

<https://doi.org/10.23913/ride.v15i30.2476>

Artículos científicos

Detección de discalculia con el uso de encefalograma

Detection of Dyscalculia Using Electroencephalogram

Detecção de discalculia com uso de encefalograma

Lizarazu, Samuel Joseph

Universidad Autónoma de Querétaro, México

samuel.lizarazu@uaq.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0003-1506-5782>

Sandra Luz Canchola Magdaleno

Universidad Autónoma de Querétaro, México

sandra.canchola@uaq.mx

<https://orcid.org/0000-0002-7497-281>

Resumen

El artículo explora la detección de la discalculia mediante electroencefalogramas (EEG), destacando diferencias en las ondas cerebrales theta y gamma como indicadores de este trastorno del aprendizaje. Se analizaron niños con y sin discalculia, mostrando que quienes presentan este trastorno tienen mayor actividad en las ondas theta y menor en las ondas gamma, lo que sugiere alteraciones en atención y funciones cognitivas. El EEG se propone como herramienta útil para el diagnóstico temprano y el diseño de intervenciones educativas específicas que permitan la inclusión matemática.

Palabras clave: discalculia, electroencefalograma, inclusión matemática.

Abstract

The article explores the detection of dyscalculia using electroencephalograms (EEG), highlighting differences in theta and gamma brain waves as indicators of this learning disorder. Children with and without dyscalculia were analyzed, showing that those with the condition exhibit higher theta activity and lower gamma activity, suggesting alterations in attention and cognitive functions. EEG is proposed as a valuable tool for early diagnosis and the design of specific educational interventions.



Keywords: discalculia, electroencefalogram, mathematical inclusion.

Resumo

Este artigo explora a detecção de discalculia por meio de eletroencefalogramas (EEG), destacando diferenças nas ondas cerebrais teta e gama como indicadores desse transtorno de aprendizagem. Crianças com e sem discalculia foram analisadas, mostrando que aquelas com esse transtorno apresentam maior atividade nas ondas teta e menor nas ondas gama, sugerindo alterações na atenção e nas funções cognitivas. O EEG é proposto como uma ferramenta útil para o diagnóstico precoce e o planejamento de intervenções educacionais específicas que apoiem a inclusão na matemática.

Palavras-chave: discalculia, eletroencefalograma, inclusão na matemática.

Fecha Recepción: Diciembre 2024

Fecha Aceptación: Junio 2025

Introducción

Los trastornos del aprendizaje se han estudiado desde finales del siglo XIX. El término dificultades de aprendizaje (DA) describe un trastorno en el desarrollo del habla, lenguaje, lectura, escritura o habilidades matemáticas que afecta a más del 15 % de la población en el mundo (Caro & Polanco, 2018).

Sin embargo, a lo largo de la historia se han acuñado diferentes términos que si bien no son sinónimos, buscan describir procesos similares. La ley de educación para todos los niños con minusvalías de 1975 en EE. UU. (Education of All Handicapped Children Act of 1975) utilizó el término “deficiencias especiales en el aprendizaje”. Por su parte el Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales en su cuarta edición (DSM-IV) refiere al uso del término “trastorno del aprendizaje”. Otros autores usan los términos “dificultad específica del aprendizaje”, “dislexia evolutiva”, “dificultades del aprendizaje”, entre otros (Goikoetxea, 2012).

Actualmente, la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-11) utiliza el término “Trastorno del desarrollo del aprendizaje”, el cual comprende dificultades significativas y persistentes en el aprendizaje de habilidades académicas, desde la lectura, escritura o aritmética y no es generado a partir del desarrollo intelectual, discapacidad sensorial, trastorno neurológico o motor, falta de disponibilidad de educación, falta de dominio del idioma de instrucción académica o adversidad psicosocial (Organización Mundial para la Salud [OMS], 2019).

La discalculia tiene sus orígenes empezando Lewandowsky y Staldmann en 1908, quienes basaron su estudio en trastornos del cálculo diferenciándolos del lenguaje, más adelante, en 1925, Henschen acuñó el término acalculia para explicar la pérdida de capacidad para el cálculo como consecuencia de un daño cerebral. Posteriormente de un año, Berger se centra en diferenciar la acalculia primaria y secundaria, reconociendo que los trastornos del cálculo pueden llevar asociadas a otras alteraciones verbales, espaciotemporales y de razonamiento.

En 1940 Gerstmann propone que la acalculia primaria está asociada con agrafía, desorientación y agnosia digital conformando el “síndrome de Gerstmann”. Finalmente, en 1974, Kosc propone el término discalculia por primera vez, con el objetivo de incluir factores como la heredabilidad y/o afección congénita del sustrato cerebral responsable de las funciones matemáticas, incluyendo además una tipología clasificatoria (Patricia & Sara, 2019):

Verbal, se caracteriza por la dificultad de nombrar cantidades, números, términos, símbolos y relaciones.

Practognóstica, recae en la dificultad para enumerar, comparar y manipular objetos matemáticamente.

Léxica, es la dificultad para la lectura de símbolos matemáticos.

Gráfica, consiste en la dificultad de la escritura de símbolos matemáticos.

Ideognóstica, se asocia a la dificultad de operaciones mentales y en la comprensión de conceptos matemáticos.

Operaciones, es la dificultad para la ejecución de operaciones y cálculos numéricos.

En 1978, Giordano propone una clasificación desde la perspectiva de la psicopedagogía dividiéndola en (Fonseca et al., 2019):

Discalculia natural. Esta se presenta en las primeras etapas del aprendizaje del cálculo y está relacionada con dificultades en la concepción del número, seriación numérica, escala, operaciones de suma y resta, cálculo mental y problemas de razonamiento.

