando criterios del DSM-IV-TR.

Se aplicaron criterios del DSM-5 para determinar si los comportamientos descritos en los registros eran consistentes con el diagnóstico de TEA. Se estableció una definición de caso de TEA basada en la revisión de los registros por parte de profesionales del Early ADDM Network.

Contribuyeron con estimaciones actualizadas de la prevalencia del TEA entre niños de 4 años en las áreas específicas de vigilancia, proporcionando datos valiosos para comprender la carga del TEA en la población infantil. Así mismo Contribuyeron al conocimiento sobre la co-ocurrencia de discapacidad intelectual en niños con TEA, con datos específicos sobre la prevalencia de esta co-ocurrencia en diferentes sitios.

Se estimó la prevalencia del TEA entre los niños de 4 años en las áreas de vigilancia seleccionadas. La prevalencia general fue de 15.6 por cada 1,000 niños. Se observó una

variabilidad considerable en las estimaciones de prevalencia, lo que podría reflejar diferentes niveles de éxito en la identificación comunitaria del TEA en diferentes ubicaciones.

Shams & Sagheer, (2020) realizaron una investigación la cual titularon como «**A Natural Evolution Optimization Based Deep Learning Algorithm For Neurological Disorder Classification**» su objetivo fue desarrollar un marco integral para clasificar la enfermedad de la epilepsia y la imaginación motora en el cerebro humano por medio de señales de EEG. Se centraron en la creación de una cadena de procesamiento de señales que abarcara desde el preprocesamiento de las señales hasta la clasificación de características haciendo uso de técnicas avanzadas de aprendizaje profundo y optimización evolutiva.

Para que su investigación se llevara a cabo hicieron uso de la herramienta de Matlab, utilizaron L1-PCS para poder mejorar la resolución espacial y el cociente señal-ruido de las señales de EEG. Aplicaron la transformada wavelet usando MODWT con filtro Daubechies así creando una descomposición de las señales en cinco bandas de frecuencia.

Los resultados experimentales demostraron que el marco propuesto, con la implementación de NEDL y la selección de características mediante ABC, superó a otros en términos de precisión de clasificación para dos conjuntos de datos de referencia. Se destacó la capacidad de la metodología propuesta para identificar áreas epileptógenas y se sugirió su aplicabilidad en entornos clínicos específicos, como unidades de cuidados neurointensivos. La investigación presentó contribuciones significativas a la literatura existente, proporcionando un enfoque novedoso y efectivo para el análisis de señales de EEG en el contexto de enfermedades neurológicas.

(Junwei et al., 2019) hicieron una investigación a la cual denominaron como «**Brain Computer Interface For Neurodegenerative Person Using Electroencephalogram**» realizaron un estudio que se centró en el desarrollo de una interfaz cerebro-computadora (BCI) basada en electroencefalograma (EEG) para personas con enfermedades neurodegenerativas. Utilizaron la actividad eléctrica del cerebro medida a través de electrodos en el cuero cabelludo para convertir pensamientos en comandos de control para una silla de ruedas.

La metodología implicó la adquisición de señales EEG de sujetos humanos realizando cuatro tareas mentales diferentes, la conversión de estas señales en formato digital, la aplicación de técnicas de extracción de características y la utilización de la Función de Base Radial (RBF) en una red neuronal para la clasificación de patrones.

El objetivo principal fue mejorar la calidad de vida de personas con enfermedades neurodegenerativas, permitiéndoles controlar dispositivos externos, como sillas de ruedas, a través de comandos generados por la actividad cerebral. La motivación detrás de este trabajo radicó en proporcionar una forma de comunicación más eficiente y directa para aquellos con limitaciones motoras, aprovechando la tecnología BCI.

Utilizaron un instrumento de amplificación bio (AD Power Lab T26) para adquirir señales EEG durante la ejecución de cuatro tareas mentales. Estas señales se procesaron digitalmente y se sometieron a técnicas de extracción de características, específicamente utilizando filtros Chebyshev para obtener 22 bandas de frecuencia. Luego, aplicaron la Función de Base Radial (RBF) en una red neuronal para la clasificación de patrones. Implementaron la BCI en una silla de ruedas, conectando las señales de control generadas a través de la interfaz al hardware de la silla de ruedas.

Utilizaron el instrumento AD Power Lab T26 para adquirir señales EEG, filtros Chebyshev2 para la extracción de características, y la Función de Base Radial (RBF) en una red neuronal para la clasificación de patrones. Además, emplearon un controlador basado en FRDM-KL25Z y una interfaz de puerto serie para la comunicación con la plataforma de desarrollo Free scale Freedom.

La contribución principal fue el desarrollo exitoso de una BCI basada en EEG para controlar una silla de ruedas, permitiendo a personas con enfermedades neurodegenerativas utilizar sus pensamientos para dirigir el movimiento de la silla. La combinación de técnicas de extracción de características y la implementación de la red neuronal RBF demostró una precisión significativa en la clasificación de patrones mentales, mostrando la viabilidad de este enfoque para mejorar la movilidad de las personas con discapacidades motoras.

Se demostró que los sujetos entrenados tuvieron un mejor rendimiento que los nuevos sujetos, y se identificaron posibles limitaciones, como la dificultad de cambio de estado en un sujeto específico. La investigación validó la capacidad de las BCIs basadas en EEG para convertir pensamientos en comandos de control efectivos, abriendo perspectivas para futuras mejoras en términos de precisión y confiabilidad mediante estudios adicionales con un mayor número de usuarios.

Acharya et al., (2019) realizaron una investigación al cual nombraron como **«Characterization of focal EEG signals: a review»** hicieron un estudio para poder evaluar el rendimiento de nuevas características no lineales en la diferenciación de dos tipos de señales de EEG: las no focales (NF) y las focales (F). Utilizaron señales de EEG obtenidas de la base de datos EEG Bern-Barcelona, que consiste en datos de cinco pacientes con epilepsia que fueron sometidos a grabaciones de EEG intracraneal a largo plazo.

El objetivo principal fue desarrollar un sistema de detección asistida por computadora (CAD) que pudiera identificar de manera eficaz las señales de EEG focales y no focales. El propósito subyacente era proporcionar una herramienta clínica para ayudar en la detección objetiva de áreas afectadas por epilepsia y ofrecer una segunda opinión en entornos clínicos.

Se utilizó la base de datos EEG Bern-Barcelona, que contiene señales de EEG de pacientes con epilepsia. Extrajeron nueve características no lineales de las señales de EEG, incluyendo análisis de fluctuación desprendida (DFA), entropías, dimensión fractal (FD), Hjorth, Hurst exponent, y complejidad de Kolmogorov. Utilizaron métricas como precisión, sensibilidad y especificidad para evaluar el rendimiento del sistema CAD.

Crearon un sistema de detección asistida por computadora (CAD) que demostró ser efectivo en la diferenciación entre señales de EEG focales y no focales. Se identificaron características no lineales, como MMSE, entropías y características de RQA, que fueron particularmente útiles para la clasificación. Propusieron gráficos no lineales específicos para ayudar en la discriminación visual entre las dos clases de señales de EEG.

El estudio concluyó que las características no lineales utilizadas, junto con el clasificador LS-SVM, proporcionaron una precisión máxima del 87.93% en la diferenciación de señales de EEG focales y no focales. El modelo CAD desarrollado tiene el potencial de ser una herramienta valiosa en entornos clínicos, ofreciendo una segunda opinión objetiva en la identificación de áreas afectadas por epilepsia.

Tawheed et al., (2021) llevó a cabo una investigación al cual nombró como **«Development Of A Low-Cost-Based Single-Channel EEG Acquisition System For Educational And Research Purpose»** Desarrollaron un sistema de adquisición de EEG de un solo canal utilizando componentes de bajo costo y accesibles localmente.

Este sistema fue diseñado para ser utilizado con fines educativos e investigativos, proporcionando a los estudiantes una herramienta asequible para trabajar con señales cerebrales. El objetivo principal fue crear un dispositivo EEG de bajo costo que pudiera ser utilizado en entornos educativos y de investigación. Buscaban superar las barreras económicas que a menudo limitan el acceso a dispositivos EEG para estudiantes y entusiastas de la investigación.

Se utilizó electrodos Ag/Ag-Cl para la adquisición de señales cerebrales en la ubicación FP1 según el sistema internacional 10-20. Implementaron un amplificador de instrumentación (AD620) y filtros para procesar la señal EEG. La interfaz con la PC se realizó a través de un Arduino Uno, y la visualización y análisis de datos se llevaron a cabo utilizando MATLAB.

La contribución principal fue el desarrollo de un sistema de adquisición de EEG asequible y accesible, permitiendo a los estudiantes y entusiastas de la investigación trabajar con señales cerebrales sin incurrir en costos significativos. Además, proporcionaron una alternativa de bajo costo en comparación con los dispositivos EEG comerciales.

Se emplearon electrodos desechables Ag/Ag-CL para capturar las señales cerebrales, junto con un amplificador de instrumentación AD620 Se incorporó un filtro de paso alto de cuarto orden para destacar las bandas de frecuencia de interés, y la interfaz con la PC se logró mediante una placa Arduino Uno. El software MATLAB se utilizó para visualizar y analizar las señales EEG adquiridas.

El sistema desarrollado podía registrar con éxito señales EEG, como el ritmo alfa durante el cierre de ojos y los parpadeos. Destacaron la utilidad del sistema para estudiantes que deseen aprender procesamiento y análisis básico de señales EEG. Además, mencionaron planes para futuras mejoras, como la expansión a un sistema inalámbrico y la posibilidad de aplicaciones avanzadas, como el control de dispositivos o sistemas de seguridad basados en EEG.

Los autores Aljshamee et al., (2020) realizaron una investigación que fue titulada como **«(Portable) Low-Cost Electroencephalogram (EEG) Recorder For Brain Computer Interface (BCI)»** desarrollaron un sistema portátil de electroencefalograma de bajo costo en una interfaz cerebro-computadora (BCI). Probaron y validaron un amplificador, filtros y un adquisidor de datos digitales. Lograron la comunicación USB para su operación independiente, pero señalan que la plataforma completa aún está en las primeras etapas de desarrollo.

El objetivo principal del estudio fue evolucionar el circuito completo y evaluar la funcionalidad del diseño de filtros digitales. Además, se propuso una nueva técnica que depende de la adquisición de datos de EEG de muy bajo costo al recopilar una señal cruda. Se centraron en el uso de un amplificador diferencial de bajo costo con dos electrodos de canal EEG y diseñaron filtros digitales utilizando el método Sallen-Key, destacando su diseño como uno de los más económicos.

Se implementó un amplificador diferencial y filtros digitales utilizando el método Sallen-Key. Utilizaron un microcontrolador de código abierto (Arduino Nano) para el diseño de hardware/software. Realizaron experimentos con sujetos para grabar señales EEG en situaciones de ojos cerrados y ojos abiertos. Evaluaron la respuesta a estímulos visuales mediante LEDs con diferentes frecuencias. Aplicaron técnicas de procesamiento de señales como la Transformada Rápida de Fourier (FFT) y el análisis tiempo-frecuencia.

Realizaron con éxito un sistema de EEG portátil de bajo costo basado en BCI, destacando la eficiencia de su diseño de filtros. Propusieron una nueva técnica que permite la adquisición de datos EEG a un costo muy bajo mediante la recopilación de señales crudas. Demostraron la

viabilidad de su diseño como un sistema BCI independiente y destacaron su potencial para el desarrollo futuro como una unidad integral en línea.

El diseño mostró resultados prometedores como un sistema BCI independiente y demostró ser práctico para el desarrollo futuro como una unidad integral en línea. A pesar de las limitaciones actuales, como la falta de desarrollo en la fuente de alimentación y la necesidad de procesamiento de señales fuera de línea, el estudio destaca el potencial de su enfoque y su contribución al campo de las interfaces cerebro-computadora.

Grossi et al., (2021) realizaron una investigación lleva como título «**Detection of an Autism EEG Signature From Only Two EEG Channels Through Features Extraction and Advanced Machine Learning Analysis**» crearon un estudio para explorar la capacidad de detectar el trastorno del espectro autista (TEA) en niños utilizando datos de electroencefalografía (EEG). En estudios previos, demostraron que sistemas de aprendizaje automático aplicados a datos EEG podían distinguir niños con TEA de niños sin TEA con una alta precisión. Sin embargo, en este estudio, se exploró la posibilidad de lograr un rendimiento similar utilizando solo dos derivaciones de EEG, específicamente los canales C3 y C4.

Seleccionaron un segmento continuo de datos EEG sin artefactos de 1 minuto de duración de los canales C3 y C4 de estudios anteriores. Se aplicó un paquete de software de extracción de características (Python tsfresh) a los datos de series temporales para calcular 1588 características cuantitativas. Se utilizó un sistema híbrido especial llamado TWIST (Training with Input Selection and Testing) que combinaba un algoritmo evolutivo llamado Gen-D con una red neuronal de retro propagación para seleccionar las características más informativas y dividir el conjunto de datos en conjuntos de entrenamiento y prueba.

El objetivo principal fue investigar si era posible lograr un rendimiento similar en la detección de TEA utilizando solo dos derivaciones de EEG (C3 y C4), en comparación con estudios anteriores que emplearon un mayor número de derivaciones. Además, se buscó evaluar la utilidad de un sistema de aprendizaje automático para detectar el TEA en casos específicos de estudio.

El estudio propone un enfoque al utilizar solo dos derivaciones de EEG para detectar el TEA, lo cual podría ser relevante en entornos clínicos donde los recursos y el equipo disponible son limitados. La introducción del sistema TWIST y la aplicación de técnicas avanzadas de aprendizaje automático contribuyen a la metodología empleada para la detección temprana del TEA.

Los resultados sugirieron que incluso una parte de los datos de EEG contiene información valiosa que, cuando se procesa con algoritmos computacionales avanzados, puede ser útil para detectar el autismo. La capacidad de lograr una precisión del 100% en la detección de TEA en ciertos casos (estudio 1) y un 94.95% en otros casos (estudio 2) utilizando solo dos derivaciones es prometedora. Esto podría abrir la puerta a futuros estudios que exploren la posibilidad de utilizar datos estándar de EEG en recién nacidos para verificar la presencia de la firma del TEA desde el nacimiento.

(Newson & Thiagarajan, 2018) denominaron al siguiente estudio como «**EEG Frequency Bands in Psychiatric Disorders: A Review of Resting State Studies**» realizaron una revisión que abarcó estudios de electroencefalografía (EEG) publicados en los últimos 25 años, explorando diferencias en las bandas de frecuencia del espectro de potencia entre individuos con diversos trastornos psiquiátricos y controles. Se enfocaron en trastornos como TDAH, esquizofrenia, depresión, trastorno bipolar, ansiedad, trastorno de pánico, autismo, TEPT, TOC y adicción.

El objetivo principal fue determinar patrones en las diferencias de la actividad eléctrica cerebral en reposo (estado de ojos abiertos y cerrados) entre individuos con trastornos psiquiátricos y controles. Buscaron identificar si existían características específicas en las bandas de frecuencia que fueran comunes o distintivas entre diferentes trastornos, contribuyendo así al conocimiento sobre las bases neurofisiológicas de los trastornos psiquiátricos.

La contribución principal de este trabajo es proporcionar un panorama detallado y analítico de las diferencias en las bandas de frecuencia del EEG en reposo en una variedad de trastornos psiquiátricos. Identificaron patrones comunes y específicos de cada trastorno, destacando la consistencia y la variabilidad en los resultados. Además, resaltaron la importancia

de considerar la diversidad metodológica y las limitaciones al interpretar los resultados de estudios individuales.

La revisión destaca que, aunque hay patrones distintivos en la actividad cerebral en reposo para algunos trastornos, como aumentos en las bandas de baja frecuencia (delta y theta) y disminuciones en las bandas de alta frecuencia (alfa, beta, gamma) en trastornos como TDAH, esquizofrenia y TOC, hay una variabilidad significativa y falta de patrones específicos en otros trastornos. Advierten sobre las limitaciones metodológicas y la necesidad de interpretar con precaución los resultados de estudios individuales.

García-Monge et al., (2020) denominaron al siguiente estudio como «**Brain Activity during Different Throwing Games: EEG Exploratory Study**» el objetivo del estudio fue explorar las diferencias en la actividad cerebral durante tres tipos de juegos de lanzamiento (lanzamiento simple, lanzamiento hacia un objetivo y lanzamiento simultáneo con otro jugador) mediante registros encefalográficos (EEG). Se buscó comprender cómo varía la actividad cerebral en contextos de juegos físicos.

Se propusieron tres condiciones de juego: "Lanzamiento", "Objetivo" y "Simultáneo". Cada una implicaba desafíos específicos, como lanzar a un objetivo móvil o lanzar simultáneamente con otro jugador. Participaron niños en el estudio, realizando cada juego en sesiones aisladas. Se utilizó un casco EEG Emotiv EPOC con 16 electrodos para registrar la actividad cerebral de los participantes.

Se utilizaron herramientas como Emotiv Brain Activity Map y Emotiv TestBench para realizar un análisis preliminar de los datos. La herramienta EEGLAB se empleó para el preprocesamiento y análisis de los datos de EEG. Se encontraron diferencias significativas en la potencia de alta beta entre las condiciones de juego. La condición de "Lanzamiento" mostró valores bajos en el espectro beta en comparación con las condiciones de "Objetivo" y "Simultáneo".

Las diferencias en la actividad cerebral entre las condiciones de juego sugieren que cada juego introduce a los jugadores en una lógica particular y provoca experiencias únicas. Se

plantean preguntas sobre la generalización del término "juego" y se sugiere la necesidad de investigaciones futuras para comprender mejor las demandas cerebrales en diferentes contextos de juego

Los autores Yang et al., (2020) «**Challenges in Scaling Down of Free-Floating Implantable Neural Interfaces to Millimeter Scale**» desarrollaron una serie de interfaces neurales implantables, con un enfoque en implantes de tamaño miniatura.

Crearon interfaces neurales implantables de tamaño miniatura con el objetivo de explorar las funciones del sistema nervioso en aplicaciones de investigación y clínicas. Buscaron transformar la manera en que se abordan los trastornos neurológicos y psicológicos, ofreciendo nuevas oportunidades y esperanzas para el tratamiento de enfermedades antes consideradas intratables.

Se detectó la importancia y las aplicaciones prometedoras de los implantes neurales miniaturizados, centrándose en la viabilidad clínica, la reducción de perturbaciones corporales y la respuesta inmunológica reducida.

Utilizaron avances en microelectrónica, semiconductores y tecnología nano/micro para desarrollar implantes a escala milimétrica. Estos dispositivos miniaturizados fueron diseñados para ser implantados en el cuerpo con el objetivo de monitorizar y estimular funciones neuronales de manera más eficiente y menos invasiva.

En términos de comunicación, se implementó métodos de transmisión de datos inalámbrica, empleando técnicas como modulación de amplitud (ASK), modulación de frecuencia (FSK) y modulación de fase (PSK). La transmisión de datos se dividió en dos direcciones: desde el dispositivo externo al implante (enlace descendente o telemetría hacia adelante) y desde el implante al dispositivo externo (enlace ascendente o telemetría hacia atrás).

Se empleó la miniaturización de dispositivos mediante avances en microelectrónica, semiconductores y tecnología nano/micro para desarrollar implantes de tamaño milimétrico. Destacaron la falta actual de implantes neurales a escala de milímetros clínicamente viables y adecuados para un uso a largo plazo.

Concluyeron resaltando la transformación potencial que los sistemas de implantes neurales miniaturizados podrían brindar en el abordaje de desafíos asociados con el sistema nervioso. Destacaron la importancia de superar desafíos pendientes para lograr aplicaciones clínicas e investigativas emocionantes en el futuro.

Sudirman et al., (2018) elaboraron el siguiente estudio, el cual lleva como nombre «**Profile Indicator for Autistic Children Using EEG Biosignal Potential of Sensory Tasks**» su objetivo principal fue explorar la relación entre la capacidad cognitiva y la respuesta sensorial en niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA) mediante el uso de la electroencefalografía (EEG). La EEG, al medir los voltajes generados por las actividades neurales en el cerebro, se presentó como una técnica no invasiva y segura para los niños, lo que la convierte en una herramienta recomendada para el diagnóstico de problemas neurológicos.

La metodología del estudio implicó la recopilación de datos de EEG crudos de 64 niños, de los cuales 34 tenían TEA y 30 eran niños sin el trastorno. Se llevaron a cabo experimentos con cinco tipos de respuestas sensoriales: posición o movimiento, gusto, sonido, tacto y vista. Estos estímulos fueron elegidos cuidadosamente para ser aceptables para niños autistas de edades comprendidas entre 3 y 7 años.

El preprocesamiento de los datos EEG incluyó la eliminación de artefactos y la reducción de ruido utilizando Independent Component Analysis (ICA) a través del software EEGLAB. Posteriormente, se aplicó la Transformada Wavelet Discreta (DWT) para descomponer las señales de EEG y extraer características en puntos de electrodos seleccionados. Entre estas características se incluyeron la media, la desviación estándar y la entropía aproximada, utilizada para evaluar la complejidad de las series temporales de EEG.

Los resultados que obtuvieron destacaron que los niños con TEA mostraron una mayor respuesta sensorial al sabor salado y una respuesta táctil más moderada debido a la disposición de los participantes a sostener objetos dados. La respuesta visual fue menor, indicando una falta de atención en niños con TEA. Además, la entropía aproximada reveló una mayor complejidad en la respuesta al sabor salado, indicando dificultades para aceptar este estímulo.

En la etapa de análisis, se implementó un algoritmo de redes neuronales en MATLAB, evaluando diferentes configuraciones para clasificar los datos. La precisión alcanzada fue del 90.6%, aunque el error cuadrático medio (MSE) fue relativamente alto, posiblemente debido al gran número de características y al número limitado de muestras para la red neuronal.

