

Descifrando los Secretos de la Discalculia: un Viaje A Través de las Neurociencias y las Tecnologías de la Información

Juan Parra Abarca¹

juanparra@uagro.mx

<https://orcid.org/0000-0002-4955-0244>

Universidad Autónoma de Guerrero
México

Iván Gallardo Bernal

igallardo@uagro.mx

<https://orcid.org/0000-0002-1596-6786>

Universidad Autónoma de Guerrero
México

RESUMEN

La discalculia es un trastorno del aprendizaje que afecta la habilidad de una persona para comprender y utilizar conceptos matemáticos. En las últimas décadas, las neurociencias y las tecnologías de la información han desempeñado un papel fundamental en el estudio y comprensión de la discalculia, permitiendo avances significativos en la identificación y tratamiento de este trastorno. Las neurociencias han proporcionado una visión profunda de cómo funciona el cerebro de las personas con discalculia. Mediante técnicas de imagen cerebral, como la resonancia magnética funcional, los investigadores pueden observar diferencias en la activación de áreas cerebrales clave durante tareas matemáticas. Esto ha revelado que las personas con discalculia pueden tener alteraciones en áreas relacionadas con el procesamiento numérico, la memoria de trabajo y la representación simbólica de los números. Por otro lado, las tecnologías de la información, han permitido el desarrollo de herramientas y programas de entrenamiento específicos para abordar la discalculia. Aplicaciones, juegos y software diseñados para adaptarse a las necesidades individuales de estudiantes con discalculia pueden mejorar sus habilidades matemáticas. Además, las tecnologías computarizadas de asistencia, como lectores de pantalla y programas de voz a texto, hacen que el contenido matemático sea más accesible para quienes tienen dificultades con la lectura y escritura.

Palabras clave: *discalculia; aprendizaje; neurociencias; tecnologías de la información*

¹ Autor principal.

Correspondencia: juanparra@uagro.mx

Deciphering the Secrets of Dyscalculia: A Journey Through Neuroscience and Information Technologies

ABSTRACT

Dyscalculia is a learning disorder that affects a person's ability to understand and use mathematical concepts. In recent decades, neuroscience and information technologies have played a fundamental role in studying and understanding dyscalculia, leading to significant advances in identifying and treating this disorder. Neuroscience has provided deep insights into how the brains of individuals with dyscalculia function. By using brain imaging techniques like functional magnetic resonance imaging, researchers can observe differences in the activation of key brain areas during mathematical tasks. This has revealed that people with dyscalculia may have alterations in areas related to numerical processing, working memory, and the symbolic representation of numbers. On the other hand, information technologies have enabled the development of tools and specific training programs to address dyscalculia. Apps, games, and software designed to meet the individual needs of students with dyscalculia can improve their math skills. Additionally, the computing assistive technologies, like screen readers and speech-to-text programs make mathematical content more accessible for those who struggle with reading and writing.

***Keywords:** dyscalculia; learning; neuroscience; information technologies*

*Artículo recibido 19 setiembre 2023
Aceptado para publicación: 28 octubre 2023*

INTRODUCCIÓN

El problema del aprendizaje matemático en el mundo es una preocupación educativa global que afecta a personas de todas las edades y niveles de escolaridad. Por esta razón, el mundo moderno está en deuda con las matemáticas. La capacidad de representar y manipular cantidades numéricas es la base de múltiples facetas de la vida moderna, desde calcular nuestros impuestos hasta contar las calorías de los alimentos. Todos los seres vivos pueden representar números, pero solo los humanos con un sentido evolutivo matemático diferente pueden crear y aprender matemáticas formales. Los humanos como individuos excepcionales normalmente pensamos en el número de forma simbólica, también poseemos la capacidad de representación no simbólica de la cantidad que comparten muchas otras especies animales. Se cree que estas representaciones numéricas primitivas en humanos y animales no humanos surgen de un sistema evolutivamente antiguo denominado Sistema Numérico Aproximado (ANS, *por sus siglas en inglés*) (Starr & Brannon, 2015). El ANS es una parte cognitiva que está activa durante toda la vida y tiene como objetivo brindar un sentido rápido e intuitivo de los números y sus relaciones. Por ejemplo, nos ayuda a determinar rápidamente cuántos puntos rojos hay en comparación con los azules en una pantalla o cuántas voces escuchamos hablando en una mesa (Halberda & Odic, 2015).

Las habilidades numéricas y el aprendizaje matemático están intrínsecamente relacionados, ya que las habilidades numéricas son la base sobre la cual se construye el entendimiento de las matemáticas. Estas habilidades son los cimientos sobre los que se construye el aprendizaje matemático. Comprender los números, contar, realizar operaciones aritméticas básicas y comprender conceptos numéricos son esenciales para abordar temas matemáticos más avanzados (Peake et al., 2021). Las habilidades numéricas permiten a los estudiantes identificar patrones numéricos y relaciones entre números, fomentando el razonamiento matemático, que es esencial para comprender y resolver problemas matemáticos de manera lógica y eficaz (Melgar et al., 2019). Desarrollar habilidades numéricas sólidas puede aumentar la confianza y la actitud positiva hacia las matemáticas. A medida que los estudiantes adquieren confianza en sus habilidades numéricas, es más probable que se sientan motivados para abordar desafíos matemáticos de mayor complejidad.

