

Cómo citar este artículo: Díaz Chang, T. y Hernández Arredondo, E. (2025).

Mecanismos cognitivos inconscientes en el aprendizaje de las matemáticas: una mirada desde la Neurociencia. *RETOS XXI*, 9, 1-25.

Mecanismos cognitivos inconscientes en el aprendizaje de las matemáticas: una mirada desde la Neurociencia

Unconscious cognitive mechanisms in the learning of mathematics: a view from Neuroscience

Tamara Díaz Chang¹ y Elizabeth Hernández Arredondo²

Fecha de recepción: 01/06/2024; fecha de aceptación 19/08/2024

RESUMEN

Esta propuesta está orientada a la identificación de las técnicas experimentales de la neurociencia que son útiles para examinar procesos cognitivos inconscientes relacionados con algunas de las dificultades más comunes que surgen en los procesos de aprendizaje de conceptos matemáticos en la enseñanza universitaria, lo que constituye un tema de gran interés dentro de la comunidad investigativa en

matemática educativa. Para lograr este objetivo, se utiliza una metodología apoyada en una investigación bibliográfica cualitativa y argumentativa, a partir de una muestra aleatoria de 100 documentos originales de las bases de datos *WoS*, *Scopus* y *SciELO* publicados en el período comprendido entre los años 2000 y 2022. Los resultados obtenidos muestran que las técnicas experimentales de la neurociencia

¹ Profesora de la Universidad Austral de Chile. Correo: tamara.diaz@uach.cl

² Profesora de la Universidad de los Lagos (Chile). Correo: elizabeth.hernandez@ulagos.cl

examinadas, permiten estudiar mecanismos cognitivos inconscientes relevantes en la matemática de la educación superior, enriqueciendo y contrastando al mismo tiempo, desde una base neurocientífica, los métodos conductuales de la psicología cognitiva, así como sus aplicaciones a la matemática educativa para el estudio de procesos cognitivos, y generando así, el desarrollo de nuevas metodologías de investigación interdisciplinaria, con una visión más integral de los complejos mecanismos cognitivos que caracterizan a los procesos de aprendizaje de las matemáticas en la educación superior.

Palabras clave: *educación superior, neurociencia cognitiva, aprendizaje inconsciente.*

ABSTRACT

This proposal aims to identify experimental neuroscience techniques useful for examining unconscious cognitive processes related to some of the most common difficulties that arise in teaching and learning mathematical concepts in higher education, which constitutes a topic of great interest within the research community in

mathematics education. A methodology supported by qualitative and argumentative bibliographic research is used to achieve this objective, based on a random sample of 100 original documents from the *WoS*, *Scopus*, and *SciELO* databases published between 2000 and 2022. The results obtained show that the experimental techniques of neuroscience identified, allow for the study of relevant unconscious cognitive mechanisms in higher mathematics, enabling us at the same time to enrich and contrast, from a neuroscientific base, the methods developed by cognitive psychology, as well as their applications to educational mathematics for the study of cognitive processes, thus generating the development of new interdisciplinary research methodologies, with a more comprehensive vision of the complex cognitive mechanisms that characterize the learning processes of mathematics in higher education.

Keywords: *higher education, cognitive neuroscience, unconscious learning.*

INTRODUCCIÓN

La enseñanza de las matemáticas en el nivel universitario impone desafíos que afectan tanto al estudiantado como al profesorado. La evidencia indica que los cursos de matemáticas se encuentran entre los más difíciles en la enseñanza universitaria (Arroyo et al., 2023), por lo que los procesos de enseñanza y aprendizaje en este nivel han sido estudiados desde diferentes perspectivas teóricas en matemática educativa (Radford y D'Amore, 2006; Radford et al., 2009; Radford, 2017). A pesar de esto, algunas investigaciones (ver, por ejemplo, Dubinsky y colaboradores, 2005), afirman que, dada la naturaleza de algunos conceptos matemáticos muy abstractos, nuestro sistema cognitivo no puede apropiarse de éstos a través de manipulaciones operativas representadas por proposiciones formalmente rigurosas. Existen numerosos trabajos (e.g. Arrigo y D'Amore, 2004; Artigue, 2000; Fischbein, 2001) que dan cuenta de la dificultad y complejidad que presenta, en este caso, el obstáculo epistemológico (Bachelard, 2004). Estos procesos cognitivos que se dan durante el aprendizaje de diferentes conceptos en la matemática han sido caracterizados por la teoría de la carga

cognitiva (Sweller et al., 2019) y han inspirado diferentes investigaciones (e.g. Artigue, 2000; Edwards, 2009; Lakoff y Núñez, 2000; Nemirovsky y Borba, 2003; Swidan y Arzarello, 2022; Tall, 2004; Radford, 2008) desde hace algún tiempo.