Discalculia verdadera. Esta aparece cuando la discalculia natural no fue diagnosticada a tiempo y por consecuencia no fue tratada a tiempo, en ella se manifiesta dificultades graves en el cálculo y afecta en el aprendizaje de otras materias transversales y con el uso de las Matemáticas.

Discalculia secundaria. Es el caso más complejo que se caracteriza por un trastorno global del aprendizaje, donde también existe la dislexia o algún otro trastorno adjunto.

En 1983, Badian llevó a cabo diversas investigaciones que demostraron que las dificultades en Matemáticas prevalecen hasta en un 6% de la población, además de estar ligadas con otras dificultades como alexia y agrafia (Arnal & Batres, 2020). Poco más tarde, en 1993, Geary propone una clasificación de la discalculia basada en tres tipos de errores observados por el estudiante: error visoespacial, error de memoria semántica y error de procedimiento.

Actualmente, la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-11) que entró en vigor en 2022, describe a la discalculia como una dificultad adquirida para realizar cálculos matemáticos sencillos que no concuerda con el grado de funcionamiento intelectual de un individuo. Comienza después del período de desarrollo en personas que ya habían adquirido estas habilidades. Puede deberse a un accidente cerebrovascular o a otra lesión cerebral (Organización Mundial para la Salud [OMS], 2019).

También el Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales en su quinta edición (DSM-V) describe a la discalculia en una subcategoría de los trastornos del neurodesarrollo llamada “trastorno específico del aprendizaje” que involucra la dificultad del entendimiento de las Matemáticas (American Psychiatric Association [APA], 2014).

Por tanto, la discalculia es un trastorno específico del aprendizaje que afecta directamente a la adquisición del conocimiento sobre los números y el cálculo de operaciones y que no es causado por una frustración escolar o un mal método de aprendizaje aplicado en su formación previa, sino que se le adjudica en la actualidad mucho más a un problema congénito (Puente, 2001).

También podemos ver a la discalculia como un trastorno del aprendizaje que provoca la dificultad para la adquisición de las habilidades matemáticas en niños con una inteligencia normal, estabilidad emocional y con una formación académica estándar, la cual afecta a las actividades escolares y cotidianas (Álvarez et al., 2010).

Detección de la discalculia con encefalograma

El electroencefalograma (EEG) es fundamental en la investigación de cómo funciona el cerebro, ya que permite observar y registrar la actividad eléctrica cerebral de manera no invasiva con una resolución temporal muy alta (Müller-Putz & Wriessnegger, 2021). Esto lo convierte en una herramienta ideal para estudiar procesos cognitivos que ocurren de manera rápida y dinámica, como la atención, la memoria, el aprendizaje y la toma de decisiones (Tavares, 2020).

Un estudio titulado *"Hallazgos electroencefalográficos en niños con trastornos del aprendizaje"* investigó la correlación entre los hallazgos del EEG y diversos trastornos del aprendizaje en niños de 7 a 12 años. Los resultados indicaron que ciertas anomalías en el EEG podrían estar asociadas con dificultades específicas de aprendizaje, sugiriendo su potencial utilidad en el diagnóstico de estos trastornos (Uzcátegui Vielma et al., 2009).

De igual forma, el artículo *"Dislexia y discalculia: una revisión sistemática actual desde la neurogenética"*, revisó estudios que emplearon técnicas de neuroimagen, incluyendo el EEG, para comprender las bases neurobiológicas de la dislexia y la discalculia. La revisión destacó que el EEG ha sido una herramienta valiosa para identificar patrones de actividad cerebral asociados con estos trastornos, lo que respalda su uso en la detección y comprensión de la discalculia (De La Peña Álvarez & Bernabéu Brotóns, 2018)

Además, el artículo *"Análisis de electroencefalograma usando redes neuronales artificiales"* exploró el uso de EEG en combinación con técnicas de Inteligencia artificial para detectar trastornos neurológicos. Aunque, se centró en la epilepsia, el estudio demostró la capacidad del EEG para identificar patrones anómalos de actividad cerebral, lo que podría extrapolarse a la detección de trastornos del aprendizaje como la discalculia (Delgado et al., 2019).

Por otro lado, Cárdenas investigó la respuesta cerebral de niños con discalculia durante tareas aritméticas utilizando estadísticas potenciales relacionados con eventos (ERP). Los resultados mostraron diferencias significativas en los patrones de actividad cerebral entre niños con discalculia y aquellos con rendimiento académico típico, sugiriendo que el EEG puede ser una herramienta útil para identificar anomalías en el procesamiento aritmético asociadas con la discalculia (Cárdenas et al., 2021).

Por su parte Cainelli, realizó estudio que emplearon EEG para comprender las bases neurobiológicas de la dislexia. Aunque se centró en la dislexia, los hallazgos resaltan la utilidad del EEG en la detección de trastornos del aprendizaje relacionados con el procesamiento del lenguaje y la lectura, lo que sugiere su potencial aplicación en la discalculia (Cainelli et al., 2023).

Además, Arns analizó patrones de activación cerebral en niños con dislexia mediante EEG. Los resultados indicaron diferencias en la actividad y coherencia cerebral en comparación con niños sin dislexia, apoyando la teoría del doble déficit en la dislexia y demostrando la eficacia del EEG para identificar patrones neuronales asociados con trastornos del aprendizaje (Arns et al., 2007).