La discapacidad del aprendizaje matemático, comúnmente conocida como discalculia, es un trastorno específico del aprendizaje que afecta la capacidad de un individuo para comprender y trabajar con

conceptos y procesos matemáticos. La discalculia es una condición del desarrollo neurológico que puede tener un impacto significativo en la vida académica y cotidiana de una persona (Berteletti et al., 2014). Actualmente el Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales (DSM-V) define a la discalculia como un trastorno específico del aprendizaje, el cual se manifiesta con una baja capacidad para entender los números, para el cálculo mental y para el procesamiento matemático. Es como un tipo de dislexia pero con los números (DSM-V, 2013). Aunque no se comprenden completamente todas las causas de la discalculia, se cree que es el resultado de una combinación de factores genéticos, neurológicos y ambientales. (Kaufmann & von Aster, 2012). Las investigaciones en este campo se han visto obstaculizadas por definiciones operativas muy diversas del trastorno, criterios de selección de sujetos significativamente divergentes entre los estudios y, como resultado, un alto grado de heterogeneidad en los perfiles de los sujetos. Este artículo de revisión se enfoca en evaluar los diversos antecedentes bibliográficos sobre los aspectos fundamentales de la discalculia, así como los estudios e investigaciones relacionados en la comprensión de los aspectos neurológicos y neurobiológicos de los individuos que padecen este trastorno de aprendizaje matemático. También se busca comprender cómo las tecnologías de la información desempeñan un papel significativo en el apoyo a personas con discalculia al proporcionar herramientas y recursos que pueden facilitar el aprendizaje y la aplicación de habilidades matemáticas. Es importante señalar que la discalculia es una condición neurológica real y no simplemente el resultado de la falta de esfuerzo o de interés en las matemáticas. La identificación temprana y la intervención adecuada son fundamentales para ayudar a las personas con discalculia a desarrollar estrategias para superar sus dificultades y tener éxito en matemáticas.

Existen diversos estudios basados en técnicas de neuroimagen que han hallado alteraciones en el sustrato neural del procesamiento numérico en niños con discalculia. En particular, se ha observado una reducida activación de las áreas involucradas en el procesamiento numérico básico mientras realizaban tareas de naturaleza matemática, así como una reducción de la materia gris y diferencias en la conectividad entre las regiones parietales y occipito-temporales (Butterworth et al., 2011).

La variación entre los criterios utilizados para identificar a los niños con discalculia en las investigaciones realizadas y la heterogeneidad de las habilidades matemáticas ha impedido lograr un

claro consenso sobre los síntomas asociados a este trastorno (Price y Ansari, 2013), según Espina, et.

Al. 2021, los siguientes son los síntomas de la discalculia citados comúnmente por nivel escolar.

Tabla 1

Síntomas de la discalculia por nivel escolar.

NIVEL ESCOLAR	SINTOMAS DE DISCALCULIA
Educación infantil	• Dificultad en la adquisición de los principios básicos de la numeración y el conteo.
	• Dificultad para clasificar objetos por sus características.
	• Dificultad para realizar la correspondencia número-cantidad.
	• No adquiere la subitización de cantidades hasta 5 y no hace estimaciones pequeñas.
	• Dificultad para entender términos relacionados con las matemáticas.
	• No automatiza el número de dedos de las manos.
Educación primaria	• Dificultad en tareas de subitización y en la estimación de cantidades.
	• Dificultad para aprender, procesar, memorizar o resolver secuencias numéricas.
	• Dificultad para entender la estructura de la recta numérica.
	• Problemas para identificar los números, escribirlos o clasificarlos.
	• Dificultad para entender el valor posicional de los números (unidades, decenas, centenas).
	• Dificultad en la ejecución de operaciones aritméticas (confusión de símbolos, mala ubicación de los dígitos, olvidan el número que se han llevado,...).
	• Incapacidad para comprender y recordar conceptos matemáticos, reglas, fórmulas, secuencias (orden de operaciones) y operaciones matemáticas básicas (+, -, x, /).
	• Persiste en necesitar estrategias manipulativas para operar (objetos, dedos, ...).
	• Dificultad para resolver problemas matemáticos.
	• Presenta un sentido espacial y temporal deficitario.
Educación secundaria	• Malas notas en la asignatura de matemáticas.
	• Errores en cálculos y lentitud para realizarlos.
	• No comprende conceptos abstractos y los problemas.
	• Falta de automatización de los hechos aritméticos.
	• Procesa de forma mecánica pero no conceptual ni con estrategias.
	• Mal uso del número en la vida cotidiana.

El "déficit central" de la discalculia

A menudo considerado el problema central subyacente de este trastorno específico del aprendizaje, está relacionado con dificultades en el procesamiento numérico y la comprensión matemática (Wilson & Dehaene, 2007). La discalculia se caracteriza por dificultades significativas en el procesamiento numérico (Tabla 2). Comprender y abordar el "déficit central" en el procesamiento numérico es esencial para educadores y profesionales que trabajan con personas que tienen discalculia. Los enfoques de intervención y las estrategias educativas se diseñan para abordar estas áreas específicas y ayudar a las personas a mejorar sus habilidades matemáticas y superar los desafíos asociados con la discalculia.

Tabla 2

Déficit central de la discalculia.