Por otra parte, las teorías del aprendizaje desarrolladas en el contexto de la matemática educativa en las últimas décadas han puesto énfasis en el estudio de las preconcepciones de los estudiantes acerca de diferentes objetos de conocimiento como punto de partida de la enseñanza, debido a que sostienen que para que el aprendizaje sea significativo es necesario partir de estas preconcepciones e interactuar con ellas (Díaz-Barriga y Hernández, 2010). Sin embargo, en ocasiones estas preconcepciones pueden interferir en la adquisición de un nuevo conocimiento. Cuando se habla de un concepto matemático, se consideran todas las representaciones y preconcepciones que las personas evocan, actualizan y expresan con relación a situaciones y problemas en los que éste interviene.

Según Fischbein (2001) estas preconcepciones, intuiciones o convicciones inconscientes pueden estar a veces de acuerdo con verdades lógicamente deducibles y justificables por nuestra mente objetiva consciente, pero

otras veces pueden hallarse en contradicción con éstas. En consecuencia, las intuiciones pueden facilitar los procesos de aprendizaje de un determinado concepto matemático, pero, con frecuencia, pueden dar lugar a contradicciones y a paradojas, convirtiéndose en obstáculos epistemológicos.

Para Jung (2021) la intuición era una función psicológica que transmitía percepciones por vía inconsciente. Todo puede ser objeto de esa forma de percepción, tanto objetos externos como internos. En la intuición un contenido cualquiera se presenta como un todo acabado, sin que seamos capaces de indicar cómo ha llegado a constituirse. Sus contenidos tienen, como los de la sensación, el carácter de lo dado, al contrario de los contenidos del pensamiento, que tienen el carácter de algo “derivado” o “producido” (Jung, 2021). Como categoría filosófica, tanto para Descartes como para Spinoza, en un mundo de apariencias e interpretaciones engañosas, la intuición se mantiene como la última fuente fidedigna de certezas. Kant, por su parte, utiliza los términos “intuición intelectual” e “intuición sensible”. En la terminología de Kant la intuición se relaciona con el conocimiento

sensorial, es decir, con la facultad para captar y elaborar conclusiones sobre los objetos y el entorno de manera directa, no consciente, a través de los sentidos, mientras que la “intuición intelectual” simplemente no existe (Boehm, 2014).

Para Fischbein (2001), la intuición se presenta en principio como un fenómeno primario que puede ser hasta cierto punto describible, pero que es reducible a componentes más elementales, y que tiene la apariencia de conocimiento autoevidente y autoconsistente, como la percepción de un color o la experiencia de una emoción. Una intuición es, por lo tanto, una concepción en la que la incompletitud o la vaguedad de la información están enmascaradas por un mecanismo especial inconsciente que produce la sensación de inmediatez, coherencia y confianza. Debido a la necesidad imperiosa de la certidumbre implícita como una componente absoluta de una actividad práctica o mental, y debido a que la auto-evidencia es el último criterio para la certidumbre, como seres con una mente de naturaleza dual (consciente e inconsciente), continuamos fabricando de manera constante representaciones e interpretaciones aparentemente autoevidentes (Jung, 2021).

En relación con lo anterior, inspirado en el conocimiento tácito de Polanyi (1958) y considerando estos procesos cognitivos en el aprendizaje de conceptos matemáticos, Fishbein (2001) argumenta que estos modelos tácitos, implícitos e inconscientes, aparecen cuando tratamos con conceptos que son demasiado abstractos, o complejos. En estas circunstancias, se tiene una tendencia natural a pensar en términos de modelos mentales simplificados que nos ayudan a representar a las identidades originales con el objetivo de facilitar y estimular la tarea de comprensión o resolución, y luego se vuelven implícitos o tácitos, al perder conciencia de ellos, cuando empiezan a controlar nuestro razonamiento sin que lo notemos.