También, Cedeño enfatizó la importancia de buscar estrategias que optimicen el funcionamiento neuronal de los alumnos. Se recomienda a los maestros implementar estrategias que aprovechen las percepciones sensoriales, trabajen la memoria y capten la atención de los estudiantes, aspectos que pueden ser monitoreados y mejorados mediante el uso del EEG (Briones Cedeño & Benavides Bailón, 2021).

La mente

Para entender el término de discalculia, objeto de estudio en esta investigación, es útil primero hablar de la mente, la cual a lo largo de la historia ha tenido diferentes formas de explicar cuál es su composición y comportamiento.

Por un lado, existe la teoría del dualismo sustancialista, esta explica que la mente y el cuerpo son sustancias diferentes, por otra parte, el dualismo de propiedades expone las propiedades físicas y mentales como es la longitud, volumen, densidad, conceptos, pensamientos, sensaciones, etc. Sin embargo, ambas teorías intentan explicar la interacción entre la mente y el cuerpo (Álvarez-Espinoza & Balmaceda, 2018).

En el ámbito educativo los docentes se encuentran con el paradigma de definir si la mente tiene alguna localización o si es un sistema sin lugar físico, la mayoría de los estudios dirigidos a la educación vierte su confianza en el criterio de localización física, se asume que el cerebro constituye un elemento físico de la mente y que es el lugar en el que se establece de manera bien diferenciada la mente; cuestión que no deja de tener problemas con las propiedades físicas como el tamaño, peso, capacidad de conexión, morfología y fisiología (Ospina Carmona et al., 2022).

El cerebro

El cerebro es el órgano central del sistema nervioso y es responsable de coordinar y regular la mayoría de las funciones del cuerpo, incluyendo las emociones, los pensamientos, el movimiento y la percepción sensorial. Está compuesto principalmente por neuronas, que son células especializadas en transmitir señales eléctricas y químicas, por su parte el cerebro adulto, aunque pequeño y frágil, consume mucha energía, usando cerca del 20% de las calorías del cuerpo, incluso cuando se piensa intensamente. Históricamente, se han estudiado y clasificado sus regiones, como el lóbulo frontal y el mesencéfalo, para entender mejor sus funciones y características. Las partes exteriores del cerebro son (Dehaene, 2016)

Lóbulos frontales: Ubicados en la parte delantera del cerebro, son responsables de la planificación, el control racional y el pensamiento complejo. También supervisan la resolución de problemas y regulan el sistema emocional. La corteza prefrontal, situada justo detrás de los lóbulos frontales, se asocia con el control ejecutivo y la toma de decisiones. Este lóbulo sigue madurando hasta la adultez, lo que influye en la capacidad de concentración y control de impulsos, aspectos fundamentales en el aprendizaje de matemáticas (Park et al., 2013).

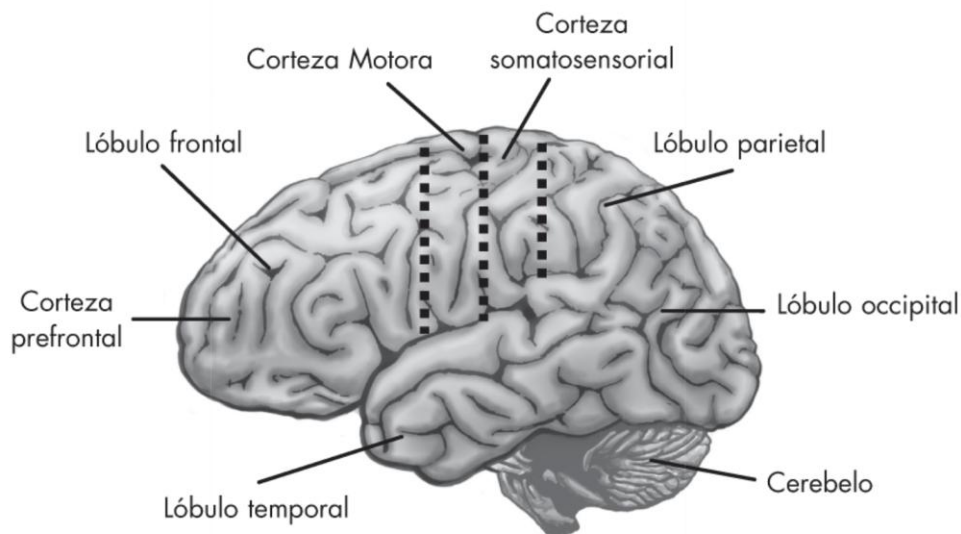
Lóbulos temporales: Localizados cerca de las orejas, se encargan de procesar sonidos, reconocer rostros y objetos, y almacenan parte de la memoria a largo plazo. También contienen áreas del lenguaje, esenciales para comprender instrucciones matemáticas y retener conceptos (Pinheiro-Chagas et al., 2018).

Lóbulos occipitales: Situados en la parte posterior del cerebro, se especializan en el procesamiento visual. Esta región es importante para interpretar gráficos, figuras geométricas y cualquier representación visual de conceptos matemáticos (RADFORD & ANDRÉ, 2009).

Lóbulos parietales: Ubicados en la parte superior del cerebro, están involucrados en la orientación espacial, el cálculo y el reconocimiento de patrones, habilidades cruciales en la resolución de problemas matemáticos y la manipulación de objetos en el espacio (Moeller et al., 2015).

Corteza motora y somatosensorial: Estas bandas, que se extienden de oreja a oreja, son responsables del movimiento y la percepción sensorial del cuerpo. La corteza motora ayuda en la coordinación motora fina, que puede influir en la escritura y la resolución de problemas prácticos, mientras que la corteza somatosensorial procesa el contacto y otras sensaciones, apoyando la interacción con herramientas y materiales físicos en el aprendizaje.