DÉFICIT CENTRAL	DIFICULTAD
Comprensión numérica	Las personas con discalculia a menudo tienen dificultades para comprender conceptos numéricos básicos, como el valor de los números, las relaciones entre ellos y la estimación de cantidades. Esta dificultad en la comprensión numérica afecta su capacidad para resolver problemas matemáticos (Butterworth, 2010).
Operaciones aritméticas	Realizar operaciones matemáticas básicas, como la suma, resta, multiplicación y división, puede ser un desafío para aquellas personas con discalculia. Esto incluye tanto cálculos simples como problemas más complejos (Peake et al., 2021)
Razonamiento matemático	El razonamiento lógico y la comprensión de conceptos matemáticos son difíciles para las personas con discalculia. Pueden tener problemas para entender y aplicar los principios matemáticos, así como para resolver problemas matemáticos (Luculano, 2016).
Conceptos espaciales y temporales	La discalculia puede implicar dificultades con conceptos espaciales, como la geometría y la medición, así como con conceptos temporales, como la secuencia de eventos y la percepción del tiempo (Haberstroh & Schulte-Körne, 2019).
Símbolos y notación matemática	La lectura, interpretación y uso de símbolos matemáticos y notación, como ecuaciones y expresiones matemáticas, a menudo representan un obstáculo significativo para las personas con discalculia (Berteletti et al., 2014).
Memoria para datos matemáticos	La memoria para hechos matemáticos, como las tablas de multiplicar, suele ser una dificultad persistente. Esto puede ralentizar el proceso de cálculo y dificultar la realización de cálculos mentales (Ashkenazi et al 2013).

La discalculia a lo largo de la vida

La discalculia es un trastorno del aprendizaje que puede afectar a personas de todas las edades. Sin embargo, su prevalencia puede variar según la población y el nivel educativo. Se estima que, en general, la discalculia afecta aproximadamente al 3-6% de la población (Shalev, 2007). La discalculia se identifica con mayor frecuencia en niños en edad escolar. La prevalencia de la discalculia se acerca a la de la dislexia, que afecta al 5-6% de los niños de nivel primaria (Gross et al., 1996; Henik et al., 2011; Bonn & Cantlon, 2012).

La discalculia a menudo persiste en la adolescencia y en la adultez joven, aunque las personas afectadas pueden haber desarrollado estrategias para compensarla en cierta medida. Aunque no se ha documentado la prevalencia en este grupo de edad, se estima que un porcentaje significativo de adolescentes y adultos jóvenes continúa experimentando dificultades en matemáticas (Anobile et al., 2022). La discalculia en adultos es una condición en la que los individuos continúan experimentando dificultades significativas en el ámbito de las matemáticas, a pesar de haber alcanzado la edad adulta (Vigna et al., 2022). Aunque la discalculia es más comúnmente identificada en la infancia, puede persistir en la vida adulta y tener un impacto en diversas áreas de la vida cotidiana, como la gestión financiera, la interpretación de gráficos

y estadísticas, la medición y las conversiones de unidades, y la planificación de horarios y rutas de viaje. La discalculia en adultos puede afectar la autoestima y la confianza en sí mismos. Las personas pueden sentirse frustradas y desanimadas debido a sus dificultades matemáticas, lo que puede influir en su percepción de sus habilidades y su autoconcepto. La detección de la discalculia en los adultos puede ser un desafío, ya que algunos individuos pueden haber desarrollado estrategias de compensación que les permiten ocultar sus dificultades (Wilson et al., 2015). Sin embargo, una evaluación profesional puede ayudar a diagnosticar la discalculia y proporcionar orientación sobre las estrategias de apoyo.

El problema de discalculia en niños de nivel primaria

La discalculia en niños de nivel primaria (de 6 a 12 años) puede presentar varios desafíos que afectan su rendimiento académico y su confianza en sí mismos en el ámbito de las matemáticas. Los niños con discalculia a menudo tienen problemas para comprender conceptos matemáticos fundamentales, como contar, sumar y restar. Pueden tener dificultades en la memorización de hechos matemáticos básicos, como las tablas de multiplicar. Por otra parte, la discalculia puede dificultar la capacidad de los niños para resolver problemas matemáticos. Pueden tener dificultades para traducir situaciones problemáticas en ecuaciones matemáticas y para aplicar estrategias de resolución de problemas (Haberstroh & Schulte-Körne, 2019). La interpretación de símbolos matemáticos y la comprensión de notaciones matemáticas pueden ser un obstáculo importante. Los niños con discalculia pueden confundirse con símbolos como $+$, $-$, \times , \div y otros signos matemáticos (Cárdenas et al., 2021). La discalculia también puede dificultar la organización del trabajo matemático. Los niños pueden tener dificultades para alinear números en columnas y para seguir pasos secuenciales en cálculos matemáticos. A medida que los niños enfrentan dificultades en matemáticas, su confianza en sus habilidades puede disminuir. Pueden comenzar a percibir las matemáticas como una tarea desafiante y pueden desarrollar una actitud negativa hacia la materia. Algunos niños con discalculia pueden evitar las matemáticas siempre que pueden. Pueden resistirse a participar en actividades matemáticas o tareas que involucran números. La discalculia a menudo coexiste con otros trastornos del aprendizaje, como la dislexia (dificultades en la lectura y la escritura) o el trastorno por déficit de atención con hiperactividad (TDAH), lo que puede complicar aún más su desempeño académico (Kuhn, et al., 2016; Mammarella et al., 2013).

La identificación temprana de la discalculia y la implementación de intervenciones educativas

específicas son fundamentales para ayudar a los niños a superar estos desafíos. Los maestros, psicólogos escolares y especialistas en educación especial trabajan para proporcionar apoyo individualizado, estrategias de enseñanza adaptadas y herramientas educativas que ayuden a los niños a desarrollar sus habilidades matemáticas y enfrentar los desafíos de la discalculia.