Por otra parte, las investigaciones en neurociencia apoyan estos resultados provenientes de las investigaciones en matemática educativa, mostrando que, en general, no somos conscientes de cómo nuestro cerebro organiza la información (Kandel, 2007). Estos resultados afirman que la mayor parte de nuestros procesos de pensamiento son inconscientes, es decir, inaccesibles a nuestra consciencia introspectiva de manera directa. Para pensar, poseemos sistemas de conceptos, pero no podemos inspeccionar

conscientemente nuestro arsenal de conceptos y lo que sucede en nuestras mentes, detrás del escenario, es enormemente complejo, y en gran parte, inaccesible para nosotros (Bargh y Morsella, 2008; Davou, 2002; Evans, 2008). Estudios experimentales demuestran que recordamos sin ser conscientes de que estamos recordando, y que estas experiencias que no recordamos de manera consciente tienen, de hecho, un efecto detectable, y a veces, considerable, en nuestro comportamiento (Evans, 2008; Weinberger y Green, 2022).

En consecuencia, gran parte de los mecanismos cognitivos que se desarrollan cuando estamos aprendiendo un nuevo concepto matemático, tienen lugar sin que podamos explicar lo que está sucediendo, o cómo está sucediendo, de manera consciente. Sin recurrir a un mecanismo consciente intencionado para procesar la información percibida, en ocasiones nos hacemos preguntas y buscamos las correspondientes respuestas inconscientemente (Chartrand y Bargh, 1996; Weinberger y Green, 2022). Sin embargo, para el aprendizaje de nociones y conceptos matemáticos, se necesita que el planteamiento de preguntas y la búsqueda de correspondientes respuestas sea un proceso consciente. De hecho, de

manera general, uno de los problemas más desafiantes en los estudios del aprendizaje, está relacionado con el papel de estos procesos inconscientes y conscientes (Fukuta y Yamashita, 2021). La evidencia indica que los procesos cognitivos inconscientes pueden conducir a la adquisición inconsciente de conocimiento, siendo estructural y funcionalmente más sofisticados que los conscientes e influyendo libremente en los procesos de aprendizaje (Bargh y Morsella, 2008; Evans, 2008). Por lo tanto, para lograr una comprensión adecuada de un determinado concepto matemático, estos procesos de aprendizaje inconscientes deben ser sacados a la luz por la intención consciente.

Además, desde la perspectiva de numerosos investigadores en matemática educativa la construcción de conceptos matemáticos puede ser un proceso complejo y lleno de obstáculos, y algunos de ellos afirman (e.g. Arrigo y D'Amore, 2004; Arroyo et al., 2023; Fischbein, 2001) que, para que estos obstáculos en el aprendizaje sean superados, se debe ayudar a los estudiantes a tomar conciencia de estos modelos.

Por todo lo anterior, para desarrollar una comprensión más profunda de los obstáculos y dificultades que surgen

durante los complejos procesos de construcción de conceptos matemáticos en este contexto, es relevante examinar también procesos cognitivos que involucran múltiples niveles de procesamiento, desde el consciente hasta el inconsciente, abarcando diversas áreas del cerebro y del sistema nervioso.

Sin embargo, las teorías tradicionales en educación matemática suelen centrarse en los procesos observables y conscientes del aprendizaje, y aunque son muy efectivas para mejorar nuestras prácticas educativas y diseñar estrategias didácticas, carecen de herramientas para estudiar procesos cognitivos inconscientes, que no se pueden observar de manera directa. Por lo tanto, para obtener una comprensión más completa y profunda del aprendizaje de las matemáticas en el contexto universitario, es necesario acudir a herramientas provenientes de otras disciplinas, que nos permitan observar estos procesos inconscientes.

Con relación a esto, en los últimos años se ha producido un gran desarrollo de las técnicas experimentales de la neurociencia, permitiendo estudiar el cerebro humano en tiempo real, tanto a nivel estructural como a nivel funcional (Parra-Bolaños, 2015). Tal desarrollo ha posibilitado el estudio de diferentes

procesos cognitivos y funciones psicológicas complejas desde una nueva perspectiva, hasta entonces vedada a la comunidad científica en general. Con ello se ha logrado un avance sin precedentes en nuestro conocimiento de la organización del cerebro humano con relación a los procesos cognitivos, que ha abierto nuevas perspectivas de investigación, así como importantes aplicaciones en la práctica (Berntson y Cacioppo, 2009).