La contribución principal de este estudio radica en proporcionar insights sobre las diferencias en las respuestas sensoriales entre niños con y sin TEA, lo que podría informar el desarrollo de estrategias de intervención más efectivas y personalizadas en el futuro. Sin embargo, se reconoce la necesidad de investigaciones adicionales para perfeccionar la combinación de métodos y mejorar la generalización de los datos, maximizando así el potencial de la EEG como un método confiable para el diagnóstico del autismo.

Wang et al., (2021) llevaron a cabo un estudio y lo denominaron «***Differences in EEG Microstate Induced by Gaming: A Comparison Between the Gaming Disorder Individual, Recreational Game Users and Healthy Controls***» Los investigadores llevaron a cabo un estudio con el objetivo de explorar la viabilidad de utilizar parámetros de microestados del electroencefalograma (EEG) como indicadores de adicción al juego.

Su enfoque se centró en comprender cómo el comportamiento de juego afecta los patrones de actividad cerebral y si estas influencias difieren entre diferentes grupos de individuos, específicamente aquellos con trastorno del juego (GD), usuarios recreativos de juegos (RGU) y controles sanos (HC).

En el marco del estudio, se reclutaron 38 participantes que fueron evaluados mediante entrevistas orales, cuestionarios sobre salud mental, inventarios de depresión y ansiedad, así como escalas de adicción al juego. Los participantes se dividieron en tres grupos según criterios específicos: GD, RGU y HC. Se adquirieron datos de EEG en estado de reposo antes y después de una sesión de juego de 30 minutos, utilizando un sistema de registro EEG de 64 canales. Para el procesamiento de datos, se aplicaron técnicas como re-referenciación, filtrado y eliminación de artefactos mediante Análisis de Componentes Independientes (ICA).

Los resultados del estudio revelaron que no existían diferencias significativas en los parámetros de microestados del EEG entre los tres grupos antes de jugar. Sin embargo, después de la sesión de juego, se observaron diferencias significativas en algunos parámetros de microestados, como los asociados a los microestados B y D, entre los grupos. Se sugirió que el impacto de la adicción al juego en el cerebro podría ser menos profundo que el de la adicción a sustancias, manifestándose principalmente tras la activación asociada al juego.

Las contribuciones del estudio incluyó la aportación de la primera evidencia de una modificación del microestado después de la interferencia del comportamiento de juego. Además, se propuso que los parámetros de microestados B y D podrían ser utilizados como marcadores de EEG para distinguir la adicción al juego. Los hallazgos contribuyeron a la comprensión de cómo el comportamiento de juego afecta la actividad cerebral y la organización de las redes cerebrales, y también señalaron la posibilidad de que incluso los no adictos tengan el potencial de desarrollar trastorno del juego.

Los autores Chrisilla et al., (2021) realizaron una investigación la cual titularon **«Investigating Cognitive Global Coordination in normal and autistic children using virtual reality environments – An EEG Study»** Los investigadores llevaron a cabo un estudio con el objetivo de evaluar el impacto de la Realidad Virtual (RV) en el aprendizaje y la conectividad cerebral de niños tanto autistas como neurotípicos.

La motivación detrás de este trabajo radicó en la idea de que el cerebro de los niños puede ser afectado por cambios estructurales, volúmenes o anomalías durante el embarazo o el crecimiento, lo que podría dar lugar a trastornos del neurodesarrollo, afectando el comportamiento y las habilidades de comunicación.

Implementaron entornos de RV personalizados, diseñados específicamente para las características del autismo, con el propósito de entrenar a los niños. Estos entornos incluyeron tareas como aprender los días de la semana, actividades de la vida diaria (ADL) y entornos de aula, entre otros. Para evaluar los efectos de la RV, se registraron señales de EEG de tres niños neurotípicos y tres niños autistas. Las señales se filtraron utilizando un filtro de paso de banda

Butterworth y se separaron en cinco sub-bandas: delta, theta, alfa, beta y gamma. Se aplicaron parámetros de conectividad cerebral, como Causalidad de Granger (GC) y Entropía de Transferencia (TE), para analizar la coordinación global y el flujo de información entre diferentes regiones del cerebro.

La contribución principal de este estudio radicó en la aplicación de la RV como una herramienta interactiva y personalizada para el aprendizaje de niños con trastornos del neurodesarrollo. A diferencia de los métodos convencionales, la RV mostró mejoras significativas en la conectividad cerebral, especialmente en la banda beta, indicando una mayor atención visual durante la terapia de RV. Además, el estudio presentó una evaluación cuantitativa de los cambios en el cerebro mediante el registro simultáneo de EEG, ofreciendo una perspectiva más completa sobre los efectos de la RV en comparación con las evaluaciones conductuales tradicionales.

El estudio concluyó que la RV puede ser una herramienta efectiva para mejorar el comportamiento y las habilidades de aprendizaje en niños con trastornos del neurodesarrollo. Los resultados sugieren que la RV puede tener un impacto positivo en la conectividad cerebral.

2.2 PROBLEMÁTICA

El trastorno del espectro autista (TEA) es una compleja condición neurológica que emerge en la infancia, donde factores genéticos y no genéticos contribuyen al desarrollo. Según la OMS, se caracteriza por deficiencias en habilidades sociales y comunicativas, comportamientos repetitivos y diferencias en la percepción sensorial (*Autismo*, 2023). Se observa una prevalencia más alta en niños que en niñas. Según estimaciones, la proporción es de alrededor de 4 niños por cada niña con TEA además el TEA ha aumentado, variando entre 0.5 y el 1% (Yáñez et al., 2021)

Los trastornos psiquiátricos y conductuales son comunes en individuos con TEA y tienen un impacto significativo. Investigaciones recientes han revelado conexiones frecuentes entre el TEA y diversos problemas como irritabilidad, agresión, autolesiones, TDAH, ansiedad, trastorno obsesivo compulsivo, disforia de género, trastornos del estado de ánimo, tendencias suicidas, uso de sustancias, catatonia, psicosis y trastornos del espectro de la esquizofrenia. La superposición

de síntomas de estos trastornos con las características fundamentales del TEA presenta desafíos diagnósticos (Genovese & Ellerbeck, 2022).

Las actividades recreativas pueden tener un impacto significativo en el desarrollo cognitivo de niños con y sin Trastorno del Espectro Autista (TEA). Estas actividades fomentan el desarrollo físico, sino que también ofrecen oportunidades para mejorar habilidades cognitivas, sociales y emocionales. En el caso de niños con TEA, las actividades recreativas adaptadas pueden desempeñar un papel crucial en el desarrollo de habilidades sociales y emocionales, contribuyendo así a su bienestar general.

La mayoría de las investigaciones basada en el estudio de señales de EEG en niños con autismo se centran solamente en el diagnóstico del trastorno lo que resalta una escasez de investigaciones para la falta de comprensión detallada sobre la influencia de las actividades recreativas afectan en las ondas cerebrales en niños, especialmente en aquellos con trastorno del espectro autista. La literatura existente ofrece información limitada en este contexto, destacando la necesidad de explorar en profundidad esta relación para mejorar la calidad de vida y el desarrollo de los niños con TEA.

2.3 IMAGEN INTEGRADORA

Existe una abundancia de literatura que aborda el funcionamiento cerebral en individuos con Trastorno del Espectro Autista (TEA); no obstante, se observa una falta significativa de estudios EEG que analicen el comportamiento de personas autistas durante la participación en actividades recreativas. Esta ausencia en la investigación impide una comprensión completa de las diferencias neuronales entre los grupos de individuos con TEA y aquellos con un desarrollo típico. Por lo tanto, resulta importante abordar esta falta de estudio para avanzar en la comprensión de los mecanismos cerebrales subyacentes a los comportamientos autistas durante las actividades recreativas.

La utilización de OpenBCI se presenta como una solución para la implementación de este proyecto de investigación. Además, se prevé aprovechar otras herramientas de análisis de datos, como Matlab y Minitab, para llevar a cabo un examen de los resultados obtenidos. Este enfoque

tecnológico integral permitirá una exploración más completa y rigurosa de las diferencias en las señales neuronales entre los grupos estudiados.

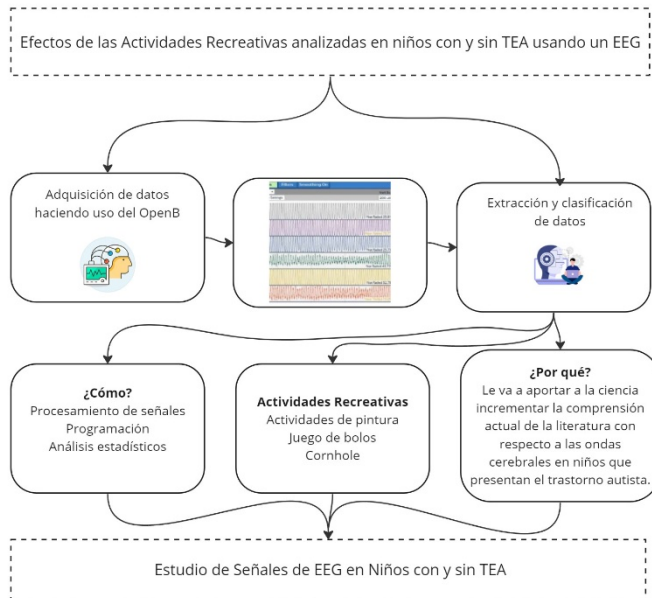


Ilustración 1. Imagen integradora

Fuente: Elaboración propia

2.4 LIMITACIONES

Tabla 1. Limitantes de estudios pasados

Autores	País del estudio	Enfoque del estudio	Tipo de limitación	Detalles de limitación
Habeb et al. 2019	Emiratos Árabes Unidos	Análisis del comportamiento para niños con TEA	Pequeña cantidad de muestra	Se llevó a cabo un número muy limitado de participantes lo cual afecto la validez externa del estudio.
Bouallegue et al. 2020	Túnez	Mejora del diagnóstico de enfermedades neurológicas usando EEG	Interpretación de datos	La interpretación de los resultados de la inteligencia artificial puede ser compleja y en la explicación de cómo el modelo toma decisiones.
Haputhanthri et al. 2019	Sri Lanka	Un enfoque Automatizado mediante Reducción de Canales en EEG y	Menos capacidad para detectar patrones sutiles	La reducción de canales hizo que el sistema fuera menos sensible a patrones sutiles en la actividad cerebral.

Combinación con
Imágenes Térmicas

Zhao et al. 2021	China	Características no lineales de EEG en niños con TEA y sin TEA	Sensibilidad al ruido	Al ser características no lineales afectó en las señales debido a que el ruido afectó y lograron filtrarlas.
---------------------	-------	---	-----------------------	--

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Limitaciones de estudios pasados

Autores	País del estudio	Enfoque del estudio	Tipo de limitación	Detalles de limitación
Djermal et al., 2019	Arabia Saudita	Desarrollo de un sistema de diagnóstico asistido por computadora para el TEA	Diversidad del grupo de la muestra	La diversidad dentro del grupo autista se encontró distorsionada en género, edad y gravedad del trastorno.

Alturki et al., 2020	Arabia Saudita	Desarrollo de un sistema para diagnosticar 3 tipo de trastornos neurológicos	Selección de características	La elección de las características que se extrajeron de las sub-bandas de EEG afecto en la capacidad de modelo para generalizar nuevos datos.
Anuragi et al., 2021	India	Desarrollo de un marco automatizado para la detección de convulsiones epilépticas utilizando señales de EEG.	Uso de señales de EEG de un solo canal	El modelo que se evaluó solo utilizó un canal, a pesar de que el conjunto de datos CHB-MIT proporciona datos de múltiples canales, esta elección limita la capacidad del modelo para aprovechar la información de múltiples canales.
Shaw et al., 2020	Estados Unidos	Vigilancia activa para estimar la prevalencia del Trastorno del Espectro Autista	Vigilancia activa	Se utilizó un método de vigilancia activa, lo que significa que se llevó a cabo una búsqueda activa de casos de TEA en lugar de depender únicamente de informes espontáneos.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Limitaciones de estudios pasados

Autores	País del estudio	Enfoque del estudio	Tipo de limitación	Detalles de limitación
Shams & Sagheer, 2020	Egipto	Desarrollo de un marco integral para la clasificación de la enfermedad de la epilepsia y la imaginación motora en el cerebro humano.	Tamaño de la muestra	El tamaño de los participantes que se seleccionó fue muy pequeño.
Junwei et al., 2019	India	Adquisición de señales EEG de sujetos realizando cuatro tareas mentales diferentes.	Falta de entrenamiento al paciente	Ningún paciente se entrenó ante las actividades que debían de realizar.
Acharya et al., 2019	Singapur	Caracterización de señales de (EEG) con el objetivo de diferenciar entre 2 señales: las	Base de datos utilizada	Se usó una base de datos que limitaba a pacientes con epilepsia del lóbulo temporal farmacorresistente.

focales (F) y las no focales (NF).

Tawheed et al., 2021	India	Desarrollo de un "Sistema de Adquisición de EEG de un solo Canal Basado en Bajo Costo	Número de canales	Un sólo canal limita la capacidad de capturar información detallada de diversas regiones cerebrales.
----------------------	-------	---	-------------------	--

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Limitaciones de estudios pasados

Autores	País del estudio	Enfoque del estudio	Tipo de limitación	Detalles de limitación
Aljshamee et al., 2020	India	Desarrollo de un sistema portátil de EEG integrando una interfaz cerebro computadora (BCI)	Falta de desarrollo en la fuente de alimentación	Falta de desarrollo en la fuente de alimentación lo cual afectó la portabilidad y autonomía del sistema.

Grossi et al., 2021	Italia	Detección del TEA utilizando EEG por medio de solo dos derivaciones	Uso de la técnica de clustering	Aunque es una técnica muy útil esta dependió de varios parámetros y suposiciones subyacentes.
Newson & Thiagarajan, 2018	Estados Unidos	Diferencias de bandas de frecuencia del espectro de potencia del EEG	Diversidad del grupo de la muestra	La diversidad dentro del grupo autista se encontró distorsionada en cuanto a género, edad y gravedad del trastorno.
García-Monge et al., 2020	España	Diferencias en la actividad cerebral durante tres tipos de juegos de lanzamiento	Tipo de juegos realizados	Los juegos que se seleccionaron no mostraron muchos cambios en las señales, necesitaban más complejidad.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Limitaciones de estudios pasados

Autores	País del estudio	Enfoque del estudio	Tipo de limitación	Detalles de limitación
----------------	-------------------------	----------------------------	---------------------------	-------------------------------

Yang et al., 2020	Estados Unidos	Desarrollo y análisis de interfaces neurales	Falta de implantes neuronales	Se destacó la falta actual de implantes neuronales a escala de milímetros clínicamente viables.
Sudirman et al., 2018	Malasia	Relación entre la capacidad cognitiva y la respuesta sensorial	Uso de la transformada de Wavelet Discreta	Se tuvo una sensibilidad a la duración de las señales de EEG.
Wang et al., 2021	China	Evaluación de señales post-juego en EEG	Estado de reposo analizado	Sólo se analizó el EEG en estado de reposo de 1 minuto antes y después de jugar.
Chrisilla et al., 2021	Italia	Evaluación de realidad virtual en el aprendizaje y la conectividad cerebral	Variabilidad en la adopción de la RV	Los participantes tuvieron problemas para adaptarse y participar de manera efectiva en la terapia de RV.

Fuente: Elaboración propia

III. OBJETIVOS

En este capítulo se examinan investigaciones que han explorado el desarrollo y los progresos en este campo de estudio, destacando los aportes fundamentales que han promovido y facilitado avances significativos en la comprensión de la actividad del cerebro y las técnicas necesarias para estudiarla.

3.1 OBJETIVO GENERAL

Investigar la influencia de las actividades recreativas en la modulación de las ondas cerebrales en niños con y sin Trastorno del Espectro Autista (TEA), utilizando el sistema de electroencefalografía (EEG), con el fin de comprender cómo estas actividades afectan el desarrollo cognitivo y neurológico de ambos grupos.

3.2 OBJETIVO ESPECIFICO

- Seleccionar y diseñar actividades recreativas apropiadas para niños con y sin Trastorno del Espectro Autista (TEA), considerando sus necesidades y preferencias individuales.
- Evaluar las señales cerebrales obtenidas de niños con y sin TEA utilizando técnicas estadísticas y de procesamiento de señales, con el fin de identificar diferencias significativas en la modulación neuronal durante las actividades recreativas.
- Comparar los parámetros neuronales obtenidos de ambos grupos y la frecuencia de las señales cerebrales, para identificar posibles diferencias en la actividad neuronal.
- Analizar cómo estas actividades pueden influir en el desarrollo cognitivo y emocional de ambos grupos.

IV. MÉTODOS

Para el siguiente capítulo se examina la metodología de la investigación, el cual su enfoque es mixto (Cualitativo, explicativo y descriptivo) y se centra en la relación existente de la actividad cerebral en niños con desarrollo tipo y del espectro autista. Así mismo se detallan cuáles fueron los objetivos del método y que instrumento o técnica se utilizó para llevar a cabo el proceso.

4.1 ENFOQUE

La investigación se centra en el análisis de patrones de ondas cerebrales en niños con y sin Trastorno del Espectro Autista (TEA) durante actividades recreativas, utilizando el sistema de electroencefalografía (EEG). El objetivo primordial es comprender cómo estas actividades afectan el desarrollo cognitivo y neurológico en ambos grupos. Teniendo en cuenta que los niños con TEA tienen una formación anatómica diferente a los niños con desarrollo típico (DT), por eso se considera como un "trastorno" ya que su cerebro es más grande y esto se debe a que ellos tienen una poda neuronal diferente a las personas con desarrollo típico.

La aplicación de técnicas estadísticas y de procesamiento de señales permite comparar las señales cerebrales, identificando posibles diferencias en la modulación neuronal. Es un enfoque cualitativo ya que la adquisición de las señales se logró gracias a el software OpenBCI, las respuestas de estas señales se obtuvieron en valores numéricos. Adoptó un enfoque experimental con el propósito de examinar de manera sistemática el impacto de las actividades recreativas en las señales cerebrales de niños con y sin TEA. Y es un alcance descriptivo ya que se describió cada señal que fue adquirida brindando un diagnóstico concreto.

Es un enfoque no probabilístico ya que permite un mayor control sobre la selección de los sujetos de estudio, lo que es fundamental cuando se buscó una muestra específica que cumpla con ciertos criterios de inclusión y exclusión. En el caso de este estudio, se buscaba comparar específicamente el rendimiento de niños con y sin Trastorno del Espectro Autista (TEA) en actividades recreativas, por lo que fue crucial seleccionar participantes que se ajustaran a estos

perfiles. Además, al utilizar un enfoque no probabilístico, se logra buscar una mayor homogeneidad en la muestra, lo que facilita la comparación entre los grupos de estudio.

Un diseño transversal permite obtener datos de ambos grupos de manera simultánea, lo que facilita la comparación directa y la identificación de posibles diferencias entre ellos en un tiempo relativamente corto.

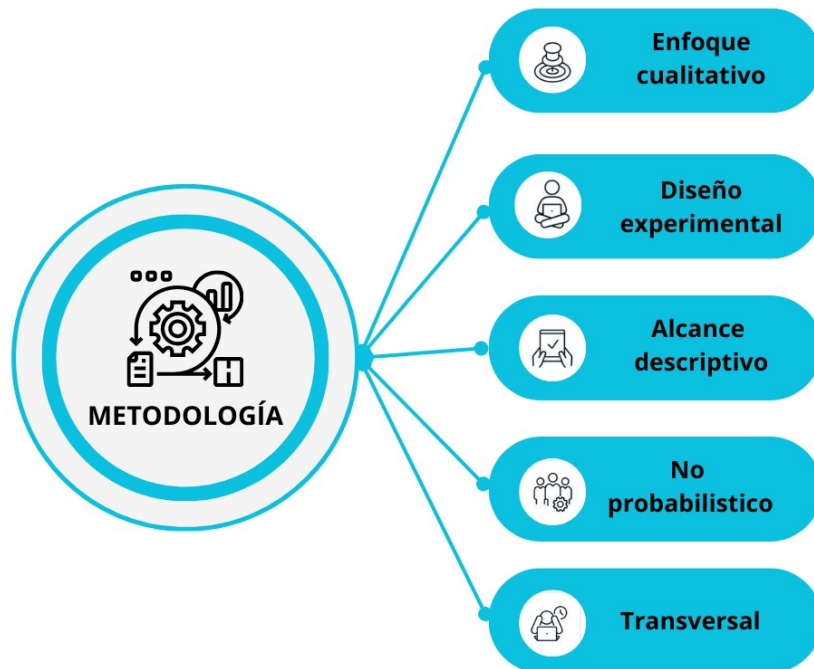


Ilustración 2. Metodología

Fuente: Elaboración propia

4.2 OBJETIVO DEL MÉTODO

En la tabla de objetivo del método se proporciona una descripción resumida de los pasos y herramientas involucrados en el procesamiento y análisis de señales cerebrales de pacientes pediátricos. La tabla se divide en tres columnas principales. En la columna de métodos se describe el paso específico del proceso de análisis de señales cerebrales. En la tabla de instrumento o técnica esa columna enumera las herramientas o técnicas específicas utilizadas para lograr el objetivo de cada paso.

Tabla 6. Objetivo del método

Método	Objetivo	Instrumento o técnica
Procesamiento de señales	Para una mejor visualización se debe de filtrar ruido e interferencia en el procesamiento	Matlab
Obtención de señales	Obtener y registrar con precisión la actividad cerebral de cada paciente pediátrico	OpenBCI
Análisis estadísticos	Por medio de los parámetros proporcionados hacer un análisis estadístico	Minitab

Fuente: Elaboración propia

4.3 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Se analizaron variables fundamentales para el análisis de la salud neuronal en pacientes con el Trastorno de Espectro Autista y pacientes con Desarrollo Típico. Para que el proyecto de investigación se llevara a cabo se establecieron las variables dependientes e independientes.