Papel de las neurociencias en la comprensión de la discalculia

Las neurociencias desempeñan un papel fundamental en el estudio de la discalculia al proporcionar información sobre las bases neurobiológicas de este trastorno específico del aprendizaje relacionado con las matemáticas. El enfoque de las neurociencias en la discalculia ha arrojado luz sobre el funcionamiento de las estructuras y redes cerebrales en individuos con discalculia, lo que puede tener implicaciones importantes en la detección, diagnóstico y tratamiento de este trastorno. Las neurociencias han estudiado las redes cerebrales y las conexiones entre diferentes regiones cerebrales en individuos con discalculia. Esto ha proporcionado información sobre cómo las áreas cerebrales involucradas en el procesamiento numérico se comunican y cómo las disfunciones en estas conexiones pueden afectar las habilidades matemáticas. Las investigaciones en neurociencia también han explorado la base genética de la discalculia y cómo los factores genéticos pueden influir en el desarrollo de este trastorno (Geary, 1993). Esto puede tener implicaciones en la identificación temprana de riesgos y en la planificación de intervenciones.

La comprensión de las bases neurobiológicas de la discalculia puede ayudar en el desarrollo de enfoques de intervención más efectivos. Al conocer qué áreas y procesos cerebrales están involucrados en las dificultades matemáticas, los profesionales de la salud y la educación pueden diseñar estrategias de enseñanza y terapias específicas para abordar estas deficiencias. En resumen, las neurociencias han sido fundamentales para avanzar en la comprensión de la discalculia, identificar diferencias en la función y estructura del cerebro, y contribuir a estrategias de diagnóstico y tratamiento más efectivas. A medida que continúa la investigación en este campo, es probable que se obtenga un conocimiento más profundo de las bases neurobiológicas de la discalculia.

Estudios neurales de la discalculia

La discalculia es un trastorno del aprendizaje que afecta la habilidad para entender y utilizar los números y las operaciones matemáticas. Se ha descubierto que este trastorno tiene bases neurales específicas que

pueden ser identificadas a través de estudios de neuroimagen. Los estudios de neuroimagen de la discalculia han proporcionado información importante sobre las bases neurales de este trastorno del aprendizaje. Aunque la discalculia es un trastorno complejo y aún se está investigando, se han identificado algunas áreas y redes cerebrales que parecen estar relacionadas con las dificultades matemáticas. Los estudios de neuroimagen funcional, como la resonancia magnética funcional (fMRI), han revelado diferencias en la actividad cerebral entre individuos con discalculia y aquellos sin el trastorno (Bulthé et al., 2019). Las áreas cerebrales involucradas en el procesamiento numérico, como el giro angular, el surco intraparietal (IPS) y el lóbulo frontal, a menudo muestran diferencias en la activación (Bugden & Ansari, 2015). Algunos estudios han demostrado que las personas con discalculia pueden tener dificultades en el reconocimiento numérico automático. Esto implica que las áreas neuronales relacionadas con el reconocimiento rápido de cantidades, como el giro singular izquierdo, pueden estar menos activas o menos conectadas en individuos con discalculia (Rosenberg et al., 2015). La memoria de trabajo numérica, que es importante para retener y manipular información numérica, también se ha relacionado con diferencias en la activación de áreas cerebrales, como el giro angular y el lóbulo frontal. Las dificultades en esta área pueden contribuir a las dificultades matemáticas en la discalculia (Grabner et al., 2009).

Algunos estudios han sugerido que las personas con discalculia pueden tener problemas en la representación espacial y numérica. Las áreas cerebrales involucradas en la percepción espacial y la representación numérica, como el surco intraparietal, pueden mostrar diferencias en la activación (Bulthé et al., 2019). La conectividad entre diferentes regiones cerebrales puede estar alterada en individuos con discalculia, lo que puede afectar la comunicación entre áreas clave que participan en el procesamiento matemático. Es importante destacar que los estudios de neuroimagen de la discalculia han mostrado cierta variabilidad en los resultados, lo que sugiere que las diferencias en la activación cerebral pueden variar entre individuos con discalculia. En general, los estudios de neuroimagen han contribuido a una comprensión más profunda de la discalculia al identificar diferencias en la activación cerebral y la conectividad en individuos con el trastorno. Sin embargo, es importante recordar que la discalculia es un trastorno complejo y multifacético, y la investigación en esta área sigue evolucionando para proporcionar una comprensión más completa de sus bases neurales.

El surco intraparietal: papel clave en la discalculia

El surco intraparietal (IPS) es una estructura en el cerebro humano que se encuentra en la región parietal. Esta región del cerebro está involucrada en una variedad de funciones cognitivas, incluyendo la percepción espacial, la atención, la memoria de trabajo y las habilidades numéricas. En particular, el IPS está relacionado con las habilidades numéricas y el procesamiento de la información numérica. La relación entre el IPS y la discalculia ha sido objeto de investigación en neurociencia cognitiva. Se ha observado que el IPS desempeña un papel importante en el procesamiento numérico y la representación de cantidades numéricas. Las investigaciones han encontrado que algunas personas con discalculia pueden mostrar diferencias en la estructura y la función del IPS en comparación con personas sin este trastorno (Kaufmann et al., 2009; Bulthé et al., 2019). El IPS está involucrado en la representación de cantidades numéricas, lo que significa que ayuda a las personas a percibir y comprender la magnitud de los números. En individuos con discalculia, se han encontrado diferencias en la estructura y la función del IPS, lo que puede afectar su capacidad para comprender y manipular números. También está implicado en el procesamiento numérico, como la capacidad de realizar cálculos mentales, reconocer patrones numéricos y comprender conceptos matemáticos. Las personas con discalculia pueden tener dificultades en estas áreas debido a posibles alteraciones en el IPS (Jolles et al., 2016). Diversas investigaciones han encontrado que individuos con discalculia pueden mostrar un menor volumen o actividad anormal en el surco intraparietal durante la realización de tareas matemáticas. Esto sugiere que la integridad del IPS es importante para un funcionamiento matemático eficaz (Cipolotti & van Harskamp, 2001; Price et al., 2007; Jolles et al., 2016; Bulthé et al., 2019). El IPS no trabaja de forma aislada, sino que conecta con otras áreas cerebrales que participan en funciones numéricas. Las interacciones entre el IPS y otras regiones del cerebro también son relevantes para la discalculia.