En conjunto, estas áreas del cerebro trabajan de manera integrada para facilitar la adquisición y procesamiento de conocimientos matemáticos, desde la comprensión y el razonamiento lógico hasta la aplicación práctica y visualización de conceptos.

Figura 1. Partes externas del cerebro

Nota: Partes externas del cerebro desde la perspectiva de la(Sousa et al., 2016) neurociencia. Fuente: (Chenot et al., 2021)

Las partes internas son:

El bulbo raquídeo es una estructura profunda y antigua del cerebro, encargada de funciones vitales automáticas como el latido del corazón, la respiración y la digestión. Aunque no está directamente involucrado en procesos de aprendizaje matemático, su función de regular el estado de alerta y mantener la homeostasis es esencial. Esto permite que el cerebro esté en óptimas condiciones para el aprendizaje, proporcionando la base fisiológica necesaria para que las funciones superiores (como la concentración y el procesamiento matemático) puedan ocurrir sin interrupciones debido a necesidades corporales básicas.

El sistema límbico es una estructura cerebral relacionada con las emociones y la memoria. Aunque no es el centro directo de funciones matemáticas, su papel en el manejo de emociones y en la memoria es crucial para el aprendizaje. Las emociones influyen en la motivación, la disposición para resolver problemas y la perseverancia en tareas complejas, como las matemáticas.

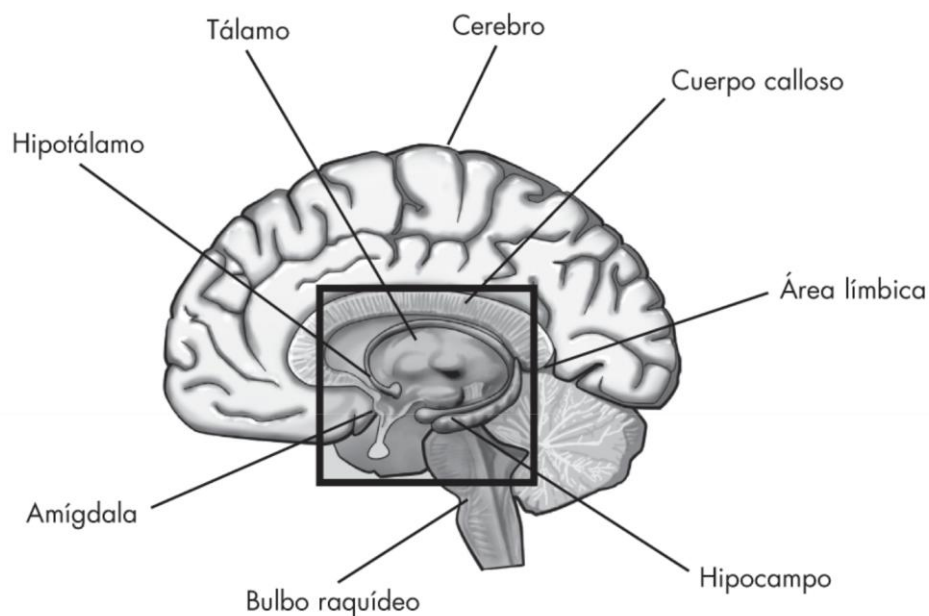
Tálamo: Actúa como una estación de relevo para la información sensorial, distribuyendo esta información a otras áreas del cerebro para su procesamiento. En el contexto matemático, el tálamo ayuda a dirigir la atención hacia estímulos relevantes, como las instrucciones de un problema, facilitando la concentración y el enfoque.

Hipotálamo: Regula funciones corporales básicas y el equilibrio hormonal, lo que impacta en el bienestar general y en la capacidad para mantener la atención y la energía mental. Un estudiante que mantiene un equilibrio adecuado en funciones básicas tendrá mejor disposición para aprender y aplicar conceptos matemáticos.

Hipocampo: Es fundamental en la formación y consolidación de la memoria a largo plazo. En el aprendizaje matemático, el hipocampo permite retener fórmulas, procedimientos y estrategias a lo largo del tiempo, facilitando la práctica y la resolución de problemas en el futuro. Un buen funcionamiento del hipocampo es esencial para recordar pasos en procesos matemáticos complejos.

Amígdala: Procesa y almacena las respuestas emocionales, especialmente aquellas relacionadas con el miedo y el estrés. La amígdala puede influir en el aprendizaje matemático, ya que el estrés o la ansiedad ante las matemáticas pueden activar respuestas que dificultan el procesamiento de información. Sin embargo, emociones positivas también pueden fortalecer el aprendizaje, ya que la amígdala etiqueta como importantes las experiencias emocionalmente significativas.

Figura 2. Partes internas del cerebro



Nota: Partes internas del cerebro desde la perspectiva de la(Sousa et al., 2016)
neurociencia. Fuente: (Chenot et al., 2021)

Aprendizaje de las matemáticas según la neurociencia educativa

Por su parte, la neurociencia explica que la mente es el sistema reticular de activación ascendente desde zonas superiores de la médula, el tronco del encéfalo (bulbo raquídeo, protuberancia y mesencéfalo) y el diencéfalo (tálamo e hipotálamo), encargados de modular la activación cortical, así como el sistema sensorial encargado de procesar la información que llega a través de los sentidos (lóbulo temporal primario y secundario, lóbulo parietal primario y secundario, el lóbulo occipital primario y secundario) y procesarla para analizar y dar paso a la morfosintaxis, la lecto-escritura, el cálculo y rotación mental (Rodríguez Santos, 2009).