4.3.1 VARIABLE DEPENDIENTE

- Cantidad de niños en el estudio: Hace referencia a la cantidad de niños en el cual se les incluyó dentro de la investigación.
- Mismo grado de autismo en los pacientes: Corresponde al grado del mismo grado de autismo que presenta cada niño.
- Misma edad en los pacientes: Hace referencia que cada niño de ambos grupos contaba con la misma edad dentro de la investigación.
- Sexo evaluado en los pacientes: Corresponde al mismo sexo (masculino) de los niños.
- Eficacia de detección de las señales cerebrales: Hace referencia a la cantidad en la que el dispositivo EEG registra y detecta la onda cerebral.
- Magnitud de registro de las ondas de frecuencia EEG: Son las ondas cerebrales que fueron registradas en el estudio.

4.3.2 VARIABLE INDEPENDIENTE

La variable independiente en este estudio se centra en la presencia o ausencia de Trastorno del Espectro Autista (TEA). Esta variable es esencial ya que representa la condición clave que se está manipulando para examinar cómo influye en las ondas cerebrales durante las actividades recreativas.

Análisis de señales electroencefalográficas de niños en la presencia o ausencia de Trastorno del Espectro Autista (TEA). En el cual se buscó hacer un análisis estadístico con el fin de poder encontrar una relación o diferencia de las señales electroencefalográficas por medio de sus conductas durante la realización de juegos recreativos.

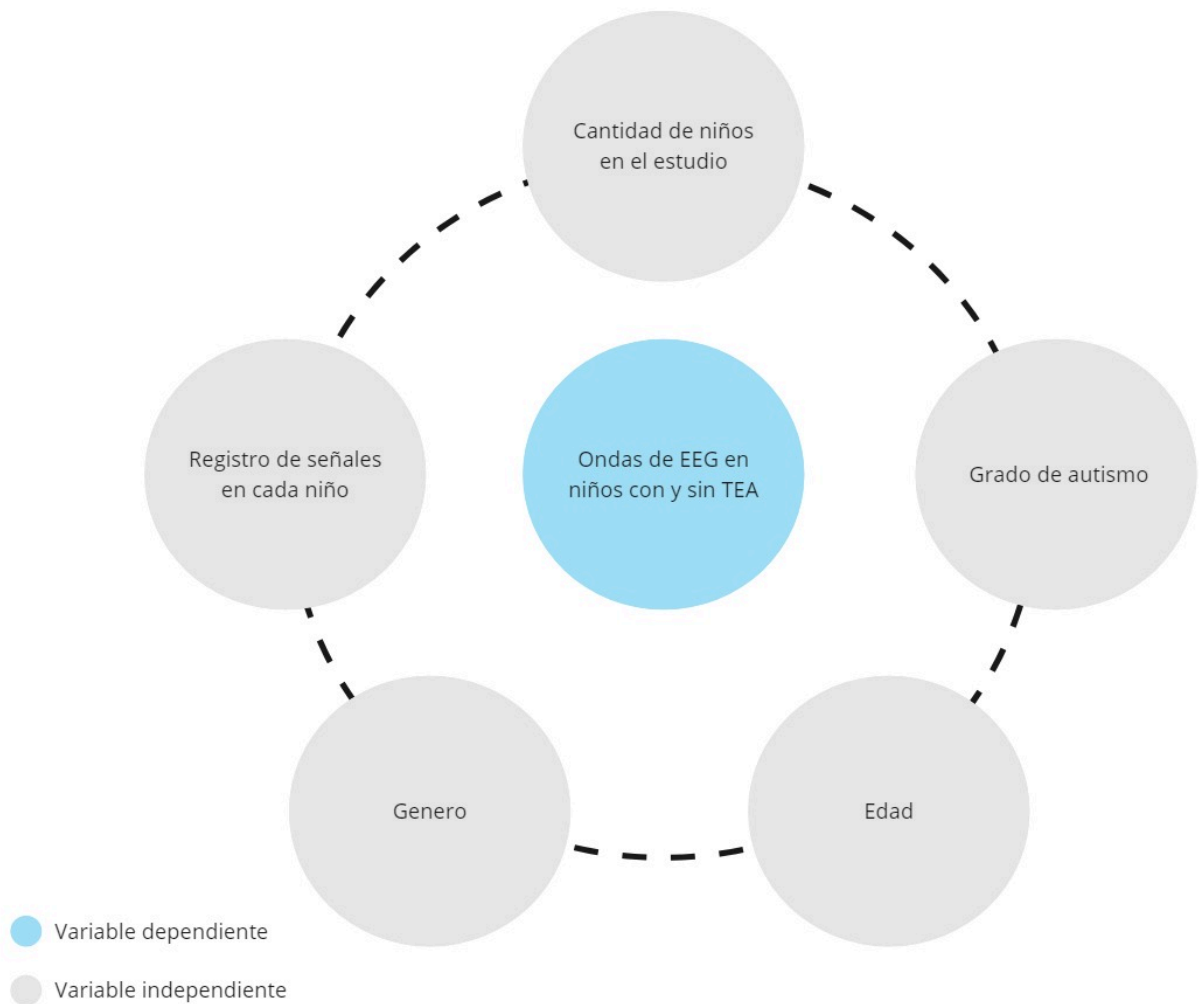


Ilustración 3. Variables de investigación

Fuente: Elaboración propia

4.3 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

La tabla siguiente ilustra cómo los objetivos de la investigación se vinculan con las variables consideradas, acompañadas de indicadores, definiciones conceptuales y dimensiones asociadas.

Tabla 7. Operacionalización de variables

Objetivo General	Variable Independiente	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores
Investigar la influencia de las actividades recreativas en la modulación de las ondas cerebrales en niños con y sin Trastorno del Espectro Autista (TEA), utilizando el sistema de electroencefalografía (EEG), con el fin de comprender cómo estas actividades afectan el desarrollo cognitivo y neurológico de ambos grupos.	La presencia o ausencia de Trastorno del Espectro Autista (TEA).	Estas ondas cerebrales se analizan para comprender como influyen las actividades recreativas en su modulación al enfocarse en estas ondas se buscó discernir patrones distintivos entre niños con y sin TEA.	Neurodesarrollo Infantil	Involucra r la amplitud, frecuencia o sincronización de las ondas cerebrales
Objetivos Específicos	Variable Dependiente	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores

<p>Seleccionar y diseñar actividades recreativas apropiadas para niños con y sin Trastorno del Espectro Autista (TEA), considerando sus necesidades y preferencias individuales.</p>	<p>Mismo grado de autismo en los pacientes</p>	<p>Hace referencia a la similitud en la severidad del Trastorno del Espectro Autista (TEA) entre los participantes en un estudio.</p>	<p>Adecuación y Personalización en Intervenciones Recreativas</p>	<p>Diseño de actividades adaptadas</p>
--	--	---	---	--

Objetivo Específico	Variable Dependiente	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores
<p>Comparar las señales cerebrales obtenidas de niños con y sin TEA utilizando técnicas estadísticas y de procesamiento de señales, con el fin de identificar diferencias significativas en la modulación neuronal durante las</p>	<p>Modulación neuronal durante las actividades recreativas</p>	<p>Diferencias en la modulación neuronal durante actividades recreativas entre niños con y sin (TEA).</p>	<p>Participación y Respuesta Conductual</p>	<p>Análisis de frecuencia de ondas cerebrales</p>

actividades recreativas.

Objetivo Específico	Variable Dependiente	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores
<p>Comparar los parámetros neuronales obtenidos de ambos grupos, incluyendo el voltaje y la frecuencia de las señales cerebrales, para identificar posibles diferencias en la actividad neuronal.</p>	<p>Voltaje y la frecuencia de las señales cerebrales</p>	<p>Diferencias en la actividad neuronal entre dos grupos, utilizando parámetros neuronales como voltaje y frecuencia de señales cerebrales. La comparación de estos parámetros pretende identificar posibles discrepancias en la actividad neuronal,</p>	<p>Características Neurofisiológicas Comparativas</p>	<p>Comparación de frecuencias específicas</p>

Objetivo Específico	Variable Dependiente	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores
Analizar cómo estas actividades pueden influir en el desarrollo cognitivo y emocional de ambos grupos.	Desarrollo cognitivo y emocional	Identificar impactos diferenciados en las capacidades cognitivas y emocionales, proporcionando perspectivas sobre el efecto singular de dichas actividades en ambos grupos estudiados.	Desarrollo Integral del Niño	Observación del comportamiento

Fuente: Elaboración propia

4.4 RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO

En esta investigación se pretendió analizar las señales de EEG durante diferentes juegos recreativos, para obtener una visión más completa de como el cerebro responde a estímulos positivos y recreativos en niños con y sin TEA. Lo cual permitió identificar patrones específicos que están relacionados con experiencia de placer, interacción social y aspectos claves de desarrollo emocional ya que para los niños con TEA participar en actividades recreativas es un desafío ya que experimentan dificultades en la interacción social y la comunicación.

4.4.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

La muestra se dividió en dos grupos distintos. El primer grupo incluyó a 2 niños diagnosticados con trastorno del espectro autista, específicamente en el nivel dos (autismo moderado), mientras que el segundo grupo estuvo conformado por 2 niños con desarrollo típico. Ambos grupos consistieron exclusivamente en niños de sexo masculino, todos con la edad de 6 años.

La decisión de utilizar una muestra pequeña de solo dos niños con TEA y dos niños sin TEA es la disponibilidad limitada de participantes, especialmente cuando se trabaja con niños con necesidades especiales como el TEA, cuya participación puede requerir la aprobación de padres o tutores y la coordinación con instituciones educativas o clínicas.

Tabla 8. Población y muestra

	ID DEL NIÑO	CONDICIÓN	EDAD	GÉNERO	NIVEL FUNCIONAL
Grupo #1	Sujeto #1	DT	7	Masculino	N/A
	Sujeto #2	DT	7	Masculino	N/A
Grupo #2	Sujeto #1	TEA	7	Masculino	TEA Moderado
	Sujeto #2	TEA	7	Masculino	TEA Moderado

Fuente: Elaboración propia

4.4.3 TÉCNICAS UTILIZADAS

Se implementaron tres juegos de distintos niveles de complejidad, estratégicamente seleccionados para involucrar diferentes niveles de actividad neuronal en cada participante. Esta elección se basó en la premisa de que niveles crecientes de complejidad requerirían la activación de un mayor número de neuronas. Además, se priorizó la selección de juegos según las

preferencias individuales de cada niño para evaluar su rendimiento neuronal en un contexto más atractivo y motivador. Los juegos que se llevaron a cabo fueron:

- Actividad de pintura: El primer juego no implicaba una complejidad significativa; los participantes solamente tenían que colorear. Esta metodología permitió una comparación con progresiva de niveles entre cada juego.
- Juego de bolos: Para la segunda actividad, se implementó el juego de bolos, elevando el nivel de complejidad al requerir que los participantes derribaran los bolos desde una distancia específica.
- Cornhole: El tercer juego se elevó un poco la complejidad de esta manera poder observar si existía alguna diferencia comparándolo con los otros dos juegos, ya que el juego consistía en lanzar una bolsa hacia agujeros en una plataforma elevada.

4.4.4 MATERIALES UTILIZADOS

- PLATAFORMA OPENBCI

Este proyecto utilizó un sistema compuesto por hardware y software que se apoya en la interfaz cerebro-computadora. Su función principal es registrar diversas señales, especialmente las electroencefalográficas, durante la implementación de la investigación.

- CASCO MARK IV (EEG)

Se utilizó el casco Mark IV ya que este ofrece una adaptabilidad de interfaz-usuario. El cual está diseñado con electrodos que se colocan en el cuero cabelludo del paciente para captar las señales eléctricas que se generan por la actividad neuronal. Una vez se registran las señales se puede analizar la función neuronal y evaluar diferentes respuestas que fueron capturadas.

- PLACA CYTON

Es una placa electrónica que forma parte del sistema de adquisición de señales EEG. está diseñada para amplificar, filtrar y digitalizar las señales de EEG recopiladas por los electrodos.

Además, facilita la conexión con otros dispositivos, como ordenadores o dispositivos móviles, para el procesamiento y análisis de los datos EEG.

- CYTON DONGLE

El "Cyton Dongle" es un componente utilizado en los sistemas de electroencefalografía (EEG) de la marca OpenBCI. Se trata de un dispositivo compacto y portátil que actúa como interfaz entre la Placa Cyton (o Cyton Board) y una computadora u otro dispositivo compatible. Esto facilita la transmisión de las señales EEG registradas por la Placa Cyton al software de análisis o visualización para su posterior procesamiento.

- OPENBCI GUI

Este software actúa como una herramienta que permite ver, grabar y transmitir las señales de EEG capturadas por los electrodos del OpenBCI. Puede realizar estas funciones tanto en tiempo real como durante la reproducción de los datos.

- ELECTRODOS Y PINZAS DE OREJA

Los electrodos de EEG son dispositivos utilizados para registrar la actividad eléctrica del cerebro. Se colocan en la superficie del cuero cabelludo y capturan las señales neuronales generadas por la actividad cerebral. Estos electrodos están diseñados para detectar cambios en el potencial eléctrico generado por la actividad neuronal y transmitir esta información a equipos de registro EEG para su análisis. De igual manera, se colocó la pinza de oreja tomando como referencia a tierra, este colocaba en el lóbulo de la oreja de cada niño el cual es el punto neutro en el cuerpo y elimina la electricidad común en los electrodos.

- MATLAB

Se optó por utilizar Matlab como lenguaje de programación debido a que ofrece funciones integradas en la plataforma que facilitan el procesamiento de señales, eliminando la necesidad de

descargar extensiones adicionales, como sería requerido en otros lenguajes. Se empleó Matlab con el propósito de desarrollar un código para procesar las señales capturadas cada semana. Se cargaron los archivos en formato .xlsx (previamente convertidos de .txt y .csv), permitiendo que el código lea los datos temporales registrados por OpenBCI GUI. Luego, a través del código, se generaron datos de frecuencia con la media de la señal.

4.4.5 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

Para esta investigación se utilizó como herramienta la metodología en V, ya que es de gran utilidad para proyectos complejos que necesitan una planeación más completa y de una orientación sistemática la cual les garantiza el éxito del proyecto. Este tipo de metodología se realiza gráficamente en forma de V para poder describir las secuencias de cada fase del proyecto a realizar.



Ilustración 4. Metodología en V

Fuente: Elaboración propia

2.3.1.1 Especificación de sistema

Se detallan los materiales y recursos necesarios para asegurar un buen resultado de la investigación. La elección adecuada de los materiales es crucial para garantizar la efectividad del sistema, ya que determina su capacidad de adquisición y funcionamiento. Además, se llevará a cabo una configuración precisa del equipo, en este caso el OpenBCI, junto con la implementación de procesos y protocolos bien definidos. Esto no solo asegura un orden adecuado en el desarrollo de la investigación, sino que también proporciona seguridad a todos los participantes involucrados.

4.4.5.2 Especificación del subsistema

En el nivel de subsistema, se ha realizado un proceso de ajuste para determinar la duración óptima de cada juego, buscando garantizar un equilibrio adecuado para cada niño participante. Esta planificación permite que, durante un lapso de tres minutos, los participantes puedan desplegar sus habilidades de manera óptima, permitiendo una evaluación exhaustiva de su desempeño. Este enfoque garantiza que cada niño tenga la oportunidad de desarrollarse plenamente dentro del contexto de juego, fomentando así un ambiente inclusivo y de crecimiento personal. Mediante este proceso se asegura la confiabilidad de cada prueba en la captación de las señales neuronales en cada niño a estudiar.

4.4.5.3 Definición de componentes

La configuración del OpenBCI es fundamental para el procesamiento de señales que se desea llevar a cabo ya que esta herramienta cuenta con múltiples opciones en su programa y se tiene que seleccionar que parámetros se desean evaluar. Se llevo una correcta configuración para la programación del software de esta manera asegurar la compatibilidad y coherencia. La validación en esta fase se centró en asegurar que la interconexión y operatividad del programa cumplan con las especificaciones.

4.4.5.4 Definición de integración

Durante la etapa de integración, se pone un énfasis significativo en el cumplimiento de las normas establecidas específicamente para cada juego. Estas normas son fundamentales para la realización efectiva de la investigación y para garantizar la obtención de los mejores resultados

posibles. Este proceso involucró la meticulosa medición del espacio disponible en el laboratorio y la selección de áreas que permitieran a cada niño participante desarrollarse de manera equitativa y a una distancia predeterminada.

La validación en esta fase se centró en asegurar que cada niño tuviera acceso a una distancia igual en ambos grupos. Se llevaron a cabo pruebas preliminares para verificar si tanto los niños con trastorno del espectro autista (TEA) como aquellos sin él podían lanzar objetos alcanzando la misma distancia. Este enfoque riguroso en la estandarización y equidad de las condiciones de juego es crucial para garantizar la validez y fiabilidad de los resultados obtenidos en el estudio.

4.4.5.5 Validación de integración

Durante la fase de validación de integración, se llevaron a cabo exhaustivas pruebas en el laboratorio para asegurar el cumplimiento de todas las normas previamente establecidas. Cada actividad programada fue ejecutada con precisión y minuciosidad. En un primer paso, se procedió a colocar el casco a cada niño participante, seguido de la medición precisa del tiempo dedicado a cada juego por parte de cada niño.

Estas pruebas abarcaron la verificación de la comunicación y sincronización adecuadas entre todos los componentes, desde el dispositivo de Dongle hasta la computadora central. Se prestó especial atención a la interoperabilidad entre estos elementos, asegurando que la transmisión de datos y señales se llevara a cabo de manera fluida y sin interrupciones. Este meticuloso proceso garantizó que cada niño experimentara las mismas condiciones óptimas durante la realización de las actividades, lo que a su vez contribuyó a la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos en el estudio.

4.4.5.6 Validación de los componentes

En esta etapa, se llevó a cabo el desarrollo de un código específico para extraer toda la información proporcionada por OpenBCI en un documento RAW. Este documento RAW contiene datos crudos que capturan la actividad cerebral y otros parámetros relevantes. El objetivo principal

era poder integrar estos datos en el código previamente diseñado en MATLAB, permitiendo así su procesamiento y análisis detallado.

El proceso de extracción de datos del documento RAW implicó la creación de un script que pudiera interpretar y decodificar adecuadamente la información contenida en este formato. Se implementaron algoritmos y técnicas de procesamiento de señales para organizar y estructurar los datos de manera que fueran compatibles con el entorno de MATLAB.

Una vez que se logró la extracción exitosa de los datos, estos fueron importados al código en MATLAB, donde se llevaron a cabo diferentes análisis y estudios. Esto incluyó la aplicación de algoritmos de procesamiento de señales, técnicas de visualización y herramientas estadísticas para comprender mejor los patrones y tendencias presentes en los datos cerebrales capturados.

4.4.5.7 Validación del subsistema

Durante esta fase, se realizó una validación a través del análisis de los datos recopilados por el equipo. Se emplearon técnicas de análisis estadístico para procesar la información cerebral y llevar a cabo una comparación detallada entre ambos grupos de estudio.

Los datos obtenidos de los participantes fueron sometidos a análisis estadísticos, los cuales permitieron identificar patrones significativos y diferencias entre los grupos. Estas técnicas estadísticas incluyeron pruebas de hipótesis, análisis de varianza (ANOVA), pruebas t de Student, entre otras, según la naturaleza de los datos y los objetivos de la investigación. El análisis de los datos cerebrales recopilados proporcionó una comprensión profunda de las diferencias en la actividad cerebral entre los grupos de estudio.

4.4.5.8 Validación del sistema

Después de obtener las respuestas estadísticas, se procedió a realizar una comparación dentro de cada grupo de estudio. Se llevó a cabo una justificación para entender por qué se observaban ciertos comportamientos específicos en cada grupo y, en última instancia, se comparó qué grupo mostraba una mayor evidencia al realizar cada actividad.

Este análisis implicó una evaluación de los datos recopilados, identificando las tendencias y patrones presentes en cada grupo. Se exploraron posibles explicaciones para los resultados obtenidos. Se realizaron comparaciones cualitativas y cuantitativas entre los grupos, buscando determinar cuál de ellos exhibía una mayor coherencia y consistencia en sus respuestas. Se evaluaron tanto los resultados de las pruebas estadísticas como las observaciones recopiladas durante el estudio.

4.5 IMAGEN DEL PROCESO

La ejecución de este proyecto se desarrolló en tres etapas, las cuales se estructuraron de la siguiente manera.

En la fase inicial, se procedió a ajustar la configuración del OpenBCI según los parámetros específicos deseados. En este contexto, se buscaba la observación en tiempo real de las señales theta, beta, gamma, delta y alfa, con el propósito de identificar qué señal estaba siendo capturada en cada momento. Asimismo, mediante la configuración del "Head Plot", se lograba visualizar las áreas específicas del cerebro que estaban siendo monitoreadas por cada electrodo.

Adquisición y almacenamiento de señales



Ilustración 5. Adquisición y almacenamiento de señales

Fuente: Elaboración propia

Después de la fase inicial de adquisición de datos, surgió la necesidad de convertir el formato de archivo de las señales registradas. Aunque la aplicación OpenBCI generaba las señales en un formato específico, para su posterior análisis en MatLab, fue imperativo convertirlas al formato .xlsx compatible. Este proceso de conversión permitió una transferencia fluida de los datos al entorno de MatLab, donde se llevó a cabo la etapa de procesamiento y análisis. Una vez en MatLab, se implementaron técnicas de filtrado para mejorar la claridad y legibilidad de las señales registradas. Estas técnicas fueron seleccionadas y aplicadas con el objetivo de eliminar el ruido no deseado y resaltar las características relevantes de las señales cerebrales. Además, se mantuvo una documentación detallada de los códigos utilizados en este proceso, junto con los resultados obtenidos en cada paso del procesamiento de datos. Esta documentación no solo garantizó la reproducibilidad de los análisis realizados, sino que también facilitó la revisión y el refinamiento continuo del enfoque de procesamiento de señales.