El IPS está conectado con otras áreas en el lóbulo parietal, así como con regiones del lóbulo frontal y el lóbulo temporal. La comunicación entre estas áreas es esencial para el procesamiento numérico. Las investigaciones han revelado que en personas con discalculia, las conexiones entre estas regiones cerebrales pueden verse alteradas (Corbetta & Shulman, 2002; Uddin et al., 2010). El giro angular es otra área del cerebro que se ha asociado con el procesamiento numérico y la discalculia. Se ha observado que el IPS y el giro angular están involucrados en la representación de cantidades numéricas y en la

recuperación de hechos aritméticos. Las dificultades en estas áreas pueden contribuir a los problemas matemáticos en la discalculia (Jolles et al., 2016). La atención desempeña un papel importante en el procesamiento numérico y el aprendizaje matemático. El IPS se conecta con áreas relacionadas con la atención, lo que sugiere que las dificultades en la atención pueden influir en la discalculia. Las investigaciones de neuroimagen han encontrado diferencias en la estructura y la función del IPS en personas con discalculia. Estas diferencias pueden incluir un menor volumen de materia gris en esta área, así como una menor actividad durante tareas matemáticas (Uddin et al., 2010; Iuculano et al., 2016). La discalculia es un trastorno específico de las matemáticas que afecta tanto a niños como adultos, y se cree que tiene una base neurológica subyacente. El IPS desempeña un papel importante en el procesamiento numérico y en las habilidades matemáticas, por lo que se ha investigado su relación con la discalculia en niños. Algunas investigaciones han encontrado diferencias en la estructura del IPS en niños con discalculia en comparación con niños sin este trastorno. Estas diferencias incluyen un menor volumen de materia gris en el IPS en niños con discalculia. También se ha examinado la actividad cerebral en el IPS mientras los niños realizan tareas matemáticas. Se ha observado que en algunos niños con discalculia, esta región puede mostrar una menor activación durante las tareas numéricas en comparación con niños sin discalculia (Fias et al., 2014; Iuculano et al., 2015). El IPS se comunica con otras áreas cerebrales, incluidas las relacionadas con la memoria de trabajo, la atención y el procesamiento numérico. Estas conexiones, junto con las redes cerebrales pueden verse alteradas en niños con discalculia. Sin embargo, la relación exacta entre el IPS y la discalculia todavía no se comprende completamente, y la discalculia es un trastorno complejo que puede tener múltiples causas y factores de riesgo. La investigación en este campo continúa avanzando, y se espera que en el futuro se obtengan más conocimientos sobre la relación entre las diferencias cerebrales y los trastornos del aprendizaje, como la discalculia.

El conectoma y el entendimiento de la discalculia

El término "conectoma" se refiere al mapeo completo de todas las conexiones neuronales de nuestro cerebro. Los estudios de conectoma utilizan técnicas de neuroimagen avanzadas para comprender cómo se conectan las distintas regiones cerebrales y cómo estas conexiones se relacionan con funciones cognitivas y comportamientos. Si bien el estudio del conectoma cerebral es una área de investigación

en crecimiento, su relación con la discalculia aún no está completamente esclarecida. La discalculia se ha estudiado principalmente desde una perspectiva de neuroimagen funcional y estructural, con un enfoque en las diferencias en la activación y conectividad cerebral en individuos con discalculia. Algunos estudios han utilizado técnicas de neuroimagen para investigar cómo las redes cerebrales involucradas en el procesamiento numérico pueden estar alteradas en personas con discalculia.

El modelado predictivo basado en conectomas (CPM) es una técnica en neurociencia que busca predecir el comportamiento, las habilidades cognitivas o los trastornos neuropsiquiátricos de un individuo utilizando información sobre las conexiones cerebrales (conectoma) de esa persona (Shen et al., 2017). El CPM se utiliza para investigar si los conectomas funcionales de todo el cerebro, es decir, la conectividad de red funcional adquirida durante la realización de tareas, pueden predecir con éxito puntuaciones de medidas cognitivo-conductuales individuales. Las habilidades evaluadas por el CPM son tanto las específicas del dominio (como el procesamiento de números y la aritmética) como las de dominio general (como el lenguaje y memoria de trabajo) (Skagenholt et al., 2023). El uso de los modelos CPM sirve para dos propósitos clave: permitir la identificación de habilidades cognitivas que contribuyen de manera conjunta o separada al procesamiento de números cardinales y ordinales y determinar si los conectomas funcionales específicos de la tarea son predictivos cruzados para ambas tareas. En otras palabras, si los mecanismos cognitivos que sustentan el procesamiento de los números cardinales y ordinales son similares (dependientes de un solo sistema), esperaríamos que el conectoma funcional asociado con cualquiera de las dos tareas de procesamiento de números sea igualmente preciso al predecir el desempeño tanto para juicios de números cardinales como ordinales. Por el contrario, si el modo es de sistemas duales, se esperaría que los conectomas funcionales sean diferentes para cada tarea y que no haya una precisión igual en la predicción del desempeño (Rubinsten & Sury, 2011). Si bien esta área de investigación es prometedora y puede tener aplicaciones potenciales en la predicción y el diagnóstico de trastornos del aprendizaje como la discalculia, aún se encuentra en una etapa temprana de desarrollo.