Sin embargo, la neurociencia no sabe exactamente cuándo el cerebro comprende los números, pero hay evidencia de que los niños nacen con un sentido rudimentario de cantidad en ciertas áreas del cerebro. Este sentido les permite diferenciar cantidades pequeñas, como entre dos y tres objetos, sin contar. También pueden reconocer relaciones entre números, como 4 o 5, incluso sin etiquetarlos verbalmente. La habilidad de lenguaje no es necesaria para desarrollar este sentido numérico inicial, aunque será esencial para cálculos más complejos en el futuro (Sousa et al., 2016).

Para esto, se pueden definir las etapas de desarrollo de las estructuras conceptuales en los niños con respecto a la comprensión matemática y el sentido numérico, desde los 4 hasta los 10 años de la siguiente forma (Dehaene, 2019):

- Niños de 4-5 años: Los niños desarrollan dos estructuras iniciales: una para entender la cantidad global (diferenciando "más que" o "menos que" en grupos de objetos) y otra para la contabilización básica usando correspondencias uno a uno con los dedos. A esta edad, su capacidad matemática es principalmente perceptual y aún no completamente aritmética.
- Niños de 6-7 años: Hacia los seis años, los niños integran las cantidades globales y los modelos contables iniciales en una "línea numérica básica". Esto les permite identificar que números más altos representan mayores cantidades, facilitando la suma y resta sin necesidad de objetos físicos, simplemente siguiendo la secuencia numérica en su mente.
- Niños de 8-9 años: Para esta edad, los niños transforman su estructura mental en un "doble esquema mental lineal", permitiéndoles coordinar dos líneas numerales. Pueden realizar tareas como leer la hora, resolver problemas de dinero y usar la balanza en contextos que involucran dos variables (por ejemplo, peso y distancia).

- Niños de 10 años: A los diez años, los niños amplían sus líneas numerales dobles y logran coordinar tres variables cuantitativas. Son capaces de realizar cálculos mentales más complejos, incluyendo operaciones con números de dos dígitos y problemas que implican comparaciones y compensaciones entre variables.

Las ondas de estudio

El cerebro humano opera a través de una compleja red de señales eléctricas que se manifiestan como ondas cerebrales, las cuales reflejan diferentes estados mentales y funciones cognitivas. Estas ondas, registradas mediante el electroencefalograma (EEG), se clasifican en cinco categorías principales: delta, theta, alfa, beta y gamma, cada una con una frecuencia y propósito específicos. Desde estados de relajación y sueño hasta procesos cognitivos de alto nivel como la atención y la memoria de trabajo, las ondas cerebrales desempeñan un papel crítico en la forma en que el cerebro procesa y responde a la información.

Las *ondas theta* son un tipo de actividad cerebral asociada principalmente con estados de relajación profunda, meditación, creatividad y procesos de aprendizaje. Estas ondas predominan en momentos de ensueño o cuando la mente se encuentra menos enfocada en el mundo exterior. En el contexto del aprendizaje y la memoria, se asume que las ondas theta desempeñan un papel fundamental en la consolidación de recuerdos y en la integración de información. Sin embargo, un exceso de ondas theta en estados de vigilia puede estar relacionado con dificultades de atención y problemas cognitivos, como ocurre en condiciones como el trastorno por déficit de atención e hiperactividad (Tavano et al., 2023)

Las *ondas alfa* son representativas de un estado mental de calma y relajación, generalmente presentes cuando estamos despiertos, pero no involucrados activamente en tareas exigentes. Estas ondas suelen dominar cuando cerramos los ojos o reducimos la atención hacia el entorno. Son esenciales para la preparación del cerebro para el aprendizaje, actuando como un puente entre los estados de vigilia y relajación. La supresión de las ondas alfa puede indicar un aumento en la activación cerebral, como sucede durante tareas cognitivas intensas. En la investigación neurocientífica, las ondas alfa son estudiadas por su relación con la reducción del estrés y la optimización del rendimiento mental (Sherman & Thakor, 2020)

Las *ondas beta* están asociadas con estados de alerta, atención sostenida y procesamiento activo de información. Estas ondas predominan cuando estamos concentrados en tareas cognitivas complejas o en situaciones que requieren tomar decisiones rápidas. Las ondas beta más altas pueden reflejar niveles elevados de estrés o ansiedad, mientras que un déficit en esta frecuencia puede estar relacionado con problemas de concentración. En el ámbito terapéutico, el entrenamiento neurofeedback dirigido a regular las ondas beta se utiliza para tratar trastornos como el TDAH o la ansiedad (Rozengurt et al., 2023)

Las *ondas gamma* son las de mayor frecuencia en el espectro del EEG y están relacionadas con procesos cognitivos de alto nivel, como la integración de información entre diferentes áreas del cerebro, la percepción consciente y la memoria de trabajo. Asimismo, son fundamentales para actividades que requieren un procesamiento rápido y simultáneo de información, como resolver problemas complejos o interpretar estímulos sensoriales. La disminución de las ondas gamma puede estar asociada con condiciones neurológicas como el Alzheimer o el autismo, mientras que su presencia indica un cerebro que opera a un nivel óptimo de conexión e integración funcional

Metodología

En este estudio, se utilizó un enfoque de estudio de caso longitudinal para analizar la evolución de patrones neurofisiológicos en individuos con discalculia, mediante señales de electroencefalograma (EEG) como herramienta principal. Este enfoque permitió observar, a lo largo del tiempo, las dinámicas cerebrales y su relación con el desarrollo de habilidades matemáticas, proporcionando una perspectiva detallada y contextualizada.