Registro de datos utilizando MatLab



Ilustración 6. Registro de datos utilizando MatLab

Fuente: Elaboración propia

Después de culminar el proceso de recolección y procesamiento de datos, se procedió con un análisis estadístico exhaustivo de las señales neurológicas registradas tanto en el grupo de niños diagnosticados con Trastorno del Espectro Autista (TEA) como en el grupo de niños sin esta condición. Esta fase representó un momento significativo en la investigación, ya que permitió profundizar en la comprensión de la actividad cerebral de cada niño durante la realización de las actividades recreativas previamente programadas. El análisis estadístico facilitó la identificación de patrones y diferencias significativas en la actividad neurológica entre los dos grupos, ofreciendo así una visión más precisa y detallada de cómo estas actividades afectan el funcionamiento cerebral en cada individuo. Además, se empleó la aplicación Minitab para enriquecer el análisis estadístico, proporcionando herramientas adicionales para la interpretación de los resultados y la generación de conclusiones más robustas. Este enfoque combinado de análisis estadístico permitió una exploración profunda de los datos recopilados, brindando valiosas perspectivas para la comprensión de los mecanismos subyacentes y destacando la importancia de tales actividades en el desarrollo neurológico de los niños, con y sin TEA.

Análisis estadísticos



Ilustración 7. Análisis estadísticos

Fuente: Elaboración propia

4.6 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN/VALIDACIÓN

La verificación de los datos adquiridos es un paso fundamental en la investigación, donde se busca contrastar o distinguir las frecuencias de ondas cerebrales y los niveles de concentración entre niños con desarrollo típico y aquellos con Trastorno del Espectro Autista (TEA).

Este proceso de validación se realiza mediante un análisis de correlación, que proporciona una manera precisa de comparar o diferenciar en tres distintas actividades recreativas. Al examinar las ondas cerebrales durante estas actividades, podemos identificar las frecuencias y amplitudes a lo largo de las sesiones de evaluación.

Para asegurar la homogeneidad y equilibrio entre ambos grupos, se ha optado por una estrategia que implica trabajar con la misma cantidad de niños en cada categoría. Esta decisión se basa en la premisa de que un equilibrio numérico entre los grupos facilita la comparabilidad de los resultados y reduce el riesgo de sesgos debidos a desequilibrios muestrales. Además, este enfoque contribuye a maximizar la representatividad de cada grupo, permitiendo una mejor generalización de los hallazgos a la población de interés. Por lo tanto, al trabajar con la misma cantidad de niños con TEA y niños con desarrollo típico, se busca garantizar un estudio riguroso y confiable que pueda arrojar conclusiones válidas y significativas sobre las diferencias en las ondas cerebrales y los niveles de concentración entre ambos grupos.

Se llevo a cabo una revisión de la evaluación clínica, respaldada por protocolos y criterios establecidos por profesionales especializados en el diagnóstico y tratamiento del Trastorno del Espectro Autista (TEA). Este enfoque clínico garantiza la precisión y confiabilidad en la clasificación del grado de autismo de cada niño participante en el estudio.

Un aspecto particularmente relevante de esta validación ha sido la búsqueda de equilibrio y comparabilidad entre los participantes con TEA. Para lograr esto, se ha priorizado que los dos niños diagnosticados con TEA que formaron parte del estudio presentaran el mismo grado de autismo, específicamente grado 2 según la clasificación establecida. Esta decisión se fundamenta en la necesidad de minimizar posibles variaciones en el grado de autismo que podrían influir en los resultados del estudio.

La validación del registro de señales en cada niño se llevó a cabo mediante la comparación de los datos obtenidos con los estándares de calidad establecidos para los equipos de registro de señales y los procedimientos de recolección de datos. Para esta validación, se empleó el sistema OpenBCI, reconocido por su precisión y versatilidad en la captura de señales cerebrales. Este sistema permitió registrar la actividad cerebral de los niños participantes mientras realizaban las actividades recreativas propuestas en el estudio.

El análisis de los datos recopilados con OpenBCI proporcionó información detallada sobre las áreas de los lóbulos cerebrales en las que cada niño mostraba mayor concentración durante las actividades. Esto permitió identificar patrones y tendencias en la actividad cerebral, así como posibles similitudes o variaciones entre los grupos de niños con TEA y desarrollo típico.

Además de la tecnología utilizada, se aplicaron criterios rigurosos de calidad en la recolección y procesamiento de datos. Se verificó la correcta colocación de los electrodos, la estabilidad de la señal registrada y la ausencia de artefactos que pudieran distorsionar los resultados.

V. RESULTADOS

5.1 ESPECIFICACIÓN DE SISTEMA

- Configuración del laboratorio:

El laboratorio está ubicado en una sala tranquila y bien iluminada, con un área suficiente para permitir el movimiento de los sujetos de estudio y el equipo experimental.

- Equipos y dispositivos:

Se utilizó el dispositivo OpenBCI con un juego de electrodos de alta calidad para la adquisición de señales cerebrales.

Se dispuso de una computadora con software de adquisición y análisis de datos compatible con el OpenBCI.

Se cuenta con una mesa de trabajo adecuada para colocar el equipo y los dispositivos de registro.

- Procedimientos y protocolos:

Se estableció un protocolo estandarizado para la colocación de los electrodos en el cuero cabelludo de los sujetos, siguiendo las recomendaciones de posicionamiento del sistema OpenBCI.

Se diseñó instrucciones claras y simples para los sujetos de estudio, explicando el procedimiento experimental y las tareas a realizar.

Se llevará a cabo una fase de calibración inicial para asegurar la calidad de las señales registradas y minimizar artefactos.

- Seguridad y comodidad:

Se garantizó que el entorno experimental sea seguro y cómodo para los sujetos, una temperatura ambiente adecuada y sin ningún tipo de interrupción.

Se contó con la asistencia de un encargado de familia en el caso de que el niño mostrara algún comportamiento inapropiado o necesitara apoyo adicional durante la sesión.

- Registro y documentación:

Se mantuvo un registro detallado de todas las sesiones experimentales, incluyendo la fecha, hora, duración de la sesión, y cualquier observación relevante.

Se obtuvo el consentimiento informado de todos los participantes antes de su inclusión en el estudio, y se protegerá la confidencialidad de los datos recopilados.

5.2 ESPECIFICACIÓN DEL SUBSISTEMA

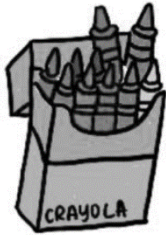
- Duración de cada juego

El periodo de tiempo para cada juego fue de 3 minutos, este período proporciona suficiente tiempo para que los participantes se involucren en la actividad y demuestren su rendimiento cognitivo y emocional de manera significativa. Además, limitar la duración del juego a tres minutos ayuda a mantener la atención y el interés de los participantes, especialmente si son niños, evitando posibles fatigas o distracciones que podrían afectar la calidad de los datos. También permite una rotación más eficiente de los participantes a través de los juegos, lo que facilita la recolección de datos de una muestra más amplia en un tiempo limitado. Finalmente, una duración estándar para cada juego simplifica el proceso de análisis y comparación de resultados entre los participantes, lo que mejora la coherencia y la fiabilidad de los hallazgos.

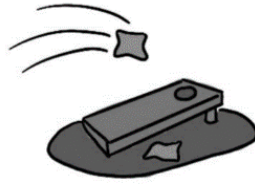
- Procedimiento

Los juegos se realizaron en el laboratorio de ingeniería biomédica de la universidad para garantizar un entorno libre de distracciones o ruidos externos y de esta manera también brindarle al participante un ambiente más tranquilo y sin distracciones. Al momento de realizar el juego solo se contaba con la presencia de el niño a evaluar, el padre de familia y la investigadora esto con el fin de brindar mayor privacidad para cada sesión.

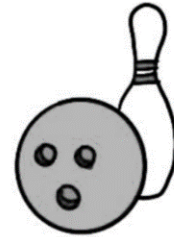
Tabla 9. Tipos de juegos



Actividad de colorear



Cornhole



Juego de bolos

Fuente: Elaboración propia

5.3 DEFINICIÓN DE COMPONENTES

Este capítulo se centra en la exposición de la configuración del Configuración del Ultracortex Mark IV y el ordenador para la obtención de las señales

- **MATERIALES**

Para que se llevara a cabo la adquisición de señales se necesitó tener todos los materiales preparados de esta manera poder colocarlos de manera correcta en cada uno de los niños involucrados en este estudio y se tomaron medidas especiales de cuidado ya que se estaba trabajando con niños de 6 años.

- **Ultracortex**

Es el casco el cual este impreso en 3D es donde se colocan los electrodos a medida exacta, esto se debe al sistema internacional 10-20, este va colocado en la cabeza de cada participante.

- **Pinzas de oreja y electrodos**

El ultracortex utilizado en esta investigación consistió en un conjunto de ocho electrodos conectados entre sí mediante cables, los cuales se instalan en el ultracortex. Además, cuenta con canales conectados a un electrodo de referencia denominado A1, que se coloca en la oreja y sirve como tierra. Este montaje, conocido como monopolar, permite registrar la actividad eléctrica cerebral de manera efectiva.

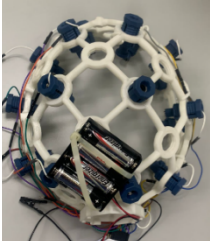


- Placa Cyton

La placa Cyton debe colocarse en la parte posterior del ultracortex, asegurando que los electrodos estén conectados correctamente a la placa Cyton según su designación. Los electrodos utilizados, como F3, F4, F7, F8, P3, P4, P7 y P8, deben estar conectados a las entradas correspondientes en la placa Cyton para garantizar una conexión adecuada.

- Dongle

El dongle se conectó a la computadora a través de un puerto USB, permitiendo la adquisición de las señales de cada electrodo enviadas desde la placa Cyton y el almacenamiento de los datos en la computadora.

Tabla 10. Materiales

Material	Representación
Ultracortex	
Electrodos	
Placa Cyton	

Dongle



Fuente: Elaboración propia

- Configuración del OPENBCI

Para la recolección de datos, se requirió un software compatible con la plataforma del OpenBCI. Se optó por iniciar la adquisición de señales utilizando el software OpenBCI GUI. Una vez instalado el software para poder dar inicio se debía de introducir el dongle en el puerto USB a la computadora para que este estuviera en comunicación con la placa Cyton y a la vez la computadora.

Seguidamente se configuró el software para que trabajara en un modo de 8 canales, esto se debe a que se pudo observar una cobertura cerebral amplia lo cual permitió monitorear la actividad eléctrica en diferentes áreas de cerebro y también ya que la universidad no contaba con la suficiente cantidad de electrodos para poder utilizar los 16, lo cual basto con solamente utilizar los ocho que estaban a disposición que fueron más que suficientes.

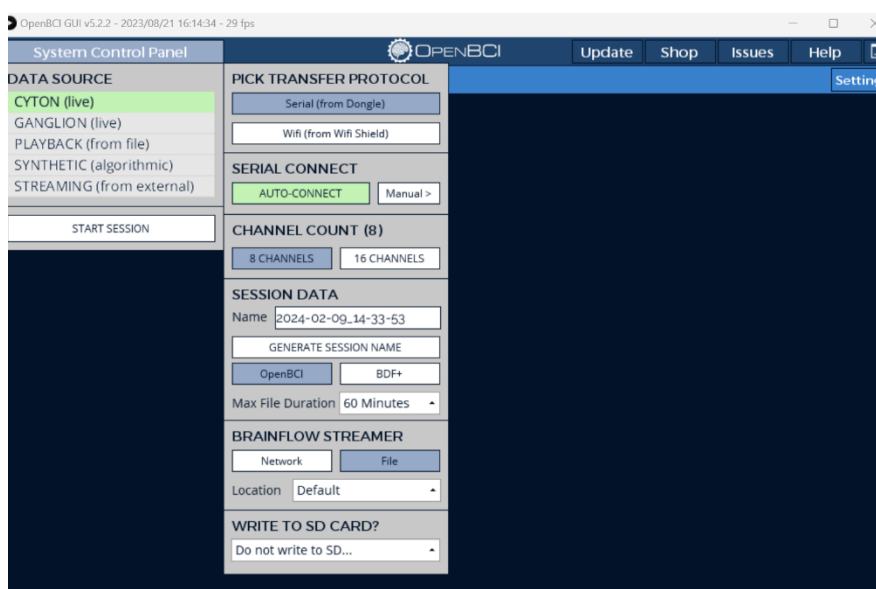


Ilustración 8. Software OpenBCI

Fuente: Elaboración propia

Antes de iniciar con la toma de datos se coloca un filtro pasa bandas para que tuviera un límite, el cual solamente iba a tomar en cuenta las frecuencias que estuvieran dentro del rango de 13Hz y 50Hz. No se trabajó con el rango de 5Hz ya que para este estudio no es necesario ya que las personas que se encuentran dentro de ese rango son sujetos cuyo estado es que están en modo somnoliento y de (8-13Hz) son todas aquellas personas que se encuentran despiertas, pero con los ojos cerrados, por lo que se decidió colocar el rango de 13Hz y 15 Hz.

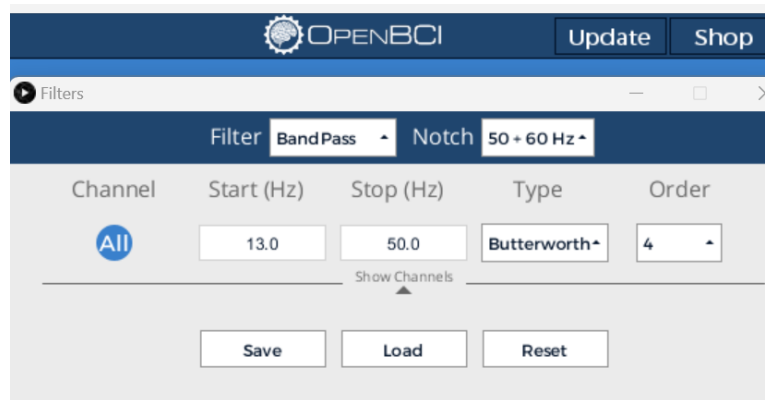
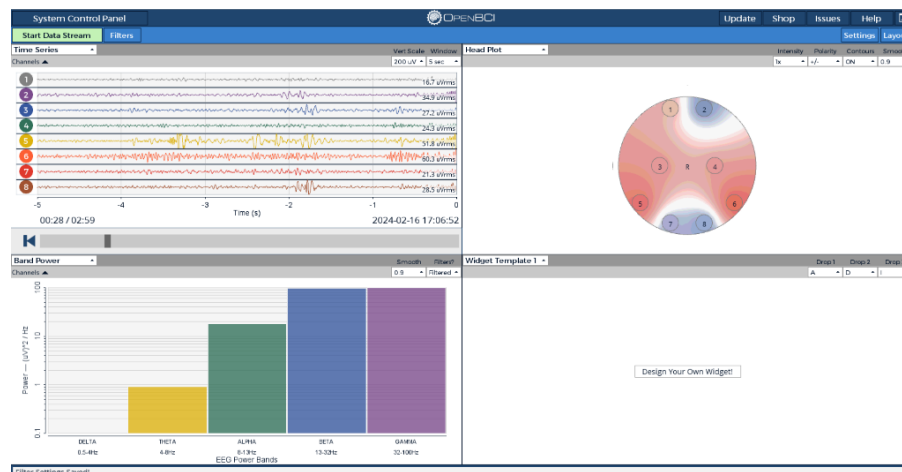


Ilustración 9. Configuración del software OpenBCI

Fuente: Elaboración propia

Se optó por configurar el sistema de visualización de manera que ofreciera tres perspectivas diferentes para observar la actividad cerebral de cada participante a través de las

señales cerebrales. La primera perspectiva seleccionada "serie temporal", muestra las



señales en

microvoltios a lo largo de un intervalo de tiempo. La segunda opción fue la visualización de la "potencia de banda", donde se presentan los voltajes relativos de las diferentes ondas cerebrales, clasificado por delta, theta, alpha, beta y gamma. Por último, se utilizó la opción de "head plot", que indica que áreas del cerebro se están trabajando con mayor intensidad haciéndolo ver por medio del color rojo.

Ilustración 10 visualización del software OpenBCI

Fuente: Elaboración propia

5.4 DEFINICIÓN DE INTEGRACIÓN

- Actividad de colorear

Cada niño participante en el estudio tuvo la oportunidad de colorear el mismo dibujo, utilizando exactamente los mismos colores y materiales, en un entorno sin interrupciones ni distracciones externas. Todos los niños se encontraban en el mismo lugar y tuvieron la misma cantidad de tiempo para completar su tarea de colorear. De esta manera, se aseguró que todas las condiciones fueran uniformes y consistentes para cada participante, garantizando así la equidad y la comparabilidad en los resultados obtenidos.

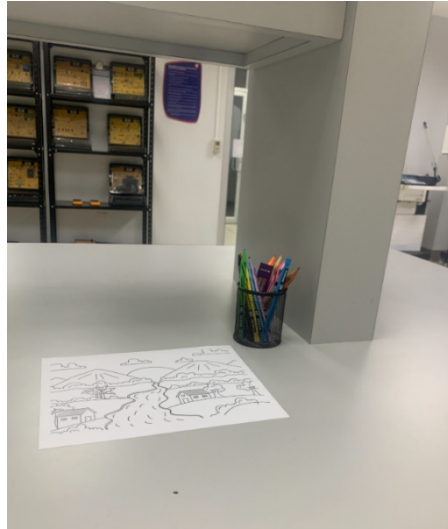


Ilustración 11. Actividad colorear

Fuente: Elaboración propia

- Cornhole

En el juego de Cornhole, que se clasifica como de nivel medio, el participante se posicionaba a una distancia de 2.67 metros del agujero al que debía lanzar las bolsas. El objetivo principal del juego era lograr que las bolsas lanzadas entraran en el agujero con precisión.



Ilustración 12. Cornhole

Fuente: Elaboración propia

- Juego de bolos

Cada estudiante participó activamente en el juego de bolos, donde el objetivo principal era derribar la mayor cantidad posible de bolos con cada lanzamiento. Se asignó a cada niño una posición a una distancia de 3.86 metros de los bolos, una medida cuidadosamente seleccionada para garantizar un desafío adecuado y equitativo para todos. Este juego se identificó como el tercero en la secuencia de actividades debido a su nivel de complejidad, ofreciendo a los niños una experiencia divertida.



Ilustración 13. Juego de bolos

Fuente: Elaboración propia

5.5 VALIDACIÓN DE INTEGRACIÓN




Se optó por trabajar exclusivamente con niños de género masculino debido a que las estadísticas muestran que hay una mayor proporción de diagnósticos de autismo en niños que en niñas, con una relación de más de cuatro niños por cada niña (4:1), según datos recientes a nivel internacional (Sanz, 2022). Además, esta decisión también se vio influenciada por la disponibilidad geográfica, ya que únicamente fue posible reclutar participantes masculinos para el estudio.

Cada participante se sometió a las pruebas en distintos momentos y días, y todos completaron los juegos asignados de manera adecuada. Es importante destacar que todos los

sujetos fueron niños del mismo sexo y edad, lo que garantizó que no hubiera discrepancias relacionadas con estas variables durante el estudio.

El proceso consistió en explicarle a cada uno de los niños las instrucciones de cada juego, mencionarles que iban sentir un ligero dolor el uso del UltraCortex. Se debía de ajustar según el tamaño de la cabeza de cada niño para que cada electrodo tuviera un contacto adecuado del electrodo al cuero cabelludo y de esa manera obtener la información de cada uno de los canales.

Tabla 11. Sujetos sometidos a las pruebas

Actividad de colorear	Cornhole	Juego de bolos
		

Fuente: Elaboración propia

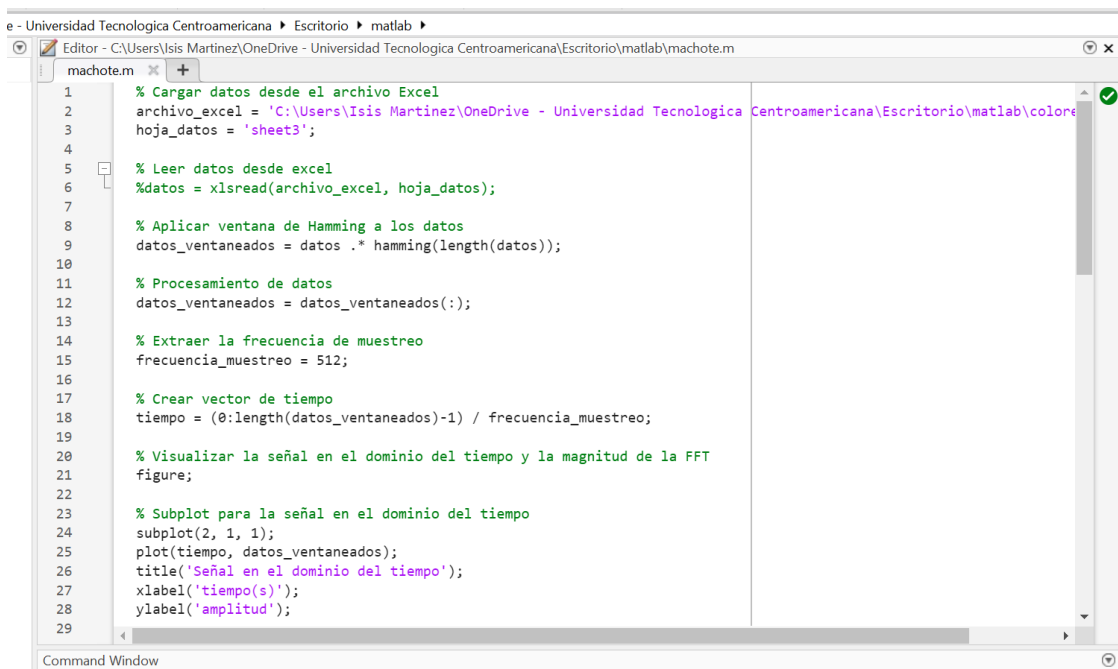
5.6 VALIDACIÓN DE LOS COMPONENTES

5.6.1 Programación para registro de señales

El código proporcionado en MATLAB comienza cargando datos desde un archivo Excel específico, utilizando la función `xlsread`. Luego, se aplicaría una ventana de Hamming a los datos cargados para reducir discontinuidades al principio y al final de la señal. Posteriormente, se procesan los datos convirtiéndolos en un vector unidimensional y se define la frecuencia de muestreo como 250 Hz. Se crea un vector de tiempo correspondiente a cada punto de datos en segundos.