Aunque no se ha explorado ampliamente la relación entre el conectoma cerebral y la discalculia, es posible que futuras investigaciones en el campo de las neurociencias se centren en cómo las conexiones cerebrales y las redes neuronales pueden contribuir a la discalculia. Es importante tener en cuenta que

el desarrollo de un modelo CPM para la discalculia es un proceso complejo que requiere una cantidad significativa de datos y análisis. Además, la discalculia es un trastorno multifactorial con influencias genéticas y ambientales, por lo que la predicción basada únicamente en el conectoma puede no ser suficiente para comprender completamente este trastorno. Sin embargo, el modelado predictivo basado en conectomas es un área emocionante de investigación que tiene el potencial de mejorar nuestra comprensión y detección de trastornos del aprendizaje como la discalculia.

Papel de las tecnologías de la información y la discalculia

Las tecnologías de la información desempeñan un papel importante en la educación y apoyo a las personas con discalculia. Estas tecnologías pueden ser herramientas valiosas para adaptar el entorno de aprendizaje y brindar estrategias efectivas para superar las dificultades matemáticas asociadas a la discalculia. Las aplicaciones y programas informáticos diseñados específicamente para ayudar a las personas con discalculia pueden proporcionar ejercicios interactivos, tutoriales, juegos educativos y ejemplos visuales que hacen que el aprendizaje de las matemáticas sea más accesible y atractivo. Estas herramientas pueden adaptarse a las necesidades individuales de los estudiantes (Drigas et al., 2016). Las tecnologías de asistencia, como los lectores de pantalla y los programas de procesamiento de texto con funciones de lectura en voz alta, pueden ser beneficiosas para las personas con discalculia, ya que pueden ayudar a leer y comprender problemas matemáticos, instrucciones y documentos relacionados con las matemáticas (Dhingra et al., 2022).

Las calculadoras y software matemático pueden ser de gran ayuda para realizar cálculos matemáticos complejos o para verificar los resultados. Además, algunos programas de matemáticas ofrecen soluciones paso a paso y representaciones visuales que facilitan la comprensión de los conceptos matemáticos. Las tecnologías de la información pueden generar ejercicios de práctica adaptados a las necesidades y al nivel de habilidad de cada estudiante con discalculia. Esto permite la repetición y la práctica continuas de conceptos matemáticos específicos. Plataformas de aprendizaje en línea y recursos educativos digitales ofrecen una variedad de contenidos y actividades matemáticas. Estas plataformas a menudo permiten el aprendizaje a su propio ritmo y brindan a los estudiantes con discalculia la flexibilidad necesaria para abordar las matemáticas de manera más cómoda (Wilson et al., 2006). Algunas aplicaciones y programas están diseñados para fortalecer habilidades cognitivas relacionadas

con las matemáticas, como la memoria de trabajo, la atención y la percepción espacial. Estos pueden ser útiles para abordar las dificultades subyacentes en la discalculia. Los dispositivos de asistencia, como grabadoras de voz, tabletas y aplicaciones específicas, pueden ayudar a los estudiantes con discalculia a tomar notas, organizar información y participar de manera más efectiva en el aula. Las tecnologías de información también pueden ser útiles para evaluar y realizar un seguimiento del progreso de los estudiantes con discalculia. Las evaluaciones digitales pueden proporcionar datos en tiempo real sobre el rendimiento y las áreas de mejora (Sinclair et al., 2015). En resumen, las tecnologías de la información tienen un papel importante en el apoyo a las personas con discalculia al proporcionar herramientas y recursos que hacen que el aprendizaje de las matemáticas sea más accesible y efectivo. Estas tecnologías pueden personalizarse para satisfacer las necesidades individuales de los estudiantes con discalculia y desempeñan un papel crucial en la inclusión educativa y la mejora de las habilidades matemáticas.

CONCLUSIÓN

Las neurociencias y las tecnologías de la información desempeñan un papel importante en la comprensión y abordaje de la discalculia, un trastorno específico del aprendizaje matemático. La discalculia se caracteriza por dificultades en el procesamiento numérico y las habilidades matemáticas, y su base neurobiológica se ha convertido en un área activa de investigación en la que ambas disciplinas desempeñan un papel fundamental. Las neurociencias han proporcionado información valiosa sobre las diferencias en la estructura y función del cerebro en personas con este trastorno. Estudios de neuroimagen han identificado estructuras cerebrales clave, como el surco intraparietal, que están relacionadas con el procesamiento numérico y que pueden mostrar diferencias en la activación y la conectividad en personas con discalculia. Estos hallazgos ayudan a comprender mejor las bases neurobiológicas de este trastorno e identificar posibles tratamientos para futuras intervenciones. Las tecnologías de la información, han revolucionado la forma en que las personas con discalculia abordan sus dificultades matemáticas. Aplicaciones y programas informáticos diseñados específicamente ofrecen ejercicios interactivos, tutoriales y herramientas de apoyo que hacen que el aprendizaje de las matemáticas sea más accesible y atractivo. Además, las tecnologías de asistencia, como los lectores de pantalla y los programas de lectura en voz alta, ayudan a superar las barreras de lectura y comprensión de problemas matemáticos.