Se seleccionaron alumnos de tercer grado de secundaria; cinco niños diagnosticados con discalculia y cinco niños sin este diagnóstico (grupo control). Se utilizaron las pruebas para la detección de la discalculia en la página web www.discalculiaclub.com y se realizaron evaluaciones que incluyeron el registro de señales EEG y la aplicación de pruebas matemáticas específicas. Estas sesiones se llevaron a cabo en un entorno controlado, con los individuos en estado de reposo y realizando tareas de cálculo diseñadas para activar áreas cerebrales relacionadas con el procesamiento numérico.

Recolección de Datos

Las señales EEG se registraron utilizando un equipo de alta resolución con 19 electrodos y una frecuencia de muestreo de 256 Hz. Las señales fueron procesadas mediante filtros pasa-altos (1 Hz) y pasa-bajos (50 Hz) para eliminar artefactos y ruido, complementadas con un análisis de componentes independientes (ICA) para corregir interferencias como movimientos oculares. Asimismo, las señales EEG se registraron en estado de reposo con ojos cerrados durante 5 minutos por participante, utilizando un equipo con una frecuencia de muestreo de 256 Hz y al menos 19 electrodos.

Posteriormente, las señales se analizaron en el dominio de la frecuencia mediante la Transformada Rápida de Fourier (FFT) para identificar patrones específicos en las bandas theta (4-8 Hz) y gamma (30-50 Hz). La potencia promedio en estas bandas se comparó entre ambos grupos en cada evaluación trimestral, permitiendo observar cambios longitudinales.

Análisis

Las señales fueron transformadas al dominio de frecuencia utilizando la Transformada Rápida de Fourier (FFT). Se extrajo el espectro de potencia, calculando la potencia promedio y relativa en las bandas theta (4-8 Hz) y gamma (30-50 Hz). Se utilizó una prueba t de Student para muestras independientes para comparar la potencia en las bandas de interés entre ambos grupos.

Los hallazgos se contrastaron con estudios previos usando la prueba de discalculia de www.discalculiaclub.com, discutiendo posibles implicaciones en la identificación de patrones neurofisiológicos característicos de la discalculia y su potencial para informar intervenciones educativas o terapéuticas. Los resultados del análisis de los encefalogramas mostraron diferencias significativas en la potencia de las bandas theta (4-8 Hz) y gamma (30-50 Hz) entre niños con y sin discalculia:

Banda theta: Los niños con discalculia presentaron una mayor potencia promedio en esta banda en comparación con el grupo control ($p = .03$). Estos resultados podrían indicar alteraciones en los procesos relacionados con la atención y la memoria, característicos de esta condición.

Banda gamma: El grupo con discalculia mostró una menor potencia promedio en esta banda ($p = .02$), lo cual indicaría una posible menor eficiencia en las funciones cognitivas complejas.

Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio aportan evidencia significativa sobre el uso de electroencefalograma (EEG) para la detección de discalculia mediante el análisis de las bandas theta y gamma. Los hallazgos indican que los niños con discalculia presentan un aumento en la actividad de la banda theta y una disminución en la banda gamma, lo cual apoya la hipótesis de una alteración en los procesos relacionados con la atención y las funciones cognitivas complejas.

Este comportamiento es consistente con estudios previos, como el de Uzcátegui Vielma et al. (2009), en el que se observaron anomalías en las señales EEG en niños con trastornos del aprendizaje. Sin embargo, a diferencia de estudios enfocados en la dislexia (Cainelli et al., 2023), los resultados obtenidos en este trabajo ponen en relieve la necesidad de considerar la discalculia como un trastorno independiente con patrones neurofisiológicos específicos.

Asimismo, se identificaron diferencias con investigaciones centradas en otras dificultades de aprendizaje, como las de Arns et al. (2007), donde se abordaron los patrones de coherencia cerebral en la dislexia. Esto subraya la importancia de ampliar el uso de EEG a otros contextos de investigación y contribuiría al mejoramiento del diagnóstico entre los distintitos trastornos del aprendizaje.

Entre las limitaciones del estudio, cabe destacar el tamaño reducido de la muestra y la falta de diversidad demográfica, limitando así la posibilidad de generalizar los hallazgos a otras poblaciones. Además, el uso de un diseño longitudinal requiere un monitoreo constante y recursos significativos, constituyendo un reto tanto en términos operativos como presupuestales.

Por otro lado, es relevante mencionar que los resultados pueden verse influenciados por variables externas como la fatiga, el estrés o el estado emocional. Por ello, futuras investigaciones podrían incorporar protocolos más robustos para controlar estas variables. En conjunto, los resultados no solo contribuyen al campo de la neurociencia educativa, sino que también ofrecen perspectivas para la implementación de herramientas diagnósticas más precisas y personalizadas, dirigidas a optimizar las estrategias de apoyo educativo y promover la inclusión matemática.

Conclusión del artículo

El uso del EEG representa un avance significativo en la detección y comprensión de la discalculia, proporcionando evidencia de patrones neurofisiológicos específicos asociados con este trastorno. En particular, las ondas theta y gamma emergen como indicadores clave, lo que pone de manifiesto el potencial para diseñar intervenciones más personalizadas y basadas en evidencia empírica, optimizando las estrategias de apoyo educativo.

No obstante, para maximizar el impacto de estas herramientas, es crucial continuar investigando tanto la eficacia del EEG como el aporte de otras metodologías que complementarias para el diagnóstico y tratamiento de la discalculia. Asimismo, se destaca la importancia de una detección temprana, ya que esta puede prevenir el avance hacia formas más severas del trastorno, como la discalculia secundaria según la tipología descrita por Kosc y Giordano.