Después de la preparación de los datos, se visualiza la señal tanto en el dominio del tiempo como en el dominio de la frecuencia. Para esto, se realiza la Transformada Rápida de Fourier (FFT) sobre los datos ventaneados, utilizando la función `fft`. Luego, se calcula la magnitud de la FFT para obtener una representación de la amplitud de las diferentes frecuencias presentes en la señal (Ilustración 14).

Dado que la FFT produce una salida simétrica alrededor de la frecuencia de muestreo, se descartan las frecuencias negativas y se conservan solo las frecuencias positivas. Estas frecuencias se convierten a unidades de Hz y se definen índices para cada banda de frecuencias, como delta, theta, alfa bajo, alfa alto, beta bajo, beta alto, gamma bajo y gamma alto. Este tipo de procesamiento de datos está relacionado con análisis de señales, como el procesamiento de señales EEG (electroencefalografía), donde se busca caracterizar diferentes bandas de frecuencia en la actividad cerebral (Ilustración 15).



```
1 % Cargar datos desde el archivo Excel
2 archivo_excel = 'C:\Users\Ishis Martinez\OneDrive - Universidad Tecnologica Centroamericana\Escritorio\matlab\colore
3 hoja_datos = 'sheet3';
4
5 % Leer datos desde excel
6 %datos = xlsread(archivo_excel, hoja_datos);
7
8 % Aplicar ventana de Hamming a los datos
9 datos_ventaneados = datos .* hamming(length(datos));
10
11 % Procesamiento de datos
12 datos_ventaneados = datos_ventaneados(:);
13
14 % Extraer la frecuencia de muestreo
15 frecuencia_muestreo = 512;
16
17 % Crear vector de tiempo
18 tiempo = (0:length(datos_ventaneados)-1) / frecuencia_muestreo;
19
20 % Visualizar la señal en el dominio del tiempo y la magnitud de la FFT
21 figure;
22
23 % Subplot para la señal en el dominio del tiempo
24 subplot(2, 1, 1);
25 plot(tiempo, datos_ventaneados);
26 title('Señal en el dominio del tiempo');
27 xlabel('tiempo(s)');
28 ylabel('amplitud');
29
```

Ilustración 14. Programación para registro de señales

Fuente: Elaboración propia

```

29
30 % Realizar la transformada rápida de Fourier
31 n = length(datos_ventaneados);
32 fft_resultado = fft(datos_ventaneados);
33 frecuencias = (0:n-1)*(frecuencia_muestreo/n);
34
35 % Calcular la magnitud de la FFT
36 magnitud_fft = abs(fft_resultado/n);
37
38 % Descartar las frecuencias negativas
39 frecuencias = frecuencias(1:floor(n/2));
40 magnitud_fft = magnitud_fft(1:floor(n/2));
41
42 % Convertir a Hz
43 frecuencias_en_hz = frecuencias;
44
45 % Índices para cada banda de frecuencias
46 indices_delta = find(frecuencias_en_hz >= 1 & frecuencias_en_hz <= 3);
47 indices_theta = find(frecuencias_en_hz >= 4 & frecuencias_en_hz <= 7);
48 indices_low_alpha = find(frecuencias_en_hz >= 8 & frecuencias_en_hz <= 9);
49 indices_high_alpha = find(frecuencias_en_hz >= 10 & frecuencias_en_hz <= 12);
50 indices_low_beta = find(frecuencias_en_hz >= 13 & frecuencias_en_hz <= 17);
51 indices_high_beta = find(frecuencias_en_hz >= 18 & frecuencias_en_hz <= 30);
52 indices_low_gamma = find(frecuencias_en_hz >= 31 & frecuencias_en_hz <= 40);
53 indices_high_gamma = find(frecuencias_en_hz >= 41 & frecuencias_en_hz <= 50);
54

```

Ilustración 15. Continuación de programación de registro de señales

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se detalla un glosario de comandos utilizados en la programación de MATLAB, junto con una breve descripción de su función. Cada comando está acompañado de un comentario que proporciona contexto sobre su uso dentro del código. Estos comandos abarcan desde la carga de datos desde un archivo Excel hasta la visualización de la señal en el dominio del tiempo y la magnitud de la FFT. Mediante el uso de estas funciones y variables, se lleva a cabo un proceso de análisis de datos que incluye la aplicación de una ventana de Hamming, el cálculo del vector de tiempo y la generación de gráficos para representar la señal en el dominio del tiempo. Esta tabla proporciona una guía útil para entender y modificar el código de MATLAB, así como para aprender sobre las funciones básicas utilizadas en el procesamiento de señales y datos en este entorno de programación.

Tabla 12. Glosario de comentarios para cada comando utilizado

Comando	Descripción
---------	-------------

archivo_excel	Ruta del archivo Excel del cual se cargarán los datos.
hoja_datos	Nombre de la hoja de Excel desde la cual se leerán los datos.
datos_ventaneados	Datos después de aplicarles la ventana de Hamming.
hamming()	Función que genera una ventana de Hamming.
length()	Función que devuelve la longitud de un vector.
frecuencia_muestreo	Frecuencia de muestreo de los datos.
tiempo	Vector de tiempo generado utilizando la frecuencia de muestreo y la longitud de los datos ventaneados.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Continuación del glosario utilizado para los comentarios utilizados en cada comando

Comando	Descripción
subplot()	Función que crea un subplot en una figura.
plot()	Función que se utiliza para realizar gráficos en MATLAB.
title()	Función que establece el título del gráfico.
xlabel()	Función que establece la etiqueta del eje x del gráfico.

ylabel()	Función que establece la etiqueta del eje y del gráfico.
n	Variable que almacena la longitud de los datos ventaneados.
fft_resultado	Variable que almacena el resultado de la transformada rápida de Fourier (FFT) sobre los datos ventaneados.
fft()	Función que realiza la transformada rápida de Fourier (FFT).
magnitud_fft	Variable que almacena la magnitud de la FFT.
abs()	Función que devuelve el valor absoluto de un número o una matriz.
indices_delta	Variable que almacena los índices correspondientes a la banda de frecuencias delta.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. Continuación del glosario utilizado para los comentarios utilizados en cada comando

Fuente: Elaboración propia

5.7 Validación de los subsistemas

5.7.1 Diferencia comparativa de todas las bandas

Comando	Descripción
find()	Función que encuentra los índices de los elementos que cumplen una condición.
frecuencias_en_hz	Frecuencias convertidas a unidades de Hertz (Hz).

- Actividad coloreando

Durante la actividad de colorear, donde se requiere un enfoque continuo en seleccionar colores, coordinar la motricidad fina y discriminar visualmente entre áreas para colorear, los niños con TEA necesitaron un esfuerzo adicional para mantenerse enfocados en la tarea. Para los niños con TEA, mantener la atención y la concentración fue un desafío debido a las diferencias en el procesamiento sensorial y cognitivo.

Esto resulta una mayor actividad en la banda de frecuencia theta en su actividad cerebral, ya que puede deberse a que su cerebro trabajó para procesar la información y mantener la atención en la tarea de colorear a diferencia de los niños con un desarrollo típico (Ilustración 16).

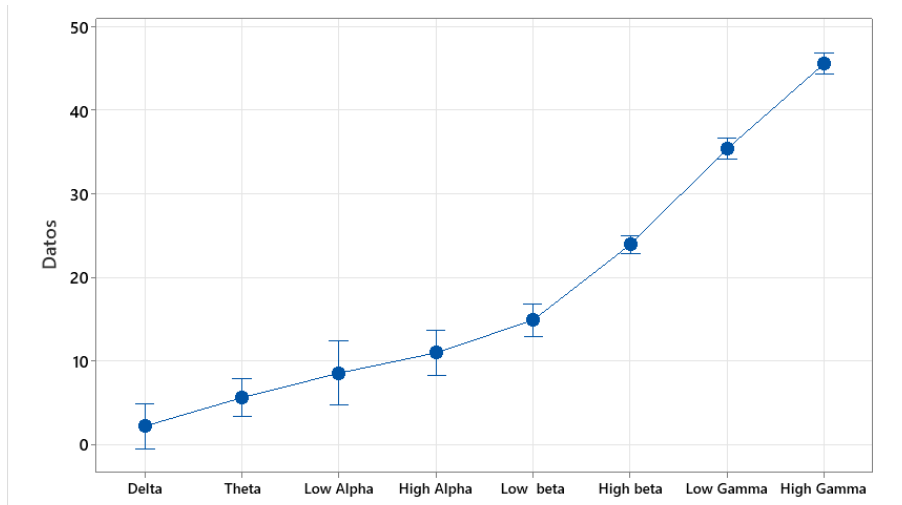


Ilustración 16. Bandas de frecuencias en niños con TEA

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, las otras bandas de frecuencia (como alpha, beta y gamma) no mostraron diferencias significativas entre los niños con y sin TEA durante la actividad de colorear por varias razones. Por ejemplo, la banda alpha está asociada con la relajación mental y la calma, y son similares en ambos grupos, ya que tanto los niños con TEA como los niños sin TEA experimentan un estado de relajación similar mientras se involucraban en la actividad de colorear. Del mismo modo, las bandas beta y gamma, asociadas con la atención enfocada y la percepción sensorial, respectivamente, no difieren significativamente entre los grupos debido a la naturaleza general de la tarea de colorear y las habilidades cognitivas requeridas para realizarla.

La única diferencia significativa en la actividad cerebral durante la actividad de colorear entre niños con y sin TEA fue en la banda de frecuencia theta y se explica por las diferencias en la atención sostenida y la concentración entre los grupos. Mientras que otras bandas de frecuencia no mostraron diferencias significativas debido a la naturaleza específica y general de la tarea de colorear, así como a las habilidades cognitivas compartidas entre los niños con y sin TEA durante esta actividad (Ilustración 17).

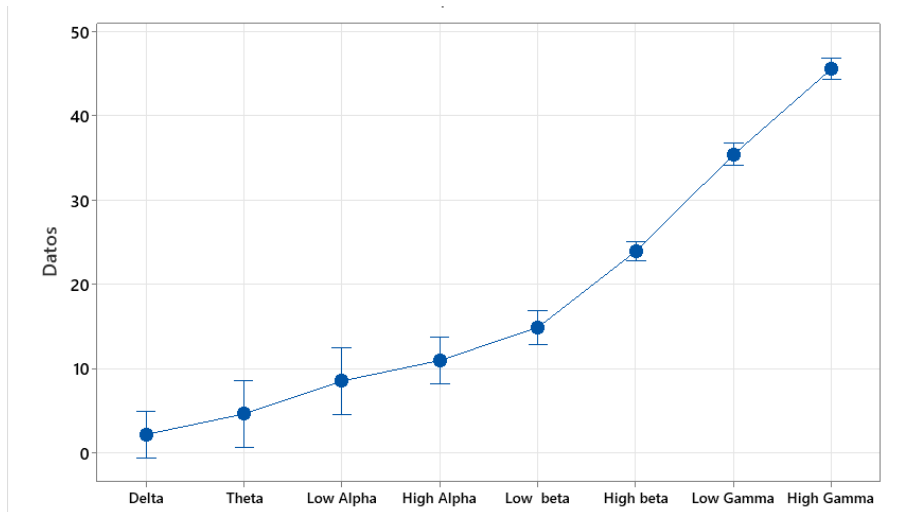


Ilustración 17. Bandas de frecuencia en niños con desarrollo típico

Fuente: Elaboración propia

- Cornhole

A través de la evaluación del juego de cornhole, se observó que los niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA) mostraron una mayor activación en las bandas de frecuencia theta y high beta en comparación con los niños sin TEA. Esta diferencia en la actividad cerebral puede atribuirse a las distintas estrategias y enfoques que cada grupo de niños empleó durante el juego.

En primer lugar, la banda de frecuencia theta (4-8 Hz) está asociada con la atención sostenida y la concentración en una tarea específica. Durante la evaluación del juego de cornhole, los niños con TEA demostraron un mayor compromiso con la tarea y una búsqueda activa de estrategias para anotar puntos y ganar el juego.

Este enfoque más centrado y concentrado se reflejó en una mayor activación en la banda theta en su actividad cerebral, ya que estaban dedicando recursos cognitivos significativos para mantener la atención en el juego y planificar sus movimientos (Ilustración 18).

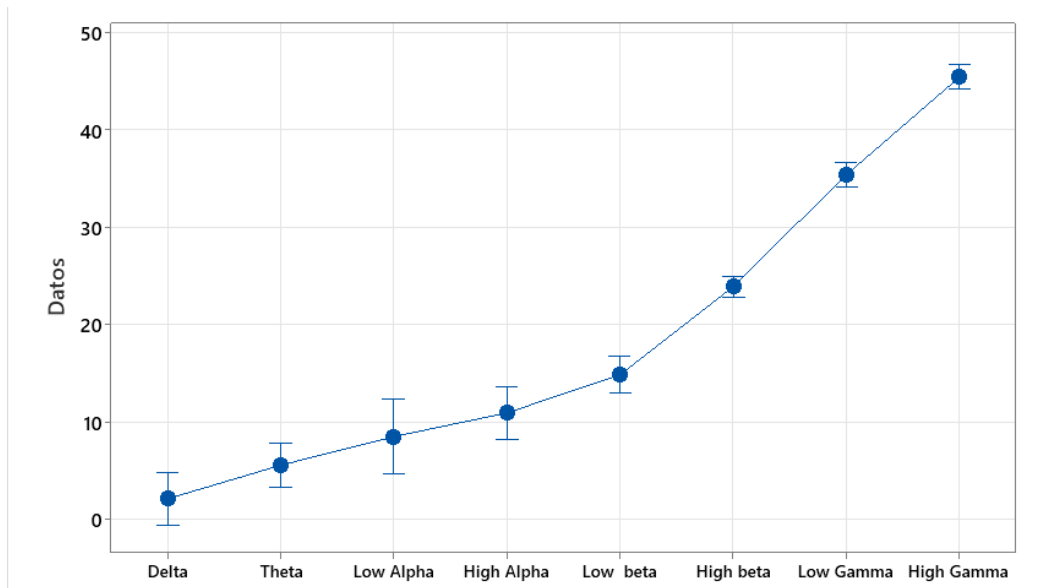


Ilustración 18. Bandas de frecuencia en niños con DT (Cornhole)

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, la banda de frecuencia high beta (20-30 Hz) está asociada con la atención enfocada y el procesamiento cognitivo activo. Los niños con TEA, al buscar estrategias para anotar puntos y ganar el juego, estaban involucrados en un procesamiento cognitivo más intenso y una planificación estratégica más detallada. Esto se reflejó en una mayor activación en la banda high beta en su actividad cerebral, ya que estaban empleando habilidades cognitivas avanzadas para desarrollar y ejecutar sus estrategias de juego.

Por el contrario, los niños con desarrollo típico (DT), que mostraron un enfoque menos estratégico durante el juego de cornhole y simplemente buscaban ganar sin emplear estrategias específicas, pueden haber experimentado una menor activación en las bandas de frecuencia theta y high beta. Su enfoque menos centrado en la planificación estratégica y la concentración en la tarea resultó en una menor necesidad de activar estas bandas de frecuencia, ya que estaban menos comprometidos con el procesamiento cognitivo activo y la atención sostenida durante el juego (Ilustración 19).

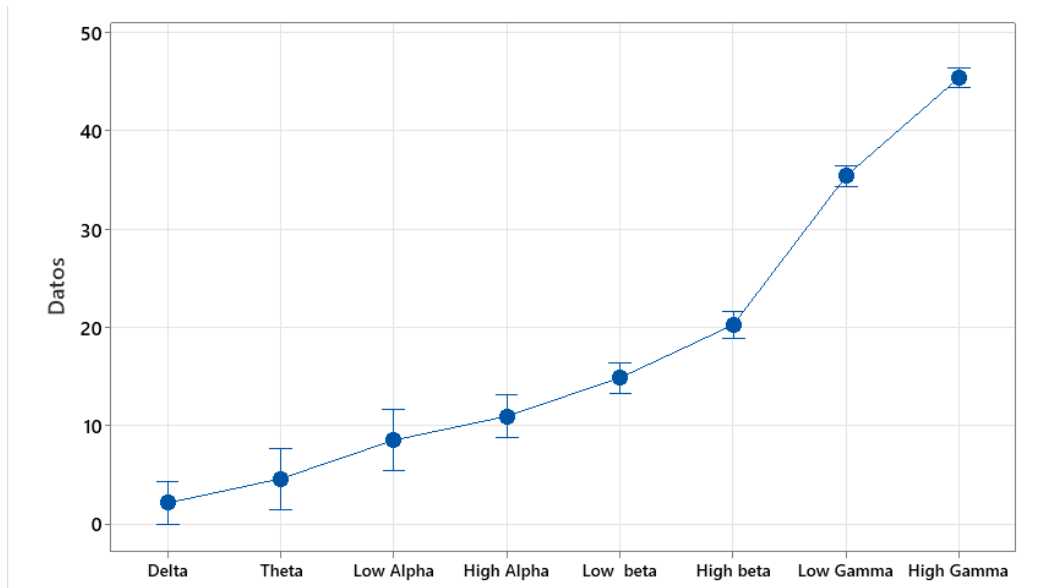


Ilustración 19 Bandas de frecuencia en niños con TEA (Cornhole)

Fuente: Elaboración propia

- Juego de bolos

Durante la investigación, se observó una diferencia en las ondas cerebrales, específicamente en las bandas de frecuencia theta y gamma, entre los dos grupos de niños. Los niños sin TEA mostraron una actividad relativamente baja en la banda de frecuencia theta y una actividad variable en la banda gamma, mientras que los niños con TEA exhibieron una actividad más alta en ambas bandas.

La diferencia en la banda de frecuencia theta se explica por las diferencias en el nivel de concentración y enfoque entre los dos grupos. Se sabe que la banda theta está asociada con la atención sostenida y el procesamiento cognitivo durante las tareas. En este contexto, los niños con TEA mostraron una mayor actividad en la banda theta debido a un mayor esfuerzo cognitivo y concentración durante el juego de bolos. Esta concentración adicional fue impulsada por su interés particular en seguir las reglas del juego o en alcanzar un objetivo específico, como derribar los bolos. Por otro lado, los niños sin TEA experimentaron una menor actividad en la banda theta

debido a un nivel de concentración y compromiso cognitivo menos intenso durante la actividad (Ilustración 20).

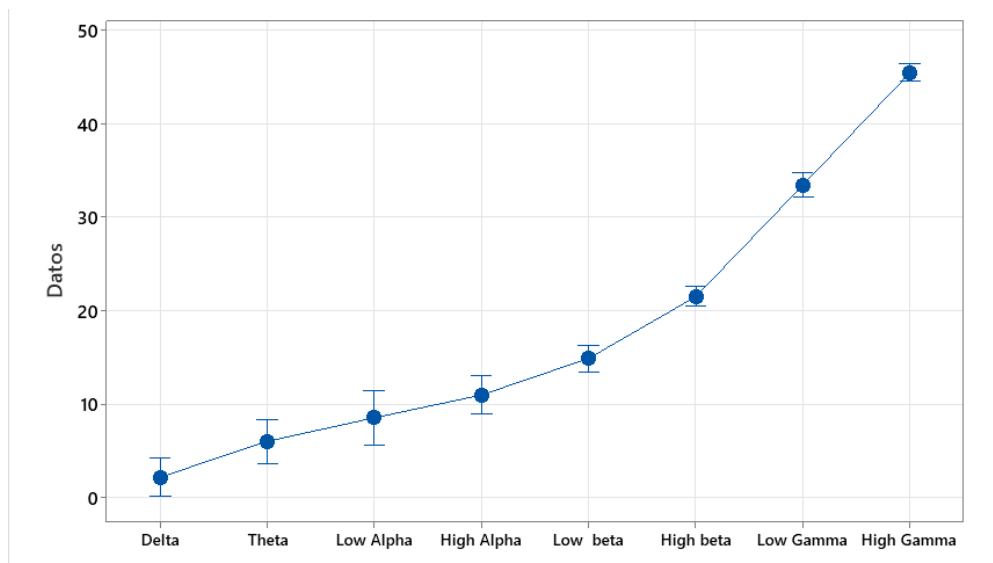


Ilustración 20. Bandas de frecuencia en niños con DT (juego de bolos)

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la diferencia en la banda de frecuencia gamma, se atribuye a las diferencias en la respuesta sensorial entre los dos grupos. La banda gamma está asociada con la percepción sensorial y la integración sensoriomotora. Los niños con TEA tienen una sensibilidad sensorial aumentada, lo que significa que experimentan una mayor respuesta a los estímulos sensoriales en su entorno. Por lo tanto, es plausible que hayan mostrado una mayor activación en la banda gamma durante el juego de bolos debido a una mayor estimulación sensorial en comparación con los niños sin TEA, cuya respuesta sensorial podría haber sido más moderada.

Los hallazgos del estudio sugieren que las diferencias en la actividad cerebral entre niños con y sin TEA durante el juego de bolos pueden estar relacionadas con las características cognitivas y sensoriomotoras únicas de cada grupo. Los niños con TEA mostraron una mayor concentración y sensibilidad sensorial durante la actividad, lo que se reflejó en su patrón de actividad cerebral en las bandas theta y gamma. Estos resultados proporcionan una perspectiva

invaluable sobre cómo las características del TEA pueden influir en la experiencia y el rendimiento de los niños durante actividades cotidianas como el juego de bolos (Ilustración 21).