En conclusión, las neurociencias y las tecnologías de la información están transformando la forma en que se aborda la discalculia. La investigación neurocientífica arroja luz sobre las bases cerebrales del trastorno, mientras que las tecnologías proporcionan herramientas personalizadas y accesibles para el aprendizaje y la superación de dificultades matemáticas. Esta combinación permite un enfoque más informado y efectivo para la detección, el diagnóstico y el tratamiento de la discalculia, lo que mejora significativamente la calidad de vida de las personas afectadas por este trastorno del aprendizaje.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Starr A & Brannon EM. Chapter 5-Evolutionary and Developmental Continuities in Numerical Cognition. *Mathematical Cognition and Learning*. 2015;1:123-144.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-420133-0.00005-3>.

Halberda J & Odic D. Chapter 12-The Precision and Internal Confidence of Our Approximate Number Thoughts. *Mathematical Cognition and Learning*. 2015;1:305-333.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-420133-0.00012-0>.

Peake C, Alarcón V, Herrera V, Morales K. Development of early numerical ability: contributions from cognitive psychology to initial mathematics education. *Revista Latinoamericana de Matemáticas Educativa, RELIME*. 2021.;24(3):299-326.

<https://doi.org/10.12802/relime.21.2433>.

Melgar AS, Morales-Gallarday SA, Ocaña-Fernández Y, Garay de Rodríguez-Palacios JP. Characterization of Mathematical Reasoning Skills in Children with ADHD. *Propósitos y Representaciones*. 2019;7(1):165-184. <https://dx.doi.org/10.20511/pyr2019.v7n1.273>.

Berteletti I, Prado J, Booth JR. Children with mathematical learning disability fail in recruiting verbal and numerical brain regions when solving simple multiplication problems. *Cortex*. 2014;57:143-155. <https://doi.10.1016/j.cortex.2014.04.001>.

American Psychiatric Association: *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, Fifth Edition*. Arlington, VA, American Psychiatric Association, 2013.

Kaufmann L, von Aster M. Chapter: The Diagnosis and Management of Dyscalculia. *Dtsch Arztebl Int*. 2012;109(45):767-778. <https://doi.10.3238/arztebl.2012.0767>.

Wilson AJ, Dehaene S. Number sense and developmental dyscalculia. In D. Coch, G. Dawson, & K.

- Fischer (Eds.), Human behavior, learning, and the developing brain: Atypical development. 2007 (pp. 212-238). New York: Guildford Press.
- Butterworth B. Foundational numerical capacities and the origins of dyscalculia. *Trends Cogn Sci.* 2010;14(12):534-541. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.09.007>.
- Iuculano T. Neurocognitive accounts of developmental dyscalculia and its remediation. *Prog Brain Res.* 2016;227:305-333. <https://doi.10.1016/bs.pbr.2016.04.024>.
- Haberstroh S, Schulte-Körne G. The Diagnosis and Treatment of Dyscalculia. *Dtsch Arzteb Int.* 2019;116(7):107-114. <https://doi.10.3238/arztebl.2019.0107>.
- Ashkenazi S, Rosenberg-Lee M, Metcalfe AW, Swigart AG, Menon V. Visuo-spatial working memory is an important source of domain-general vulnerability in the development of arithmetic cognition. *Neuropsychologia.* 2013;51(11):2305–2317. <https://doi.10.1016/j.neuropsychologia.2013.06.031>.
- Shalev RS. Prevalence of developmental dyscalculia. In: DB Berch, MMM Mazzocco (Eds.), *Why Is Math So Hard for Some Children? The Nature and Origins of Mathematical Learning Difficulties and Disabilities*. Brookes, Baltimore, pp.47-65.
- Gross-Tsur V, Manor O, Shalev RS. Developmental dyscalculia: prevalence and demographic features. *Dev Med Child Neurol.* 1996;38(1):25-33. <https://doi.10.1111/j.1469-8749.1996.tb15029.x>.
- Henik A, Rubinsten O, Ashkenazi S. The "where" and "what" in developmental dyscalculia. *Clin Neuropsychol.* 2011;25(6):989-1008. <https://doi.10.1080/13854046.2011.599820>.
- Bonn CD, Cantlon JF. The origins and structure of quantitative concepts. *Cogn Neuropsychol.* 2012;29(1-2):149-173. <https://doi.10.1080/02643294.2012.707122>.
- Anobile G, Marazzi M, Federici S, Napoletti A, Cecconi L, Arrighi R. Unimpaired groupitizing in children and adolescents with dyscalculia. *Sci Rep.* 2022;12:5629. <https://doi.10.1038/s41598-022-09709-5>.
- Vigna G, Ghidoni E, Burgio F, Danesin L, Angelini D, Benavides-Varela S, Semenza C. Dyscalculia in Early Adulthood: Implications for Numerical Activities of Daily Living. *Brain Sci.* 2022;12(3):373. <https://doi.10.3390/brainsci12030373> .
- Wilson AJ, Andrewes SG, Struthers H, Rowe VM, Bogdanovic R, Waldie KE. Dyscalculia and dyslexia