Finalmente, este enfoque integral no solo permitirá avanzar en la detección y tratamiento de la discalculia, sino que también favorecerá la apertura de nuevas líneas orientadas a mejorar la precisión diagnóstica y promover la inclusión matemática. Al garantizar que todos los individuos, independientemente de sus dificultades, tengan acceso a herramientas y estrategias efectivas, se fomenta una educación más equitativa e inclusiva que respalde el desarrollo cognitivo y social de quienes enfrentan este desafío. De este modo, el presente trabajo aporta evidencia concreta sobre el valor del EEG como herramienta diagnóstica y promueve enfoques más equitativos en la atención a la diversidad neurocognitiva.

Futuras líneas de investigación

Con base en los hallazgos presentados de este estudio, se proponen las siguientes líneas prioritaria de investigación para su desarrollo futuro:

Ampliación de la muestra poblacional y diversidad demográfica: Es fundamental llevar a cabo estudios con una muestra más amplia y heterogénea de participantes de distintas regiones y contextos socioeconómicos. Esto permitiría evaluar la generalización de los resultados y comprender mejor cómo factores culturales y sociales pueden influir en los patrones neurofisiológicos de la discalculia.

Implementación de intervenciones educativas con retroalimentación cerebral: Explorar el uso de programas basados en técnicas de biofeedback neurofisiológico para

fortalecer habilidades matemáticas específicas en niños con discalculia. Estos programas podrían contribuir a personalizar la enseñanza y mejorar el rendimiento académico a través del monitoreo de la actividad cerebral.

Estudios longitudinales sobre impacto de intervenciones tempranas: Realizar evaluaciones de largo plazo que midan cómo estrategias pedagógicas basadas en evidencia neuropsicológica puedan reforzar la atención, la memoria y el rendimiento escolar de niños con discalculia.

Estas propuestas de investigación priorizan áreas clave para fortalecer el diagnóstico y la intervención en discalculia, promoviendo un enfoque interdisciplinario, inclusivo y respaldado por evidencia científica

Referencias

- Álvarez, J., Morán, V., & Málaga, I. (2010). La intervención psicopedagógica. *Psychopedagogical intervention. Boletín de Pediatría*, 50.
- Álvarez-Espinoza, A., & Balmaceda, C. S. (2018). El concepto dialéctico de internalización en Vygotski: aproximaciones a un debate. *Psicología, Conocimiento y Sociedad*, 8(1), 5–35. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=475855171003>
- American Psychiatric Association. (2014). *Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales DSM-5* (5a. edición). Editorial Médica Panamericana.
- Arnal, M., & Batres, A. (2020). La discalculia en la Educación Infantil: Un estudio de Caso. *Varela*, 20(57), 366–380.
- Arns, M., Peters, S., Breteler, R., & Verhoeven, L. (2007). Different brain activation patterns in dyslexic children: Evidence from EEG power and coherence patterns for the double-deficit theory of dyslexia. *Journal of Integrative Neuroscience*, 6(1), 175–190. <https://doi.org/10.1142/S0219635207001404>
- Briones Cedeño, G. C., & Benavides Bailón, J. (2021). Estrategias neurodidácticas en el proceso enseñanza-aprendizaje de educación básica. *Revista de Ciencias Humanísticas y Sociales (ReHuSo)*, 6(1), 72–79. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=673171218006>
- Cainelli, E., Vedovelli, L., Carretti, B., & Bisiacchi, P. (2023). EEG correlates of developmental dyslexia: a systematic review. *Annals of Dyslexia*, 73(2), 184–213. <https://doi.org/10.1007/s11881-022-00273-1>

- Cárdenas, S. Y., Silva-Pereyra, J., Prieto-Corona, B., Castro-Chavira, S. A., & Fernández, T. (2021). Arithmetic processing in children with dyscalculia: an event-related potential study. *PeerJ*, 9, e10489. <https://doi.org/10.7717/peerj.10489>
- Caro, G. M., & Polanco, Á. (2018). Learning difficulties and their incidence in adolescence. *Prisma Social*, 23(23), 366–387. <https://revistaprismasocial.es/article/view/2785>
- Chenot, Q., Lepron, E., De Boissezon, X., & Scannella, S. (2021). Functional Connectivity Within the Fronto-Parietal Network Predicts Complex Task Performance: A fNIRS Study. *Frontiers in Neuroergonomics*, 2. <https://doi.org/10.3389/fnrgo.2021.718176>
- De La Peña Álvarez, C., & Bernabéu Brotóns, E. (2018). Dislexia y discalculia: una revisión sistemática actual desde la neurogenética. *Universitas Psychologica*, 17(3), 1–11. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.upsy17-3.ddrs>
- Dehaene, S. (2016). El cerebro matemático. *Buenos Aires, Argentina*.
- Dehaene, S. (2019). *El cerebro matemático: Cómo nacen, viven ya veces mueren los números en nuestra mente*. Siglo XXI Editores.
- Delgado, K., Ledesma, S., Rostro, H., (2019). Análisis de electroencefalograma usando redes neuronales artificiales. *Acta Universitaria*, 29, 1–24. <https://doi.org/10.15174/au.2019.1672>
- DiscalculiaClub. (s.f.). DiscalculiaClub: Evaluación, detección e intervención de la discalculia. <https://www.discalculiaclub.com>
- Fonseca, F., Rodríguez, L., López, P., & Massagué, L. (2019). La discalculia un trastorno específico del aprendizaje de la matemática. *ROCA. Revista Científico- Educativa de La Provincia Granma*, 15, 212–224.
- Goikoetxea, E. (2012). Las dificultades específicas del aprendizaje en el albor del siglo XXI. *RELIEVE - Revista Electronica de Investigacion y Evaluacion Educativa*, 18(1), 1–16. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91624440002>
- Moeller, K., Willmes, K., & Klein, E. (2015). A review on functional and structural brain connectivity in numerical cognition. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00227>
- Müller-Putz, G., & Wriessnegger, S. C. (2021). Electroencephalography and Brain–Computer Interfaces. In G. Müller-Putz & R. Rupp (Eds.), *Neuroprosthetics and Brain-Computer Interfaces in Spinal Cord Injury: A Guide for Clinicians and End Users* (pp. 71–103). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68545-4_3