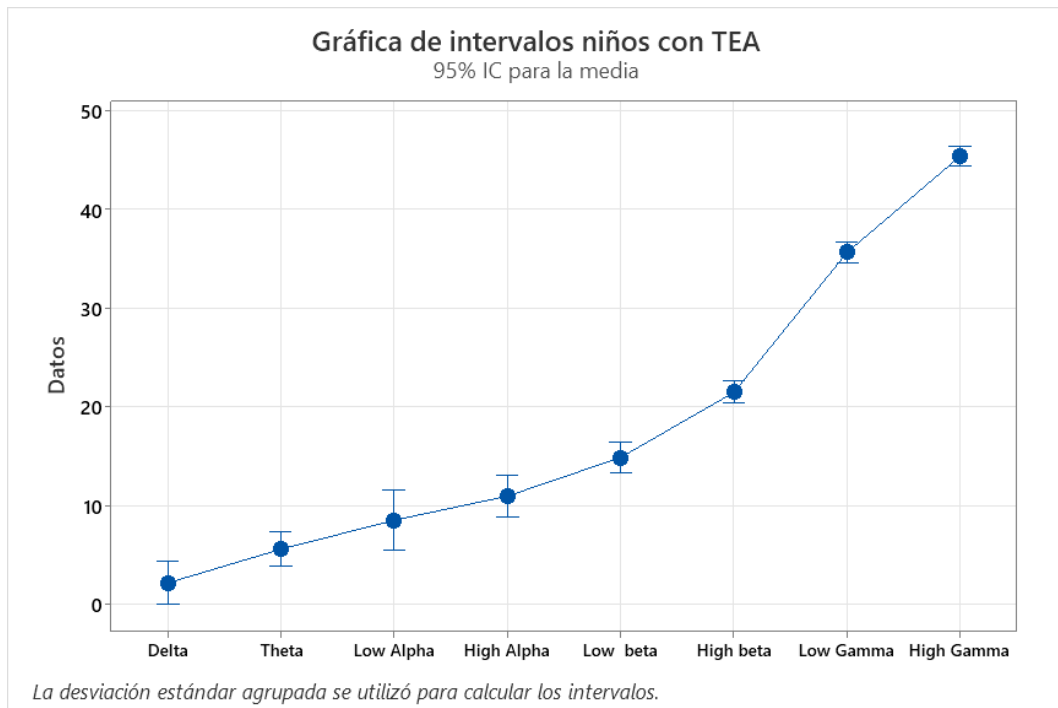


Ilustración 21. Bandas de frecuencia en niños con TEA (juego de bolos)

Fuente: Elaboración propia

5.7.2 Diferencias comparativas de las bandas de frecuencia

Después de recopilar los datos de las bandas de frecuencia de ambos grupos, se llevó a cabo un análisis estadístico para confirmar las diferencias numéricas y comprender el alcance de estas diferencias en cada tipo de actividad. Se utilizó el software Minitab para esta tarea, ya que nos permitió generar tablas y gráficos estadísticos que facilitaron la comparación entre los dos grupos. Este enfoque ayudó a entender mejor cómo difieren las respuestas cerebrales entre niños con y sin TEA durante los tres tipos de actividades.

Se empleó la "Estadística Descriptiva" como método principal para analizar los datos de cada participante. Esta herramienta ayudó a comprender las características de los conjuntos de datos, como calcular promedios, medianas, desviaciones estándar y otros datos relevantes.

Además, se utilizó la prueba de la "t de 2 Muestras", que nos permitió comparar las medias de dos grupos de datos diferentes y determinar si existían diferencias significativas entre ellos.

Esta prueba es comúnmente utilizada cuando se busca contrastar dos conjuntos de datos, como en este caso, donde evaluamos las bandas de frecuencia de cada participante. Utilizar estos métodos permitió obtener información precisa sobre cómo difieren las respuestas cerebrales entre los dos grupos estudiados.

Para la realización de la comparativa entre ambos grupos, se utilizó las herramientas de estimación de la diferencia y la estadística significativa. Este enfoque permitió examinar los rangos de diferencia entre cada banda de frecuencia por sujeto. La estimación de la diferencia y la identificación de la estadística significativa son importantes para validar la consistencia y fiabilidad de los resultados.

5.7.2.1 Visualización comparativa en la actividad coloreando

Las estadísticas derivadas en cuanto a la estimación de diferencia (Tabla 8) de la muestra del grupo con DT y TEA en la actividad coloreando indicaron que la estimación de la diferencia fue de -0.978. Lo cual indico que la media obtenida de la banda de frecuencia "theta" era aproximadamente 0.978 veces mayor en niños con TEA que la media de niños con DT. El intervalo de confianza del 95% para la diferencia fue de (-2,126; 0,169). Esto significa que hubo un 95% de probabilidad de que la verdadera diferencia en la potencia de la banda de frecuencia theta entre niños con y sin autismo estuviera entre -2,126 y 0,169 (Tabla 8). Lo cual indico que la única banda de frecuencia que mostró cambio fue theta, pero que fue bastante mínima la diferencia.

Tabla 15. Estimación de la diferencia - (actividad de colorear)

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
-0.978	(-2.126; 0.169)

Fuente: Elaboración propia

El valor p para el niño con TEA fue de 0.040 (Tabla 8). Debido que el valor fue inferior al nivel establecido el cual fue de 0,05 la hipótesis nula se rechaza. Lo cual indico que si existió una diferencia entre las medias de ambos grupos evaluados en la actividad de colorear.

Tabla 16. Resultados de pruebas en aplicación de T de 2 muestras – juego coloreando

Hipótesis nula	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$	
Hipótesis alterna	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$	
Valor T	GL	Valor p
2.19	5	0.040

Fuente: Elaboración propia

De este modo, en el gráfico de análisis de los "valores individuales" (Ilustración 22), se mostró cómo se distribuyeron los datos de las bandas de frecuencia theta entre niños con trastorno del espectro autista y niños con desarrollo típico. Se notó una tendencia en la que los valores registrados por los niños con TEA tendieron a ser más altos en la banda de frecuencia Theta en comparación con los niños con desarrollo típico.

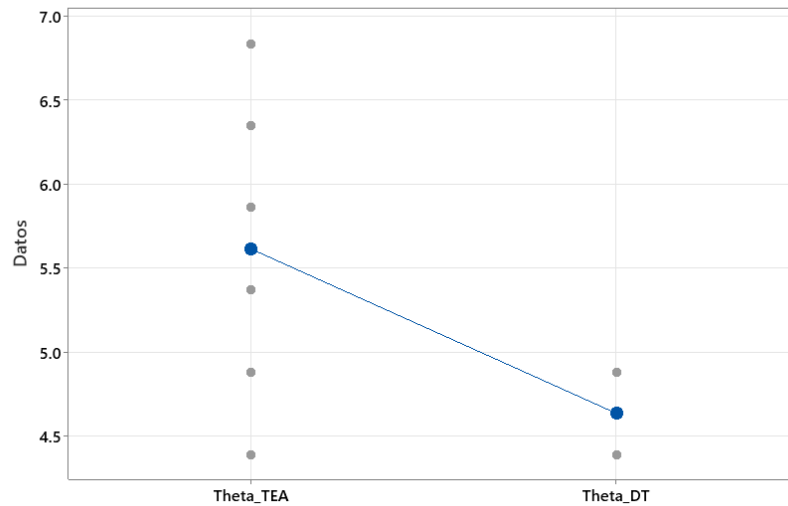


Ilustración 22. Gráfico de valores individuales

Fuente: Elaboración propia

5.7.2.2 Visualización comparativa en el juego cornhole

En el segundo juego, actividad de cornhole, se disparidad en la alta beta, mostraba un nivel mayor en bandas de frecuencia observadas en los niños con desarrollo típico (Tabla 10).

<u>Diferencia</u>	<u>IC de 95% para la diferencia</u>
-3.664	(-5.412; -1.917)

que consistía en la encontró una donde el niño con TEA comparación con las

Tabla 17. Estimación de la diferencia banda beta - juego cornhole

Fuente: Elaboración propia

El valor obtenido para la prueba de valor p fue de 0.000 Este valor indica que se rechaza la hipótesis nula, ya que es menor que 0.05, lo que sugiere que existe una diferencia significativa entre las medias de la onda "high beta" para ambos grupos mientras están en la actividad de cornhole (Tabla 11).

Tabla 18. Resultados de prueba en aplicación de T de 2 muestras – juego cornhole

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

<u>Valor T</u>	<u>GL</u>	<u>Valor p</u>
-4.27	32	0.000

Fuente: Elaboración propia

Se destacó un incremento considerable en la banda theta del niño diagnosticado con Trastorno del Espectro Autista (TEA). Estos resultados coincidieron con los datos presentados en la tabla adjunta, donde se puso de manifiesto una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los dos grupos. Este hallazgo refuerza la idea de que existe una marcada disparidad en las respuestas neurológicas entre niños con TEA y aquellos con desarrollo típico, específicamente en lo que respecta a la actividad cerebral relacionada con la banda de frecuencia high gamma.

Para la banda de frecuencia theta siempre tomando como referencia el juego de cornhole se pudo percatar que la estimación de la diferencia entre las medias fue de 0.978, con un intervalo de confianza del 95% entre los rangos de -2.126 y 0.169, lo que brindo valores posibles de dicha discrepancia y sus límites (Tabla 12).

Tabla 19. Estimación de la diferencia banda theta – juego cornhole

Hipótesis nula	IC de 95% para la $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Fuente: Elaboración

Valor T	GL	Valor p
-2.19	5	0.080

propia

Se obtuvo un valor

estadístico

de prueba (valor p) el cual fue de 0.080. Al obtener este valor se pudo decir que se rechaza la hipótesis nula ya que es menor a los 0,05 esto indica que si hay diferencia significativa para las medias de la banda de frecuencia evaluada para los dos grupos de niños (Tabla 13).

Tabla 20. Resultados de la banda theta en aplicación de T de 2 muestras – juego cornhole

Fuente: Elaboración propia

5.7.2.3 Visualización comparativa en el juego de bolos

En el tercer juego, que involucraron bolos, se estudió la diferencia en la actividad de la banda theta entre los dos grupos. La diferencia media encontrada fue de 0.413, con un intervalo de confianza del 95% que va desde 0.803 hasta 1.630. Esto significa que la actividad de la banda theta en el tercer juego fue en promedio 0.413 más alta en uno de los grupos en comparación con el otro, con un grado de certeza del 95% de que el verdadero valor de la diferencia estuvo dentro del intervalo proporcionado (Tabla 14).

Tabla 21. Estimación de la diferencia banda theta – juego bolos

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
0.413	(-0.803; 1.630)

Fuente: Elaboración propia

Se calculó un valor de prueba específico (valor p) de 0.437. Dado que este valor supera el umbral de significancia convencional de 0.05, no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula. En otras palabras, no se encontraron diferencias sustanciales o estadísticamente significativas en la actividad de la banda de frecuencia theta durante el juego de bolos (Tabla 15).

Tabla 22. Resultados de la banda theta en aplicación de T de 2 muestras – juegos bolos

Hipótesis nula	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$	
Hipótesis alterna	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$	
Valor T	GL	Valor p
0.83	6	0.437

Fuente: Elaboración propia

Las estadísticas para el juego de bolos, evaluando la banda de frecuencia "gamma", mostraron que la media de los sujetos con desarrollo típico fue de 33.41 y la de los niños con TEA fue de 35.65, lo que resulta en una diferencia de 2.238 entre ambos grupos. El intervalo de confianza para esta diferencia se observó entre 3.89 y 0.647. Los límites del intervalo se sitúan entre -3.82 y -0.64 (Tabla 16).

Tabla 23. Estimación de la diferencia banda gamma – juego bolos

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
-2.238	(-3.829; -0.647)

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a los resultados de la prueba de hipótesis, se concluyó que existe una diferencia entre los grupos, ya que el valor p obtenido fue de 0.08. Este valor sugiere que hay una probabilidad del 8% de obtener una diferencia tan grande o más grande entre los grupos si la diferencia real fuera cero. En otras palabras, aunque el valor p no es menor que el umbral de significancia convencional de 0.05, aún indico cierta evidencia de diferencia entre los grupos (Tabla 17).

Tabla 24. Resultados de la banda gamma en aplicación de T de 2 muestras – juegos bolos

Hipótesis nula	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$		
Hipótesis alterna	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$		
	Valor T	GL	Valor p
	-2.90	24	0.008

Fuente: Elaboración propia

5.8 Validación de sistema

5.8.1 Visualización del headplot del OpenBCI

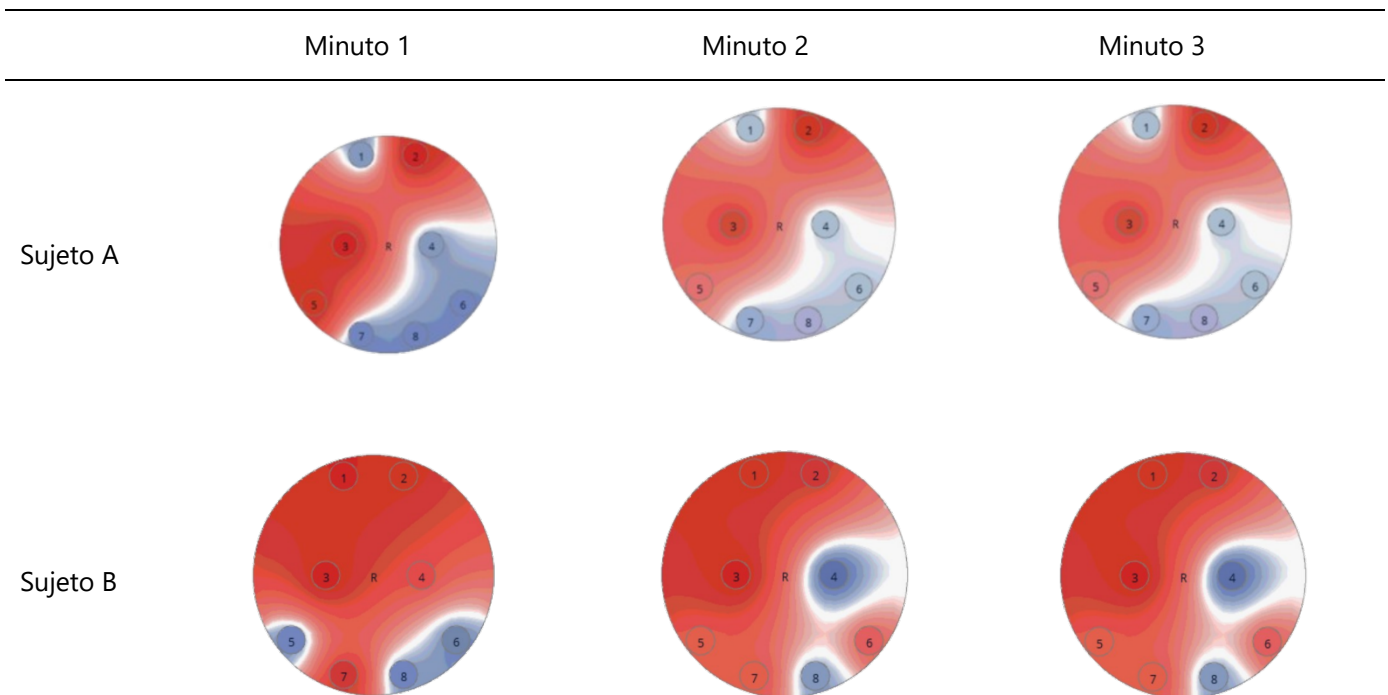
- Actividad colorear

En el grupo #1 (niños con DT), al evaluar al sujeto A, se observó una actividad en los electrodos 2, 3 y 5 durante la actividad de colorear. Esta actividad se mantuvo constante a lo largo de los 3 minutos de la prueba, sin mostrar variaciones significativas. El electrodo 2, asociado al lóbulo frontal, sugiere que el niño estaba dedicado a la planificación y la toma de decisiones mientras coloreaba, organizando qué colores utilizar y cómo llevar a cabo la tarea. Por otro lado, el electrodo 3, relacionado con el lóbulo parietal, se debe a que el sujeto estaba concentrado en la percepción espacial y la coordinación motora necesarias para colorear áreas específicas de la imagen.

Asimismo, el electrodo 5, vinculado al lóbulo temporal, revelaba que el sujeto estaba empleando la memoria para recordar cómo colorear ciertas partes de la imagen. Estas observaciones sugieren que el sujeto tal vez estaba comprometido en diversas funciones cognitivas durante la actividad de colorear, como la planificación, la coordinación motora y la memoria. Aunque no se registraron cambios significativos en la actividad cerebral a lo largo de los 3 minutos, la constancia en la actividad de estos electrodos indica una dedicación continua del sujeto a la tarea en cuestión

Para el sujeto B del grupo #1, se detectó una mayor actividad en los electrodos 1, 2, 3, 4 y 7 durante la tarea de colorear. Al igual que en el caso del sujeto A, esta actividad sugiere una implicación significativa del lóbulo frontal, representado por los electrodos 1 y 2, en la planificación y la toma de decisiones relacionadas con la selección de colores. Ambos sujetos mostraron un patrón similar de desarrollo durante la actividad, con la diferencia de que el sujeto B exhibió una mayor actividad en el electrodo 4 y no mostró actividad en el electrodo 5. A pesar de estas variaciones, ambos sujetos lograron resultados comparables al finalizar la tarea (Tabla 18).

Tabla 25. Resultados headplot– grupo #1 DT (coloreando)



Fuente: Elaboración propia

En el grupo #2, específicamente en el sujeto A, se observa una mayor actividad cerebral en varios electrodos durante el primer minuto de la actividad. Sin embargo, esta tendencia se mantiene constante durante los tres minutos de la actividad, excepto por una diferencia en los electrodos 4 y 6 en el primer minuto. El electrodo 4, ubicado en el lóbulo parietal, está asociado con funciones como la percepción espacial, la atención y el procesamiento del lenguaje.

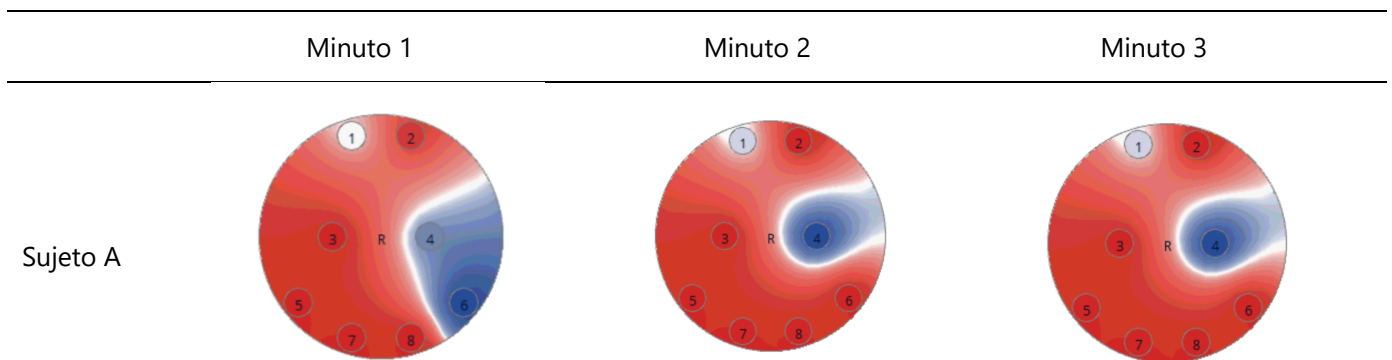
La menor actividad en este electrodo sugiere dificultades en la coordinación motora fina y la atención durante la tarea de colorear, ya que el sujeto tendía a salirse de las líneas. Por otro lado, el electrodo 6, relacionado con el lóbulo temporal y la memoria a largo plazo, también muestra menor actividad, lo que podría indicar una menor implicación de la memoria durante la tarea.

En contraste, se registra una mayor actividad en los electrodos 7 y 8, correspondientes al lóbulo occipital, encargado de funciones visuales como la visión, la coordinación motora y la

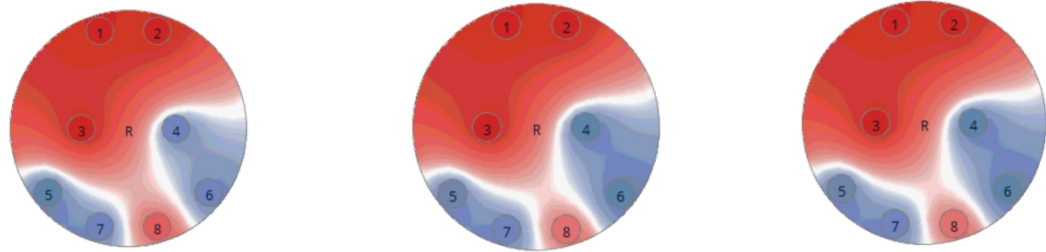
percepción del color. Esta mayor actividad sugiere que el sujeto estaba utilizando activamente la visión para observar el dibujo y seleccionar los colores adecuados durante la actividad de colorear.

Para el sujeto B del grupo #2, se observa un patrón de comportamiento constante a lo largo de los tres minutos de prueba. Se registra una mayor actividad en los electrodos 1, 2, 3 y 8, lo que sugiere una mayor implicación de los lóbulos frontal, parietal y occipital durante la realización de la tarea. Sin embargo, se destaca una diferencia con respecto al sujeto A del mismo grupo: hubo una menor actividad en el electrodo 5, lo que indica una menor utilización de la memoria a largo plazo por parte del sujeto durante la actividad (Tabla 19).