- in adults: Cognitive bases of comorbidity. *Learning and Individual Differences*. 2015;37:118-132. <https://doi.10.1016/j.lindif.2014.11.017>.
- Cárdenas SY, Silva-Pereyra J, Prieto-Corona B, Castro-Chavira S, Fernández T. Arithmetic processing in children with dyscalculia: an event-related potential study. *PeerJ*. 2021;27(9):e10489. <https://doi.10.7717/peerj.10489>.
- Kuhn JT, Ise E, Raddatz J, Schwenk C, Dobel C. Basic numerical processing, calculation, and working memory in children with dyscalculia and/or ADHD symptoms. *Z Kinder Jugendpsychiatr Psychother*. 2016;44(5):365-375. <https://doi.10.1024/1422-4917/a000450>.
- Mammarella IC, Caviola S, Cornoldi C, Lucangeli D. Mental additions and verbal-domain interference in children with developmental dyscalculia. *Res Dev Disabil*. 2013;34(9):2845-2855. <https://doi.10.1016/j.ridd.2013.05.044>.
- Geary DC. Mathematical disabilities: cognition, neuropsychological and genetic components. *Psychol Bull*. 1993;114:345–362
- Bulthé J, Prinsen J, Vanderauwera J, Duyck S, Daniels N, Gillebert C., et al. Multi-method brain imaging reveals impaired representations of numbers as well as altered connectivity in adults with dyscalculia. *Neuroimage*. 2019;15(190):289-302. <https://doi.10.1016/j.neuroimage.2018.06.012>.
- Bugden S, Ansari D. How can developmental cognitive neuroscience constrain our understanding of developmental dyscalculia? Chapter: *The Routledge International Handbook of Dyscalculia and Mathematical Learning Difficulties* 1st Edition, Routledge. 2014.
- Rosenberg-Lee M, Ashkenazi S, Chen T, Young CB, Geary DC, Menon V. Brain hyper-connectivity and operation-specific deficits during arithmetic problem solving in children with developmental dyscalculia. *Dev Sci*. 2015;18:351-372. <https://doi.org/10.1111/desc.12216>.
- Grabner RH, Ansari D, Koschutnig K, Reishofer G, Ebner F, Neuper C. To retrieve or to calculate? Left angular gyrus mediates the retrieval of arithmetic facts during problem solving. *Neuropsychologia*. 2009;47(2):604-608. <https://doi.10.1016/j.neuropsychologia.2008.10.013>.
- Kaufmann L, Vogel SE, Starke M, Kremser C, Schocke M, Wood G. Developmental dyscalculia: compensatory mechanisms in left intraparietal regions in response to nonsymbolic

- magnitudes. *Behavioral and Brain Functions*. 2009;5(1):35. 1744-9081-5-35.
- Jolles D, Ashkenazi S, Kochalka J, Evans T, Richardson J, Rosenberg-Lee M, et al., Parietal hyper-connectivity, aberrant brain organization, and circuit- based biomarkers in children with mathematical disabilities. *Dev Sci*. 2016;19(4):613-631. <https://doi.10.1111/desc.12399>.
- Cipolotti, L., van Harskamp, N. Disturbances of number processing and calculation. In: Berndt, R.S. (Ed.), *Handbook of Neuropsychology*, second ed. vol. 3. 2001. Elsevier Science, Amsterdam, pp. 305–334.
- Price, G.R., Holloway, I., Rasanen, P., Vesterinen, M., Ansari, D. Impaired parietal magnitude processing in developmental dyscalculia. *Curr Biol*. 2007;17(24):R1042-R1043.
- Corbetta M, Shulman G. Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nat Rev Neurosci*. 2002;3(3):201–215. <https://doi.10.1038/nrn755>.
- Uddin LQ, Supekar K, Amin H, Rykhlevskaia E, Nguyen DA, Greicius MD, Menon V. Dissociable connectivity within human angular gyrus and intraparietal sulcus: evidence from functional and structural connectivity. *Cereb Cortex*. 2010;20(11):2636–2646. <https://doi.10.1093/cercor/bhq011>.
- Fias W, Menon V, Szucs D. Multiple components of developmental dyscalculia. *Trends Neurosci. Educ*. 2014;2(2):43–47.
- Iuculano T, Rosenberg-Lee M, Richardson J, Tenison C, Fuchs L, Supekar K, et al., Cognitive tutoring induces widespread neuroplasticity and remediates brain function in children with mathematical learning disabilities. *Nat. Commun*. 2015;6:8453. <http://dx.doi.org/10.1038/ncomms9453>.
- Shen X, Finn E, Scheinost D, Rosenberg MD, Chun MM, et al.,. Using connectome-based predictive modeling to predict individual behavior from brain connectivity. *Nat Protoc*. 2017;12(3):506-518. <https://doi.10.1038/nprot.2016.178>.
- Skagenholt M, Lyons IM, Skagerlund K, Träf U. Connectome-based predictive modeling indicates dissociable neurocognitive mechanisms for numerical order and magnitude processing in children. *Neuropsychologia*. 2023;184:108563. <https://doi.10.1016/j.neuropsychologia.2023.108563>.

- Drigas AS, Pappas MA, Lytras M. Emerging Technologies for ICT based Education for Dyscalculia: Implications for Computer Engineering Education. *Int J Eng Edu.* 2016;32(4):1604-1610.
- Dhingra K, Aggarwal R, Garg A, Pujari J, Yadav D. Mathlete: an adaptive assistive technology tool for children with dyscalculia. *Disabil Rehabil Assist Technol.* 2022;19:1-7.
<https://doi.10.1080/17483107.2022.2134473>.
- Wilson AJ, Revkin SK, Cohen D, Cohen L, Dehaene S. An open trial assessment of "The Number Race", an adaptive computer game for remediation of dyscalculia. *Behav Brain Funct.* 2006;30(2):20.
<https://doi.10.1186/1744-9081-2-20>.
- Sinclair P, Kable A, Levett-Jones T. The effectiveness of internet-based e-learning on clinician behavior and patient outcomes: a systematic review protocol. *JBISIRIR*. 2015;13(1):52-64. <https://doi.10.11124/jbisrir-2015-1919>.
- Espina, E., Prieto, J. M. M., & Sáez, A. M. Recursos tecnológicos para la intervención temprana en casos de discalculia. In *Investigación en Educación Matemática XXIV*. 2021. (pp. 245-252). Sociedad Española de Investigación en Educación Matemática, SEIEM.