Estas técnicas experimentales que nos permiten observar la actividad neurofisiológica han permitido recoger un enorme caudal de evidencia empírica que verifica el postulado fundamental de la neurociencia cognitiva, de que existe una correspondencia entre procesos cognitivos y procesos neuronales (Maturana y Varela, 1992), y a partir de esto, proporcionan información en tiempo real sobre los procesos cognitivos que se desarrollan en el aprendizaje de una nueva habilidad o de un determinado concepto. Es así, por ejemplo, que la atención como proceso cognitivo se corresponde con el proceso neuronal de selección de la información, la percepción con el proceso de interpretación de la información, la memoria con la retención y recuperación de la información, la toma de decisión con

el procesamiento de la información a nivel neuronal, la respuestas motora y verbal con acciones corporales que se ejecutan basadas en el procesamiento de esa información, y así sucesivamente (Kandel, 2007).

Así, la neurociencia cognitiva se centra en el estudio de los mecanismos fisiológicos implicados en los procesos psicológicos que caracterizan la cognición humana, entendida en un sentido amplio, abarcando no solamente los procesos estrictamente cognitivos (atención, memoria, motivación, etc.), sino también los procesos emocionales, cuya importancia para la propia cognición ha sido reconocida solo recientemente, cuando han comenzado a recibir la atención que merecen (Burgueño-López, 2022).

Precisamente, identificar las técnicas experimentales de la neurociencia que pueden auxiliarnos en el estudio de mecanismos cognitivos inconscientes que surgen en el aprendizaje de conceptos matemáticos en el nivel universitario, es el objetivo principal de este artículo. Para lograr esto, se seguirá la siguiente secuencia de objetivos específicos: (1) identificar mecanismos cognitivos inconscientes que se desarrollan durante el aprendizaje de las matemáticas en el

nivel universitario (2) reconocer las investigaciones donde se emplean las técnicas experimentales de la neurociencia para encontrar indicadores del nivel de dificultad de conceptos matemáticos y de la formación de modelos cognitivos inconscientes durante su estudio y (3) determinar posibles relaciones entre las técnicas experimentales de la neurociencia utilizadas y el reconocimiento de mecanismos cognitivos inconscientes que se desarrollan durante el aprendizaje de diferentes conceptos matemáticos.

MÉTODO

La metodología implementada se apoyó en una investigación bibliográfica, cualitativa y argumentativa (Hernández-Sampieri et al., 2014). Para llevar a cabo nuestra investigación se seleccionó una muestra aleatoria de 100 documentos originales de las bases de datos *WoS*, *Scopus* y *SciELO* publicados en el período comprendido entre los años 2000 y 2022, donde se utilizaba las técnicas experimentales de la neurociencia en el estudio de procesos cognitivos y que fueron identificados mediante las palabras clave.

Notemos que, al elegir una muestra aleatoria, se asegura que cada documento

en el conjunto total (población) tenga la misma probabilidad de ser seleccionado (Hernández, 2012). Esto permite garantizar que la muestra sea representativa de la totalidad de la literatura disponible sobre este tema, reflejando de manera más precisa la diversidad de perspectivas, enfoques y resultados. En este caso, dado el volumen extenso de publicaciones disponibles, la muestra aleatoria de documentos se utilizó para reducir el sesgo de selección y garantizar la representatividad, permitiendo asegurar que los resultados fueran generalizables a un contexto más amplio. Además, la selección aleatoria facilitó un análisis manejable y confiable, proporcionando una visión ponderada y objetiva de las investigaciones que se ha realizado hasta el momento y que constituyen aplicaciones de la neurociencia al estudio de procesos cognitivos en el aprendizaje de las matemáticas.

Una vez tomada la muestra, se realizó el análisis e interpretación de la información extraída mediante el método de análisis de contenido (Bengtsson, 2016). Este análisis es una herramienta de investigación que se utiliza para determinar la presencia de ciertos temas o categorías dentro de algunos datos cualitativos dados y para analizar sus

significados y relaciones cualitativas, es un enfoque interpretativo, de naturaleza tanto observacional como narrativa.