Tabla 26. Resultados headplot- grupo #2 (coloreando)



Sujeto B



Fuente: Elaboración propia

- Juego cornhole

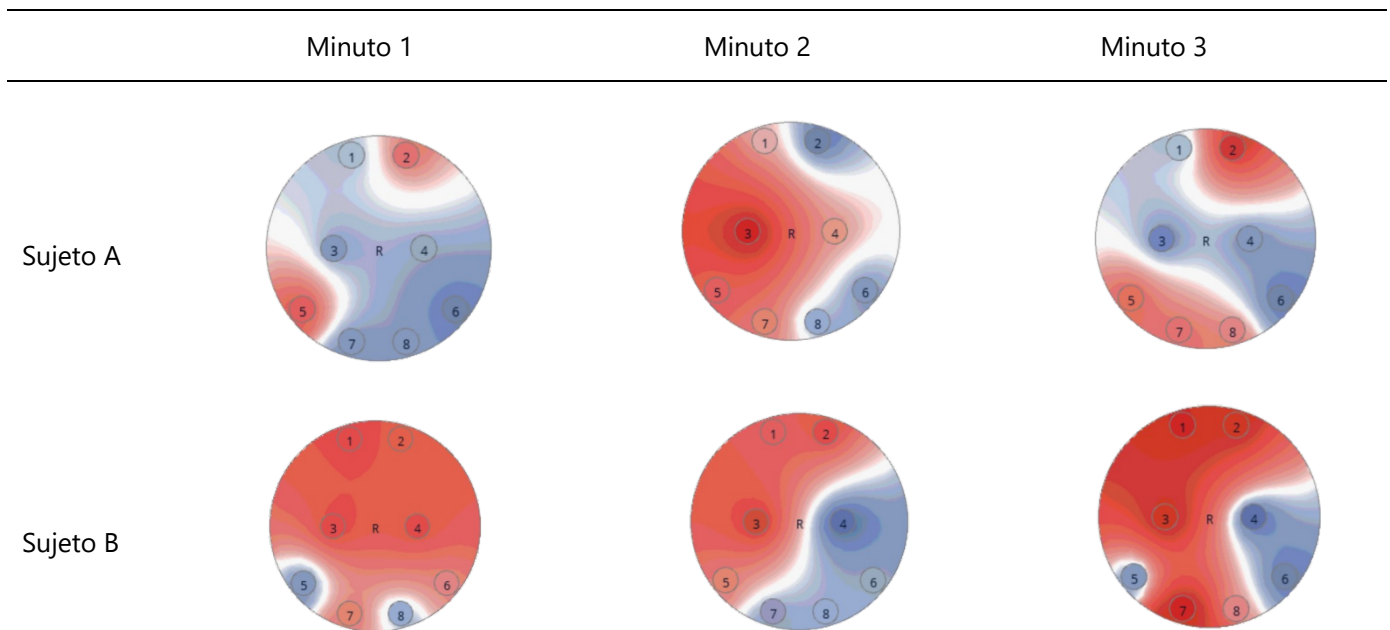
Para el primer minuto, el sujeto A del grupo #1 muestra una actividad cerebral no muy significativa, lo cual podría deberse al hecho de que el juego estaba comenzando y aún no estaban familiarizados con él, lo que podría haber generado cierta dificultad inicial. Sin embargo, para el segundo minuto se observa un aumento en la actividad en los lóbulos frontal, parietal, temporal y occipital.

El incremento en el lóbulo frontal sugiere que el niño estaba planeando cómo lanzar la bolsa, tomando decisiones sobre la fuerza y dirección del lanzamiento. La actividad en el lóbulo parietal indica que estaba tal vez era porque estaba percibiendo la ubicación de la bolsa, la tabla de madera y el objetivo, prestando atención a la tarea en curso. La activación en el lóbulo temporal sugiere que estaba utilizando su memoria a largo plazo para recordar las reglas del juego y su posición en el campo.

Sin embargo, no se observa actividad en el canal 6, lo que podría indicar un desempeño medio en esa área de la tarea. Además, aunque el canal 7 está activo, el canal 8 no lo está, lo que sugiere que, a pesar de usar su visión para ver la bolsa y la tabla, se pudo haber debido a que el niño no lograba coordinar completamente sus movimientos. Hubo un gran cambio en el minuto 3 en el cual el canal 3 y 4 no muestran gran actividad y esto se podría deberse a que el sujeto no estaba atento y no presentó una percepción espacial (Tabla 20).

Para el segundo sujeto del grupo #1, en el primer minuto se observa un alto interés en el juego, reflejado en una actividad en todos los electrodos excepto en los canales 5 y 8. Sin embargo, para el segundo minuto, se nota una disminución en la actividad en el lóbulo parietal (canal 4), lo que sugiere una menor percepción espacial y atención durante ese período. Además, en los lóbulos occipitales (canales 7 y 8), se evidencia una falta de coordinación en los movimientos oculares y manuales necesarios para lanzar la bolsa. En el tercer minuto, la única diferencia es la falta de actividad en el lóbulo temporal (canal 5), lo que indica una menor implicación de la memoria por parte del participante en ese momento.

Tabla 27. Resultados headplot-Grupo #1 (cornhole)



Fuente: Elaboración propia

Para el sujeto A del grupo #2, en el primer minuto se evidencia dificultad para adaptarse al juego, reflejado en una falta de actividad en los lóbulos frontales (canales 1 y 2), lo que sugiere una limitada capacidad de planificación en ese momento inicial. Además, en el canal 5 (lóbulo temporal), se observa una falta de actividad relacionada con la memoria a largo plazo, lo que puede atribuirse al hecho de que el juego apenas estaba comenzando y aún no se había adaptado por completo.

Para el segundo minuto, con el sujeto ya familiarizado con las reglas del juego, se observa un aumento en la actividad en todos los canales, lo que indica una mayor implicación cognitiva durante ese período. Sin embargo, para el tercer minuto, se nota una rápida disminución en la actividad del canal 3 (lóbulo parietal), lo que puede sugerir una percepción deficiente de la ubicación de la bolsa en relación con la tabla.

Para el sujeto B, en el primer minuto se observa una concentración en la mayoría de los canales, excepto en el canal 4 (lóbulo parietal), donde hay una menor actividad lo que se podría relacionar con la percepción espacial y la atención. Por otro lado, en el canal 6 (lóbulo temporal), se muestra una actividad considerable, sugiriendo una implicación significativa de la memoria durante ese período inicial de la actividad.

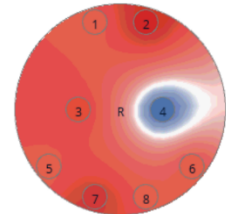
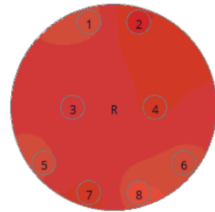
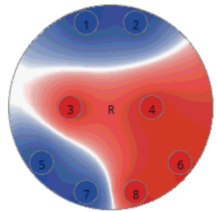
En el segundo minuto, se registra un aumento generalizado en la actividad cerebral, lo que sugiere un mayor compromiso cognitivo por parte del sujeto en relación con el juego. Sin embargo, el canal 6 sigue mostrando una falta de actividad, lo que podría deberse a una posible estabilidad en el nivel de implicación de la memoria durante este período.

La mayor diferencia se observa en el tercer minuto, donde se registra una disminución en la actividad del canal 4 (lóbulo parietal), lo que podría indicar una pérdida de enfoque o atención en la tarea de ubicar la bolsa en el agujero de la tabla. Además, los canales 5 y 6 (lóbulo temporal) tampoco muestran actividad, lo que sugiere una disminución en el uso de la memoria en este momento. En cuanto al canal 7 (lóbulo occipital), aunque muestra actividad, se observa una reducción en los movimientos oculares, mientras que el electrodo 8 está activo, lo que puede indicar una ligera disminución en la coordinación de los movimientos manuales en comparación con los movimientos oculares (Tabla 21).

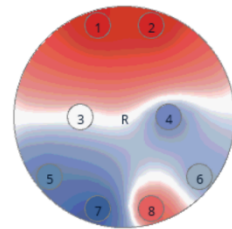
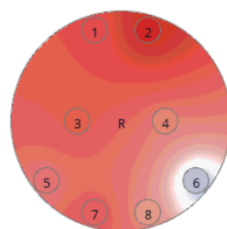
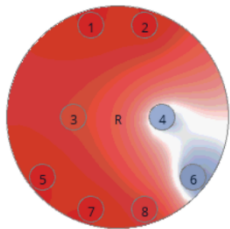
Tabla 28. Resultados headplot- Grupo #2 (cornhole)

Minuto 1	Minuto 2	Minuto 3
----------	----------	----------

Sujeto A



Sujeto B



Fuente: Elaboración propia

- Juego de bolos

En el grupo #1, el sujeto A mostró una mayor actividad en los electrodos 1 y 2, (lóbulo frontal), esto podría deberse a que el niño estaba dedicando atención a la planificación del lanzamiento de la bola de bolos, deberse a que estaba tomando decisiones sobre la fuerza y la dirección del lanzamiento, y utilizando su memoria de trabajo para recordar las reglas del juego y su posición en la pista. Además, se observa actividad en el electrodo 5, relacionado con el lóbulo temporal, lo que indica que el niño podría estar recordando las reglas del juego para guiar su participación.

En el segundo minuto del juego, se nota una diferencia en los electrodos 7 y 8, (lóbulo occipital) esto sugiere que el niño estaba utilizando su visión para observar la bola de bolos, los bolos y la pista, y coordinando sus movimientos oculares y manuales para lanzar la bola de bolos de manera efectiva. Esta coordinación visual y motora es esencial para el éxito en el juego de

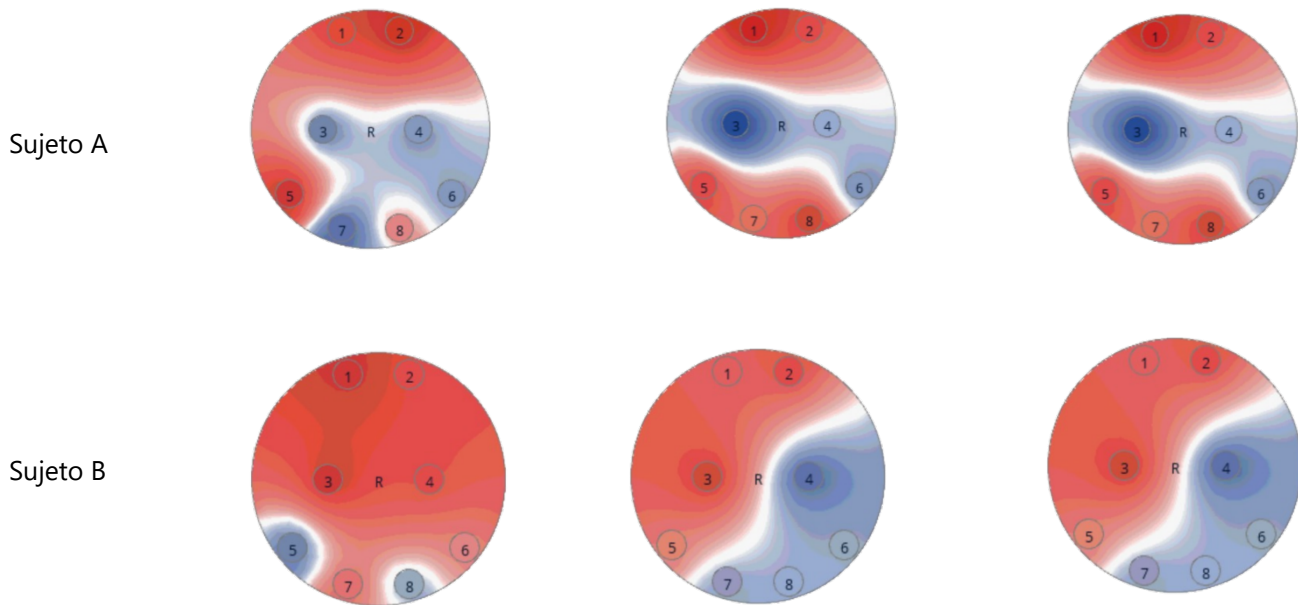
bolos. En el tercer minuto, esta actividad se mantiene estable, lo que podría indicar una continuidad en la implicación del niño en el juego.

Para el sujeto B del grupo, se observa una mayor actividad en casi todas las áreas cerebrales en el primer minuto, excepto en el electrodo 5 (lóbulo temporal) y el electrodo 8 (lóbulo occipital). Esto podría deberse a que el niño no estaba recordando las reglas del juego para orientar su participación y tampoco estaba usando su visión de manera efectiva para observar la bola de bolos ni coordinando sus movimientos para lanzar la bola.

En el segundo minuto, quizá se debe a que existía una dificultad de adaptación del niño al juego, evidenciada por una menor actividad en el electrodo 4, asociado al lóbulo parietal. Esto podría indicar que el niño no estaba percibiendo adecuadamente la ubicación de la bola de bolos, lo que podría afectar su capacidad para jugar. Además, los electrodos 7 y 8, (lóbulos occipitales), también muestran menor actividad, lo que sugiere una deficiencia en el uso de la visión para coordinar los movimientos necesarios para lanzar la bola de bolos con precisión. Para el tercer minuto se mantiene (Tabla 22).

Tabla 29. Resultados headplot- Grupo #1 (juego bolos)

Minuto 1	Minuto 2	Minuto 3
----------	----------	----------



Fuente: Elaboración propia

Para el sujeto A del grupo #2, en el primer minuto se observa una mayor actividad en casi todas las áreas cerebrales, excepto en el electrodo 1 que muestra una actividad más baja, indicada por el color azul. Esto sugiere que el niño estaba comenzando su juego y aún le costaba lanzar las bolas de bolos de manera efectiva para derribar los bolos.

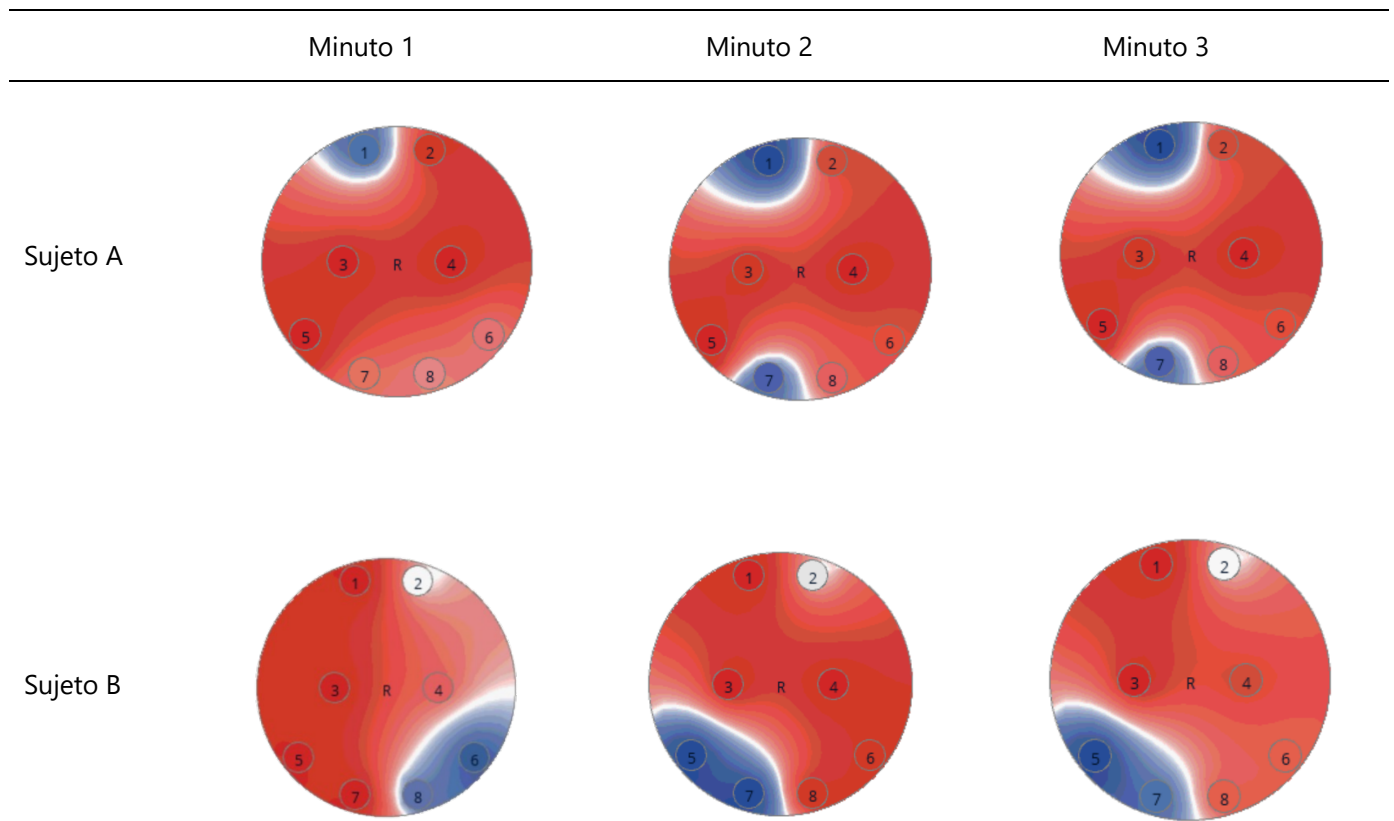
En el segundo minuto, el electrodo 1 continúa mostrando una actividad baja, lo que podría indicar que el niño aún estaba teniendo dificultades para planificar adecuadamente cómo lanzar la bola de bolos, a pesar de percibir la ubicación de la bola, los bolos y la pista y el electrodo 7 (lóbulo occipital) hay menor actividad porque aún no se lograba una correcta puntería para lanzar la bola lo cual tiene que ver con la visión. Esta tendencia se mantiene en el tercer minuto, donde no se observan cambios significativos en la actividad cerebral (Tabla 23).

Para el sujeto B, en el primer minuto se observa una concentración de actividad en casi todo su cerebro, indicada por la presencia de colores activos en la mayoría de los electrodos. Sin embargo, el electrodo 8, relacionado con el lóbulo occipital, muestra una menor actividad, lo que sugiere dificultades en la visión o la coordinación necesaria para lanzar la bola de bolos con

precisión. Además, el electrodo 6 también muestra una menor actividad, lo que podría estar relacionado con la memoria del sujeto.

En el segundo y tercer minuto, la distribución de la actividad cerebral se mantiene constante en su mayor parte, con cambios mínimos en la posición de algunos electrodos, como el 5, 6, 7 y 8. Estos cambios no alteran significativamente la interpretación, ya que indican la persistencia de los mismos desafíos en visión, coordinación y memoria a lo largo de la actividad.

Tabla 30. Resultados headplot- Grupo #2 (juego bolos)



Fuente: Elaboración propia

Determinar un resultado de banda de frecuencia específico basado únicamente en la actividad observada en los lóbulos de manera precisa y definitiva puede ser difícil. La actividad cerebral medida por los electrodos proporciona información sobre la actividad eléctrica en

diferentes regiones del cerebro, pero no permite una identificación directa de las bandas de frecuencia.

Las diferentes bandas de frecuencia, como delta, theta, alfa, beta y gamma, están asociadas con diferentes estados de actividad cerebral y funciones cognitivas. Sin embargo, la actividad observada en los lóbulos puede ser el resultado de una combinación de diferentes bandas de frecuencia y no necesariamente reflejar una banda de manera exclusiva. Además, la actividad cerebral es altamente dinámica y puede variar en función de diversos factores como la tarea realizada, el estado emocional, la atención, entre otros.

La actividad en los diferentes lóbulos cerebrales está relacionada con distintas bandas de frecuencia: el lóbulo frontal se asocia principalmente con las bandas alfa, beta y gamma; el lóbulo parietal con las bandas beta y gamma; el lóbulo temporal con las bandas alfa, beta y gamma; y el lóbulo occipital también con las bandas alfa, beta y gamma.

5.8.2 Diferencia o comparación de los resultados obtenidos– actividad colorear

Al analizar los resultados de la actividad de colorear en ambos grupos, se observó una similitud significativa. Ambos grupos mostraron un comportamiento similar durante la actividad de colorear, lo que sugiere que esta tarea no representaba un desafío significativo para ninguno de los dos grupos. Se encontró que los electrodos 1, 2, 3 y 4, asociados principalmente con las ondas beta y alfa, presentaron una mayor actividad en ambos grupos.

Además, al procesar las señales y utilizar estadísticas, se observó que los niños con TEA mostraron un aumento en la banda de frecuencia theta durante la actividad de colorear. Esto sugiere que, a pesar de las similitudes generales en la actividad cerebral durante esta tarea entre los niños con y sin TEA, hubo una diferencia específica en la actividad de la banda de frecuencia theta asociada con la atención y la concentración en los niños con TEA. Estadísticamente la diferencia fue bien pequeña solamente se trabajo con 2 niños con desarrollo típico y dos niños con TEA, pero es la única diferencia que se puede resaltar.

5.8.3 Relación o comparación de los resultados obtenidos – actividad cornhole

Durante el juego, se observó que los niños con TEA mostraban una mayor actividad en los canales 1, 2, 3 y 4 del lóbulo frontal y parietal. Aunque estos niños pueden enfrentar desafíos en áreas como el procesamiento sensorial, algunos estudios sugieren que tienen una capacidad de concentración más intensa en ciertas tareas. Durante el juego, se pudo notar que disfrutaban participar activamente y buscaban estrategias para mejorar su desempeño, en lugar de simplemente competir por ganar.

Los niños con TEA suelen mostrar conductas como el aislamiento social, movimientos repetitivos y dificultades en el lenguaje. Durante el juego, su inclinación hacia los detalles o patrones específicos se hizo evidente, ya que se enfocaban en aspectos como la alineación del lanzamiento de la bolsa y la fuerza necesaria para hacerlo. Esto sugiere una mayor actividad en los lóbulos frontal y parietal, asociados con la planificación y la percepción espacial, mientras buscaban estrategias para mejorar su desempeño en el juego.