- Organización Mundial para la Salud [OMS]. (2019). *Clasificación Internacional de Enfermedades para Estadísticas de Mortalidad y Morbilidad (CIE-11)*. <https://icd.who.int/browse11/l-m/es#/http://id.who.int/icd/entity/308101648>
- Ospina Carmona, J. F., Tobón Vásquez, G. del C., Montoya Londoño, D. M., & Taborda Chaurra, J. (2022). Filosofía de la mente y algunos paradigmas del aprendizaje en Psicología de la educación. *Sophia, Colección de Filosofía de la Educación*, 33, 43–69. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=441871852001>
- Park, J., Park, D. C., & Polk, T. A. (2013). Parietal Functional Connectivity in Numerical Cognition. *Cerebral Cortex*, 23(9), 2127–2135. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhs193>
- Benedicto-López, P., & Rodríguez – Cuadrado, S. (2019). Dyscalculia: Clinical Manifestations, Evaluation and Diagnosis. Current Perspectives of Educational Intervention. *RELIEVE - Revista Electronica de Investigacion y Evaluacion Educativa*, 25(1), 1–11. <https://doi.org/10.7203/relieve.25.1.10125>
- Pinheiro-Chagas, P., Daitch, A., Parvizi, J., & Dehaene, S. (2018). Brain Mechanisms of Arithmetic: A Crucial Role for Ventral Temporal Cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 30(12), 1757–1772. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01319
- Puente, A. G. (2001). Dificultades de Aprendizaje Y TIC : dislexia , disgrafía y discalculia [Universidad Internacional de La Rioja Facultad de Educación [UNIR]]. In *Universidad Internacional de La Rioja Facultad de Educación [UNIR]*. <https://reunir.unir.net/bitstream/handle/123456789/528/Puente.AnaGema.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Radford, L., & André, M. (2009). CEREBRO, COGNICIÓN Y MATEMÁTICAS. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa, RELIME*, 12(2), 215–250. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33511498004>
- Rodríguez Santos, F. (2009). Educación y Neurociencia. *Psicología Educativa. Revista de los Psicólogos de la Educación*, 15(1), 27–38. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=613765489005>
- Rozengurt, R., Kuznietsov, I., Kachynska, T., Kozachuk, N., Abramchuk, O., Zhuravlov, O., Mendelsohn, A., & Levy, D. A. (2023). Theta EEG neurofeedback promotes early consolidation of real life-like episodic memory. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 23(6), 1473–1481. <https://doi.org/10.3758/s13415-023-01125-0>

- Sherman, D. L., & Thakor, N. V. (2020). EEG Signal Processing: Theory and Applications. In B. He (Ed.), *Neural Engineering* (pp. 97–129). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-43395-6_3
- Sousa, D. A., Jensen, E., Marina, J. A., & Alcina Zayas, S. (2016). *Neurociencia educativa : mente, cerebro y educación*. Narcea Ediciones.
- Tavano, A., Rimmele, J. M., Michalareas, G., & Poeppel, D. (2023). Neural Oscillations in EEG and MEG. In M. Grimaldi, E. Brattico, & Y. Shtyrov (Eds.), *Language Electrified: Principles, Methods, and Future Perspectives of Investigation* (pp. 241–284). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3263-5_8
- Tavares, T. P. (2020). Electroencephalography (EEG). In V. Zeigler-Hill & T. K. Shackelford (Eds.), *Encyclopedia of Personality and Individual Differences* (pp. 1266–1269). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24612-3_748
- Uzcátegui Vielma, A. J., Morela Rojas, C., Martínez, C., Méndez Jiménez, L. A., & Pantoja Rivas, J. H. (2009). Hallazgos electroencefalográficos en niños con trastornos del aprendizaje. *Archivos Venezolanos de Puericultura y Pediatría*, 72(1), 13–19. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=367937037003>

Rol de Contribución	Autor (es)
Conceptualización	Lizarazu, Samuel Joseph
Metodología	Lizarazu, Samuel Joseph
Software	Lizarazu, Samuel Joseph
Validación	Sandra Luz Canchola Magdaleno
Análisis Formal	Lizarazu, Samuel Joseph
Investigación	Lizarazu, Samuel Joseph
Recursos	Sandra Luz Canchola Magdaleno
Curación de datos	Lizarazu, Samuel Joseph
Escritura - Preparación del borrador original	Lizarazu, Samuel Joseph
Escritura - Revisión y edición	Lizarazu, Samuel Joseph
Visualización	Lizarazu, Samuel Joseph
Supervisión	Sandra Luz Canchola Magdaleno
Administración de Proyectos	Sandra Luz Canchola Magdaleno
Adquisición de fondos	Sandra Luz Canchola Magdaleno