Existen dos tipos generales de análisis de contenido: el análisis conceptual y el análisis relacional. El análisis conceptual determina la existencia y frecuencia de las categorías observadas. El análisis relacional comienza como el análisis conceptual, donde se eligen las categorías para su examen, pero implica, además, explorar las relaciones entre ellas. Se considera que el resultado del análisis, en este caso, es un producto de las relaciones entre las categorías (Krippendorff, 1980).

Para comenzar el análisis de contenido relacional, los textos seleccionados se codificaron en categorías manejables para su análisis, es decir, de acuerdo con las categorías elegidas en relación con los mecanismos cognitivos y los procesos de aprendizaje de las matemáticas que se querían observar y las técnicas experimentales de la neurociencia utilizadas en cada caso. En este caso, para categorizar las técnicas experimentales utilizamos los términos definidos por Grabner y sus colaboradores (2010), para categorizar los procesos de aprendizaje empleamos los términos definidos por Strohmaier y sus colaboradores (2020) y

las categorías que usamos para los mecanismos cognitivos fueron las definidas por Sweller y Merriënboer (2019).

A continuación, se siguieron los pasos o etapas del análisis propuesto (Krippendorff, 1980): 1) se decidió el fenómeno a estudiar, identificando textos y materiales de interés útiles para el análisis; 2) se eligió qué estudios cualitativos eran pertinentes, considerando el alcance de la síntesis propuesta; 3) se realizó una lectura crítica de los estudios seleccionados para identificar y codificar los principales conceptos y mecanismos cognitivos inconscientes asociados a éstos, y la extracción de argumentos interpretativos en relación con ellos; 4) se exploró la relación entre categorías: una vez codificados los textos, se determinó la relación entre los estudios: esta etapa incluyó la elaboración de listas de códigos y argumentos clave en cada estudio y el análisis de la fuerza y dirección de sus relaciones con los demás; 5) de acuerdo con los resultados del paso anterior, se codificaron relaciones entre categorías de diferentes textos o estudios; 6) Se mapearon las relaciones entre las variables identificadas durante la codificación y se

realizó una síntesis del análisis, llegando a nuevas conclusiones.

Para llevar a cabo la síntesis e interpretación de la información extraída en el último paso 6, se utilizó el método de meta-etnografía (Noblit y Haré, 1988). La metaetnografía es un método exhaustivo de metasíntesis cualitativa, en el que se seleccionan, analizan e interpretan estudios cualitativos para responder a preguntas centradas en un tema específico para llegar a nuevas ideas y conclusiones.

La metasíntesis va más allá de los informes críticos de la literatura basados en un análisis riguroso de los datos obtenidos en la investigación cualitativa (Finfgeld, 2018), que incluye la dinámica de identificar constantemente similitudes y desacuerdos entre los conceptos recogidos y su método propone un enfoque para la generación de conocimiento a partir de la evidencia, ampliando las interpretaciones que se obtienen a partir del análisis crítico de la literatura. En este caso el producto de la síntesis es la "traslación" de estudios a otros, lo que motiva al investigador a comprender y transferir ideas y conceptos a través de diferentes estudios (Britten et al., 2002).

En nuestro caso, la interpretación y argumentación en relación con las categorías elegidas en los estudios

seleccionados se consideraron como datos y se transfirieron a través de diferentes estudios para producir la síntesis, que nos permitió arribar a los resultados que exponemos a continuación.

RESULTADOS

El análisis mostró que, desde hace algún tiempo, se vienen desarrollando aplicaciones de las metodologías de la neurociencia cognitiva (Campbell, 2010) al estudio de procesos cognitivos que aparecen en los procesos de aprendizaje de las matemáticas (De Smedt y Grabner, 2016; Strohmaier et al., 2020; Valdés-Sosa et al., 2021). Notemos antes de continuar, que entre las técnicas experimentales de la neurociencia más usadas para examinar cómo las funciones neurofisiológicas soportan las actividades de aprendizaje, se encuentran el *eye-tracking* (seguimiento ocular), técnicas de neuroimagen como el Electroencefalograma (EEG) y las imágenes de Resonancia Magnética funcional (fMRI) (e.g. Merkley et al., 2016; Schillinger, De Smedt et al., 2016; Leikin et al., 2016, Schindler y Lilienthal, 2020; Valdés-Sosa et al., 2021), proporcionando un conocimiento fundamental sobre las estructuras cerebrales implicadas en el procesamiento de aspectos concretos de

las distintas funciones psicológicas, entre las que se encuentran las cognitivas (Kandel, 2007).