Los datos estadísticos indican que los niños con TEA experimentaron un aumento en la actividad de la onda beta durante el juego. Como la onda beta está asociada con las funciones del lóbulo frontal y parietal, esto respalda la precisión de los resultados obtenidos en el headplot.

5.8.4 Diferencia o comparación de los resultados obtenidos – juego de bolos

Para el tercer juego, se observó una diferencia en la actividad cerebral de los niños con TEA. Se registró un aumento significativo en las bandas de frecuencia theta y gamma, lo cual coincide con los resultados obtenidos en el análisis de los datos. Esta mayor excitación cerebral lo que explica el desempeño sobresaliente de los niños con TEA en el juego de bolos. Es importante destacar que los niños autistas tienden a mostrar comportamientos repetitivos, lo que contribuyó a su habilidad para desempeñarse bien en esta actividad específica. Además, es relevante mencionar que el entorno durante el juego, con la presencia únicamente del padre y la investigadora, puede haber contribuido a que los niños con TEA se sintieran más cómodos y menos ansiosos, lo que habría facilitado su participación y su éxito en el juego.

Se observó claramente que los comportamientos de los niños con TEA fueron bastante similares. Esto se debe al hecho de que ambos niños tenían un nivel moderado de TEA. Se ha establecido que hay distintos niveles de autismo y, generalmente, cuanto más alto es el nivel, más severo es el comportamiento del niño.

5.9 Recomendaciones y mejoras

Al momento de realizar las pruebas, se recomienda el uso de cascos diseñados específicamente para niños, dado que el ultracortex utilizado resultó ser un poco grande para los niños. Esto puede afectar la calidad de los datos obtenidos y dificultar el adecuado seguimiento de la actividad cerebral durante las pruebas. Además, para garantizar la seguridad y estabilidad del casco durante la sesión, se aconseja asegurarlo con una correa debajo de la cabeza del niño, lo que ayudará a prevenir cualquier inconveniente como la caída accidental del dispositivo o la posibilidad de que el niño se lo quite durante el experimento.

Por otro lado, es fundamental considerar la importancia de trabajar con un grupo de participantes más amplio en futuras investigaciones. Aumentar el tamaño de la muestra permitirá obtener una representación más completa y diversa de la población objetivo, lo que contribuirá a la validez y generalización de los resultados. Además, un mayor número de sujetos de estudio facilitaría la identificación de posibles patrones o tendencias en la actividad cerebral, así como la detección de diferencias más sutiles entre grupos, lo que enriquecería el análisis y la interpretación de los datos recopilados.

Sería útil proponer juegos que no involucren tanta actividad física para los niños. Esto ayudaría a que se mantengan más quietos, lo que a su vez facilitaría la obtención de datos precisos y detallados. Se podría considerar juegos en los que los niños permanezcan sentados, lo que permitiría recopilar más información y hacer comparaciones más exhaustivas. Además, sería beneficioso analizar las ondas cerebrales durante estas actividades, lo que podría proporcionar una comprensión más completa de los factores que se están estudiando.

También sería beneficioso explorar otras variables de investigación para obtener una perspectiva más completa. Por ejemplo, se podría examinar cómo el género influye en los

resultados, si es relevante trabajar con diferentes grupos de edad en los niños y evaluar su funcionamiento cognitivo. Incorporar estas variables permitiría comprender mejor los diversos factores que pueden influir en los efectos de las actividades recreativas en la actividad cerebral de los niños con TEA.

VI. DISCUSIÓN

(García-Monge et al., 2020) en su investigación reveló que se debía de trabajar con juegos donde fueran de la preferencia de los participantes de esta manera poder tener mejores resultados, esto se tuvo en cuenta al momento de seleccionar los juegos con los que se trabajaron en este estudio. En comparativa con este estudio en ambas investigaciones se establecieron 3 diferentes tipos de juegos para poder tener 3 diferentes tipos de resultados.

Las señales EEG se han utilizado para poder evaluar las funciones cognitivas. Este estudio investigó la relación entre la complejidad de las actividades recreativas y la actividad cerebral específica en niños con Trastorno del Desarrollo (TD) y Trastorno del Espectro Autista (TEA), utilizando las ondas cerebrales como medida objetiva. A continuación, se discuten los principales hallazgos y sus implicaciones en los campos de la salud y la educación.

Dado que el juego "colorear" presentó ser una tarea sencilla para los niños la diferencia fue bastante mínima lo único que se mostró fue que los niños con TEA tuvieron un incremento de valor en la banda theta, el análisis estadístico posterior confirmó que esta diferencia era mínimamente significativa. Así mismo para el juego "cornhole" se encontró un aumento únicamente en los niños con TEA en las bandas theta y beta igualmente la diferencia es mínima estadísticamente. Para el juego de "bolos" también la diferencia fue en el grupo con TEA se incrementó su banda gamma y theta y las estadísticas confirmaron que la diferencia fue mínima, pero si existente. Quizás esto pudo deberse a la corta duración de cada juego (3 minutos).

Los resultados revelaron una correlación significativa entre la complejidad de las actividades recreativas y los patrones de ondas cerebrales. Se observó que, a medida que la actividad se volvía más compleja, se destacaba una mayor activación en una de las bandas de

frecuencia, asociada con el procesamiento cognitivo avanzado y la resolución de problemas complejos. Estos hallazgos respaldan la noción de que, conforme las actividades se vuelven más complejas, el cerebro de los niños enfrenta mayores demandas cognitivas durante su ejecución.

En segundo lugar, se encontró que, aunque los valores de las bandas de frecuencia eran similares en cada juego, variaban ligeramente en el grupo de niños con TEA dependiendo de la complejidad de la actividad. Esto sugiere que la actividad cerebral puede ser sensible a la complejidad de la tarea y que los patrones de activación pueden variar en función de esta complejidad. Se necesita de una muestra más grande para confirmar esta tendencia.

Además, se observó que los dos niños con TEA exhibieron una excelente memoria de repetición, lo que se reflejó en resultados similares entre ellos. Aunque pueden experimentar dificultades en otras áreas de la memoria, como la memoria episódica o la memoria de trabajo, algunos individuos con TEA pueden demostrar habilidades destacadas en la memorización de ciertos tipos de información, como secuencias numéricas o palabras.

Estos hallazgos sugieren que comprender cómo la complejidad de las actividades afecta la actividad cerebral en niños con DT y TEA puede tener importantes implicaciones tanto en la práctica clínica como en el diseño de intervenciones educativas para mejorar el rendimiento cognitivo y adaptativo en estos grupos de población.

Es de importancia resaltar que estos hallazgos brindan información valiosa para la evaluación y diagnóstico del TEA. La comprensión de las fortalezas y debilidades en la memoria de individuos con TEA puede ayudar a los profesionales de la salud a identificar patrones cognitivos específicos asociados con el trastorno. La identificación de habilidades sobresalientes, como la memoria de repetición, puede guiar el desarrollo de intervenciones y programas de tratamiento personalizados. Las estrategias de intervención pueden diseñarse para capitalizar las fortalezas del individuo y abordar áreas de dificultad, lo que potencialmente mejora los resultados del tratamiento.

VII. CONCLUSIONES

1. Las actividades de tipo motor fueron elegidas producto de la lectura de métodos de otros investigadores y la identificación de actividades consideró las variables de edad, género y cualidades de los participantes que fueron escogidos para el estudio. En el caso de las actividades de tipo ocular, las actividades encontraron fundamento en los casos propuestos por dos estudios en los que se sugirió una asociación entre las bandas de frecuencia beta y theta con las actividades cognitivas del cerebro humano.
2. Las micro columnas neuronales son conexiones corticales que cuando están en un proceso evolutivo en los niños con TEA tienen una menor cantidad de micro columnas lo que les lleva a tener una alteración gabaérgica que tiene que ver con el neurotransmisor gaba, al producirse esto se producen mayores señales excitatorias, por esta alteración evolutiva, en el transcurso del tipo que se marca más en los niños con TEA y por eso es que este tipo de actividades ellos tienen una mayor excitación neuronal.
3. Durante el análisis, se encontraron diferencias significativas en el comportamiento de las bandas de frecuencia de ambos grupos evaluados al resolver juegos de diferentes niveles de complejidad. Al estudiar detenidamente los datos obtenidos, se observaron patrones distintos en términos de amplitud y sincronización de las señales cerebrales en relación con la complejidad de los problemas planteados. Sin embargo, debido a que se trabajó con una pequeña cantidad de participantes no se puede determinar un resultado.
4. Los resultados que se lograron obtener demostraron que las actividades recreativas tienen un impacto significativo en el desarrollo cognitivo y emocional de niños con y

sin TEA. Estos hallazgos resaltan la importancia de proporcionar oportunidades de participación en actividades recreativas adaptadas a las necesidades individuales de los niños, ya que estas actividades pueden promover el desarrollo integral en múltiples áreas, incluyendo la cognición y la regulación emocional. Además, sugieren que la inclusión de actividades recreativas en programas de intervención puede ser una estrategia efectiva para mejorar el bienestar y la calidad de vida de los niños con TEA, así como fomentar la inclusión y la interacción social con sus pares neurotípicos.

VIII. REFERENCIAS

- Acharya, U. R., Hagiwara, Y., Deshpande, S. N., Suren, S., Koh, J. E. W., Oh, S. L., Arunkumar, N., Ciaccio, E. J., & Lim, C. M. (2019). Characterization of focal EEG signals: A review. *Future Generation Computer Systems*, 91, 290-299. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.08.044>
- Aljshamee, M., Alsabab, R., Mousa, A. H., & Alsabbagh, A. (2020). (Portable) Low-cost electroencephalogram (EEG) Recorder for Brain computer-interface (BCI). *2020 11th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICCCNT49239.2020.9225592>
- Alturki, F. A., AlSharabi, K., Abdurraqeab, A. M., & Aljalal, M. (2020). EEG Signal Analysis for Diagnosing Neurological Disorders Using Discrete Wavelet Transform and Intelligent Techniques. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 20(9), 2505. <https://doi.org/10.3390/s20092505>
- Anuragi, A., Sisodia, D. S., & Pachori, R. B. (2021). Automated FBSE-EWT based learning framework for detection of epileptic seizures using time-segmented EEG signals. *Computers in Biology and Medicine*, 136, 104708. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2021.104708>
- Autismo*. (2023, diciembre 15). <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/autism-spectrum-disorders>

- Bouallegue, G., Djemal, R., Alshebeili, S. A., & Aldhalaan, H. (2020). A Dynamic Filtering DF-RNN Deep-Learning-Based Approach for EEG-Based Neurological Disorders Diagnosis. *IEEE Access*, 8, 206992-207007. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3037995>
- Chrisilla, S., Ragav, T. R., Vidhusha, S., & Kavitha, A. (2021). Investigating Cognitive Global Coordination in normal and autistic children using virtual reality environments – An EEG Study. *2021 10th International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering (NER)*, 1016-1019. <https://doi.org/10.1109/NER49283.2021.9441259>
- Djemal, R., AlSharabi, K., Ibrahim, S., & Alsuwailam, A. (2017). EEG-Based Computer Aided Diagnosis of Autism Spectrum Disorder Using Wavelet, Entropy, and ANN. *BioMed Research International*, 2017, 9816591. <https://doi.org/10.1155/2017/9816591>
- García-Monge, A., Rodríguez-Navarro, H., González-Calvo, G., & Bores-García, D. (2020). Brain Activity during Different Throwing Games: EEG Exploratory Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(18), 6796. <https://doi.org/10.3390/ijerph17186796>
- Genovese, A., & Ellerbeck, K. (2022). Autism Spectrum Disorder: A Review of Behavioral and Psychiatric Challenges Across the Lifespan. *SN Comprehensive Clinical Medicine*, 4(1), 217. <https://doi.org/10.1007/s42399-022-01302-1>
- Grossi, E., Valbusa, G., & Buscema, M. (2021). Detection of an Autism EEG Signature From Only Two EEG Channels Through Features Extraction and Advanced Machine Learning Analysis.

Clinical EEG and Neuroscience, 52(5), 330-337.
<https://doi.org/10.1177/1550059420982424>

Habeeb, E., Ghazal, N., & Majzoub, S. (2019). Behavior Analysis Tool for Autistic Children Using EEG Signals. *2019 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/ICASET.2019.8714498>

Haputhanthri, D., Brihadiswaran, G., Gunathilaka, S., Meedeniya, D., Jayawardena, Y., Jayarathna, S., & Jaime, M. (2019). An EEG based Channel Optimized Classification Approach for Autism Spectrum Disorder. *2019 Moratuwa Engineering Research Conference (MERCCon)*, 123-128. <https://doi.org/10.1109/MERCCon.2019.8818814>

Junwei, L., Ramkumar, S., Emayavaramban, G., vinod, D. F., Thilagaraj, M., Muneeswaran, V., Pallikonda Rajasekaran, M., Venkataraman, V., & Hussein, A. F. (2019). Brain Computer Interface for Neurodegenerative Person Using Electroencephalogram. *IEEE Access*, 7, 2439-2452. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2886708>

Martínez-Morga, M., Paz Quesada, M., Bueno, C., & Martínez, S. (2019). Bases neurobiológicas del autismo y modelos celulares para su estudio experimental. *Medicina (Buenos Aires)*, 79(1), 27-32.

Newson, J. J., & Thiagarajan, T. C. (2018). EEG Frequency Bands in Psychiatric Disorders: A Review of Resting State Studies. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12, 521. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00521>

- Sanz, A. (2022, marzo 7). ¿Por qué no se diagnostica a muchas niñas autistas? *Fundacion ConecTEA - Juntos en el Autismo*. <https://www.fundacionconectea.org/2022/03/07/por-que-no-se-diagnostica-a-muchas-ninas-autistas/>
- Shams, M., & Sagheer, A. (2020). A natural evolution optimization based deep learning algorithm for neurological disorder classification. *Bio-Medical Materials and Engineering*, 31(2), 73-94. <https://doi.org/10.3233/BME-201081>
- Shaw, K. A., Maenner, M. J., Baio, J., Washington, A., Christensen, D. L., Wiggins, L. D., Pettygrove, S., Andrews, J. G., White, T., Rosenberg, C. R., Constantino, J. N., Fitzgerald, R. T., Zahorodny, W., Shenouda, J., Daniels, J. L., Salinas, A., Durkin, M. S., & Dietz, P. M. (2020). Early Identification of Autism Spectrum Disorder Among Children Aged 4 Years—Early Autism and Developmental Disabilities Monitoring Network, Six Sites, United States, 2016. *MMWR Surveillance Summaries*, 69(3), 1-11. <https://doi.org/10.15585/mmwr.ss6903a1>
- Sudirman, R., Hussin, S. S., Airij, A. G., & Hai, C. Z. (2018). Profile Indicator for Autistic Children Using EEG Biosignal Potential of Sensory Tasks. *2018 2nd International Conference on BioSignal Analysis, Processing and Systems (ICBAPS)*, 136-141. <https://doi.org/10.1109/ICBAPS.2018.8527403>
- Tawheed, P., Mollick, J., Sakib, N., & Islam, Md. K. (2021). Development of a Low-cost PC-based Single-channel EEG Acquisition System for Educational and Research Purpose. *2021 IEEE 9th Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/R10-HTC53172.2021.9641637>

- Wang, L., Ding, X., Zhang, W., & Yang, S. (2021). Differences in EEG Microstate Induced by Gaming: A Comparison Between the Gaming Disorder Individual, Recreational Game Users and Healthy Controls. *IEEE Access*, 9, 32549-32558. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3060112>
- Yang, K.-W., Oh, K., & Ha, S. (2020). Challenges in Scaling Down of Free-Floating Implantable Neural Interfaces to Millimeter Scale. *IEEE Access*, 8, 133295-133320. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3007517>
- Yáñez, C., Maira, P., Elgueta, C., Brito, M., Crockett, M. A., Troncoso, L., López, C., Troncoso, M., Yáñez, C., Maira, P., Elgueta, C., Brito, M., Crockett, M. A., Troncoso, L., López, C., & Troncoso, M. (2021). Estimación de la prevalencia de trastorno del Espectro Autista en población urbana chilena. *Andes pediátrica*, 92(4), 519-525. <https://doi.org/10.32641/andespediatr.v92i4.2503>
- Zhao, J., Zhang, Z., Wan, L., Li, X., & Kang, J. (2021). [Electroencephalogram feature extraction and classification of autistic children based on recurrence quantification analysis]. *Sheng Wu Yi Xue Gong Cheng Xue Za Zhi = Journal of Biomedical Engineering = Shengwu Yixue Gongchengxue Zazhi*, 38(4), 663-670. <https://doi.org/10.7507/1001-5515.202010082>

IX.ANEXOS

Anexo 1. Consentimiento firmado por padres de familia



San Pedro Sula Honduras – 18/1/2024

Buenas tardes, padre de familia:

Es un placer dirigirme a usted con la esperanza de que sus labores diarias sean fructíferas. Al mismo tiempo, me permito solicitarle la autorización correspondiente para que la alumna **Isis Iliana Martinez Menjivar**, estudiante de la carrera de Ingeniería Biomédica en la Universidad Tecnológica Centroamericana, pueda utilizar las señales de EEG del menor **Joel David Pineda Morales** en el marco de su proyecto de investigación actual.

La finalidad de este permiso es facilitar el acceso y la recopilación de datos de las señales electroencefalográficas, contribuyendo así al avance de la investigación que realiza la alumna mencionada. Este proyecto será ejecutado de manera anónima, garantizando la confidencialidad y privacidad de los datos involucrados. Se implementarán medidas y protocolos rigurosos para asegurar el anonimato de la información recopilada durante el desarrollo de la investigación.

Agradezco de antemano su atención y colaboración en este asunto. Quedo a disposición para proporcionar cualquier información adicional que pueda requerir.

Atentamente,

Ing. Manuel Gamero

Isis Iliana Martinez

Padre de familia

Anexo 2. Consentimiento firmado por padres de familia



San Pedro Sula Honduras – 18/1/2024

Buenas tardes, padre de familia:

Es un placer dirigirme a usted con la esperanza de que sus labores diarias sean fructíferas. Al mismo tiempo, me permito solicitarle la autorización correspondiente para que la alumna **Isis Iliana Martinez Menjivar**, estudiante de la carrera de Ingeniería Biomédica en la Universidad Tecnológica Centroamericana, pueda utilizar las señales de EEG del menor **Francisco André Bardales Pastrana** en el marco de su proyecto de investigación actual.

La finalidad de este permiso es facilitar el acceso y la recopilación de datos de las señales electroencefalográficas, contribuyendo así al avance de la investigación que realiza la alumna mencionada. Este proyecto será ejecutado de manera anónima, garantizando la confidencialidad y privacidad de los datos involucrados. Se implementarán medidas y protocolos rigurosos para asegurar el anonimato de la información recopilada durante el desarrollo de la investigación.

Agradezco de antemano su atención y colaboración en este asunto. Quedo a disposición para proporcionar cualquier información adicional que pueda requerir.

Atentamente,

Ing. Manuel Gamero

Isis Iliana Martinez

Padre de familia

Anexo 3. Consentimiento firmado por padres de familia



San Pedro Sula Honduras – 18/1/2024

Buenas tardes, padre de familia:

Es un placer dirigirme a usted con la esperanza de que sus labores diarias sean fructíferas. Al mismo tiempo, me permito solicitarle la autorización correspondiente para que la alumna **Isis Iliana Martinez Menjivar**, estudiante de la carrera de Ingeniería Biomédica en la Universidad

Tecnológica Centroamericana, pueda utilizar las señales de EEG del menor **Mauricio Zaid Mejía Oliva en** el marco de su proyecto de investigación actual.

La finalidad de este permiso es facilitar el acceso y la recopilación de datos de las señales electroencefalográficas, contribuyendo así al avance de la investigación que realiza la alumna mencionada. Este proyecto será ejecutado de manera anónima, garantizando la confidencialidad y privacidad de los datos involucrados. Se implementarán medidas y protocolos rigurosos para asegurar el anonimato de la información recopilada durante el desarrollo de la investigación.

Agradezco de antemano su atención y colaboración en este asunto. Quedo a disposición para proporcionar cualquier información adicional que pueda requerir.

Atentamente,

Ing. Manuel Gamero

Isis Iliana Martinez

Padre de familia

Anexo 4. Consentimiento firmado por padres de familia



San Pedro Sula Honduras – 18/1/2024

Buenas tardes, padre de familia:

Es un placer dirigirme a usted con la esperanza de que sus labores diarias sean fructíferas. Al mismo tiempo, me permito solicitarle la autorización correspondiente para que la alumna **Isis**

Iliana Martinez Menjivar, estudiante de la carrera de Ingeniería Biomédica en la Universidad Tecnológica Centroamericana, pueda utilizar las señales de EEG del menor **Caleb Noé Velásquez Meyer** en el marco de su proyecto de investigación actual.

La finalidad de este permiso es facilitar el acceso y la recopilación de datos de las señales electroencefalográficas, contribuyendo así al avance de la investigación que realiza la alumna mencionada. Este proyecto será ejecutado de manera anónima, garantizando la confidencialidad y privacidad de los datos involucrados. Se implementarán medidas y protocolos rigurosos para asegurar el anonimato de la información recopilada durante el desarrollo de la investigación.

Agradezco de antemano su atención y colaboración en este asunto. Quedo a disposición para proporcionar cualquier información adicional que pueda requerir.

Atentamente,

Ing. Manuel Gamero

Isis Iliana Martinez

Padre de familia

Anexo 5. Resultado de las actividades

Tabla 31. Resultados de los dibujos coloreados por grupo

Fuente: Elaboración propia









Grupo #1			
Sujeto A			
Sujeto B			
Grupo #2			
Sujeto A			
Sujeto B			

Tabla 32. Sujetos en la actividad coloreando

Grupo #1	
Sujeto A	
Sujeto B	
Grupo #2	
Sujeto A	
Sujeto B	

Fuente: Elaboración propia