La actividad eléctrica que se registra mediante la técnica del EEG es la actividad sináptica sincronizada en poblaciones o conjuntos de neuronas corticales en forma de ondas cerebrales. Las ondas cerebrales son patrones repetitivos (oscilatorios) de actividad eléctrica que generan estos diferentes grupos de neuronas que se activan juntas. Estas ondas oscilatorias son de muy baja amplitud, del orden de los microvoltios y se clasifican de acuerdo a su frecuencia de oscilación y su estado cognitivo asociado: las ondas delta (δ) tienen frecuencia entre 1 y 3 Hz y se corresponden con un estado de relajación total como el que ocurre durante el sueño; las ondas theta (θ) con frecuencias desde 3,1 a 7,9 Hz se asocian con un estado de relajación como la somnolencia; las ondas alfa (α) con frecuencias de 8 a 13 Hz que representan estados reflexivos y pensamientos relajados; las ondas beta (β) con frecuencias entre 14 y 29 Hz, que se asocian a estados mentales activos, de atención y concentración, a una mente ocupada y con gran actividad; y las ondas gamma (γ) con frecuencias de 30 a 100 Hz que corresponden a un estado de máxima

concentración asociado a los procesos cognitivos superiores (Kandel, 2007).

El análisis de estos patrones de ondas es otra gran herramienta de investigación de procesos cognitivos no conscientes. Estas técnicas experimentales para observar la actividad cerebral, además de informarnos sobre el grado de atención y de conciencia de determinado proceso mental, pueden dar pistas reales sobre qué tipos de pensamientos podrían conducir o no, a un aprendizaje adecuado en determinado contexto, sobre los niveles de carga cognitiva de una determinada tarea (Sweller et al., 2019), o en general, podría brindarnos información complementaria sobre procesos cognitivos inconscientes que se desarrollan durante el estudio de un determinado concepto (Valdés-Sosa et al., 2021).

Entre los estudios que utilizan la técnica del EEG y permiten examinar mecanismos cognitivos inconscientes, están los de localización (e.g. Berman et al., 2006), motivados por un interés en localizar funciones psicológicas y cognitivas a ciertas regiones del cerebro. La intención de las investigaciones que adoptan este enfoque es identificar correlaciones entre el comportamiento y regiones del tejido cerebral que se activan o, dicho de otro modo, es descubrir cómo

se localizan los procesos cognitivos en el tejido cerebral. Este tipo de estudios tiene gran valor, tanto para comprender la organización normal de los módulos de procesamiento cerebrales, así como para predecir el nivel de conciencia y atención involucrados en estos procesos.

Por otra parte, los estudios de analogías en la activación cerebral se desarrollan como corolario de los estudios de localización. Estos estudios parten de la hipótesis siguiente: si dos tareas llevan a la activación de áreas comunes del cerebro, es probable que estas dos tareas o comportamientos compartan algún proceso o procesos comunes (Jonides et al., 2006; Henson, 2006), aunque como demuestra Poldrack (2006), esta lógica no es infalible. Aun así, examinar casos en los que la activación regional del cerebro de una tarea es coextendida con la activación de otra tarea puede ser bastante informativo. Algunos de estos estudios (Eisenberger et al., 2003; Wager et al., 2004) demuestran que las técnicas experimentales se pueden usar para inferir los procesos cognitivos involucrados en una actividad o tarea, al mostrar similitudes con la activación cerebral para otra que ya ha sido estudiada con anterioridad, y es mejor entendida.

El complemento a los estudios de activaciones cerebrales comunes, son los estudios de peculiaridades en la activación cerebral, que buscan descubrir activaciones distintivas entre dos tareas diferentes. Descubrir tales disociaciones permite deducir si dos tareas están mediadas por diferentes procesos cognitivos (e.g. Jonides et al., 2006; Henson, 2006; Poldrack, 2006). Por lo tanto, los estudios de peculiaridades, cuando se agregan a los estudios de analogías, permiten un programa de investigación que construye gradualmente una arquitectura de procesamiento cognitivo, a partir de la arquitectura de actividad cerebral observada. Sin embargo, hay que considerar que la mayoría de los hallazgos de activaciones distintivas, producen resultados de superposición parcial en las activaciones, por lo que el carácter distintivo que se encuentra puede ser más cuantitativo que cualitativo.

A modo de ejemplo, en la Figura 1 se presenta una investigación en la Universidad de Pittsburgh (Lundstrom et al., 2003), que estudia la resolución de ecuaciones algebraicas, mostrando el incremento de los niveles oxígeno en sangre de ciertos sectores de la corteza cerebral que se activan durante esta actividad. En este estudio se usa la técnica

del fMRI para medir los incrementos de dichos niveles de oxígeno en sangre, que denotan actividad cognitiva, en 8 estudiantes de 19 a 23 años. Su objetivo principal era mostrar cómo se relacionan algunos modelos de procesamiento inconsciente de información ya conocidos, con los resultados del análisis de los datos registrados mediante esta técnica experimental.

En la Figura 2 se muestra otro estudio, realizado en el Centro de Investigación Avanzada en Educación (CIAE) de la Universidad de Chile (Barraza et al., 2014) utilizando la técnica del EEG, donde se analiza la sincronización de fases de las bandas de ondas cerebrales θ , α y γ , y su distribución en la corteza cerebral durante la manipulación y comparación de fracciones, según una estrategia de procesamiento holística (HPS) y según una estrategia de procesamiento por componentes (CPS), en la actividad cerebral de 20 sujetos.

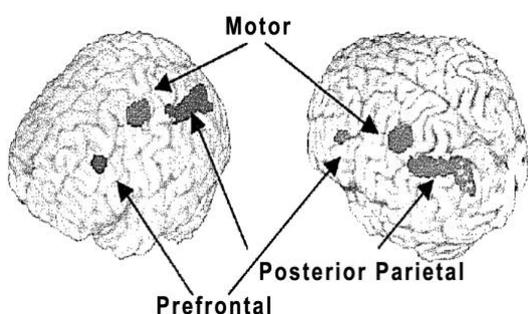


Figura 1. Sectores de las regiones prefrontal, parietal y motriz de ambos hemisferios, activadas significativamente en la resolución de ecuaciones algebraicas (tomado de Anderson et al., 2003).

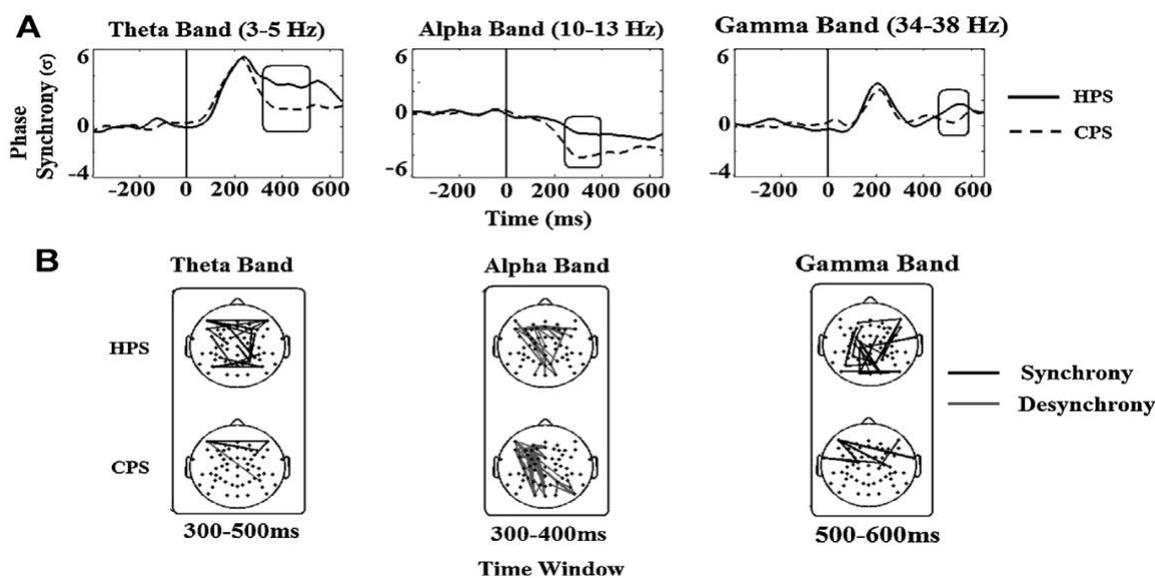


Figura 2. Sincronización de fases de las bandas de ondas Teta, Alfa y Gamma y su distribución en la corteza cerebral durante el procesamiento y comparación de fracciones (tomado de Barraza et al., 2014).

Esta investigación proponía, como resultado, que la integración neuronal de los potenciales sinápticos a larga distancia es el evento crítico que media la asignación eficiente de recursos cognitivos durante la operatoria de fracciones de estudiantes universitarios.

Por otra parte, la técnica del seguimiento ocular o *eye-tracking* (Was, Morris y Sansosti, 2017) se refiere a un conjunto de herramientas agrupadas bajo ese nombre, que realizan registros biométricos, proporcionándonos información sobre parámetros fisiológicos que se activan cuando nos enfrentamos a tareas cognitivas en general. Las mediciones obtenidas mediante este conjunto de herramientas tienen como objetivo medir la dilatación pupilar y los focos de atención y movimientos oculares que señalan patrones repetitivos en la fijación de atención, su velocidad y duración, además de los movimientos sacádicos (movimientos rápidos, escalonados, en saltos, del globo ocular) (Was, Morris y Sansosti, 2017) y se correlacionan con la activación de otros parámetros neurofisiológicos que pueden ser medidos mediante otras técnicas (Duchowski, 2007). Esta técnica se fundamenta en la hipótesis *eye-mind* desarrollada por Just y Carpenter (1980) y

se basa en la gran influencia que tiene la atención en los procesos cognitivos, asumiendo que cuando un sujeto observa algo, desarrolla algún proceso cognitivo en relación con lo observado, y por tanto este proceso queda exactamente registrado en el tiempo de la fijación. Luego, los parámetros del movimiento ocular se usan simultáneamente como medidas neurofisiológicas y como indicadores del esfuerzo mental.

Notemos que los métodos de seguimiento ocular asumen que el aprendizaje está relacionado principalmente con la percepción y el procesamiento de los estímulos del entorno. El sentido más importante que proporciona la mayor cantidad de información es el sentido de la vista que es responsable del 80% de nuestra percepción sensorial (Kandel, 2007), y por esto el estudio de la actividad visual se ha convertido en un tema de tanto interés durante los últimos años para las investigaciones que incorporan los avances de la neurociencia cognitiva (Strohmaier et al., 2020). Las investigaciones desarrolladas en años recientes sobre la hipótesis *eye-mind* demuestran que las actividades de la percepción visual son responsables del análisis, síntesis e interpretación de imágenes transmitidas

desde la retina por los nervios ópticos al centro visual de la corteza cerebral. El sistema de atención decide seleccionar un objeto y dirigir la mirada hacia él en promedio de tres veces por segundo. Como resultado, se considera que esta técnica proporciona un reflejo preciso de las interacciones entre procesos cognitivos y estímulos visuales externos (Soluch y Tarnowski, 2013).

Radford (2008) afirma que la mayoría de las investigaciones asumen una “visión de la cognición mentalmente orientada” (ver, por ejemplo, (König et al., 2016)). O sea, asumen que los movimientos oculares siempre reflejan procesos cognitivos superiores como la percepción consciente, la memoria, el pensamiento abstracto o la resolución de problemas. Sin embargo, otras investigaciones (ver, por ejemplo, (Abrahamson y Bakker, 2016)), asumen que los movimientos oculares constituyen una expresión de las funciones motosensoriales y, por lo tanto, forman parte integral de la cognición, consciente o inconsciente (o de cualquier nivel intermedio de consciencia). Incluso otros investigadores como Beesley y colaboradores (2019), afirman que la fortaleza de esta técnica yace en que es poco invasiva y que, a la vez, posee alta

capacidad para investigar procesos cognitivos como los inconscientes.

Gran parte de los rastreadores oculares utilizan diodos emisores de luz infrarroja para iluminar el ojo, utilizando la relación entre el reflejo de la córnea y el centro de la pupila para identificar la dirección de la mirada. Generalmente, se pueden dividir en dos tipos: remotos y portátiles. Los laboratorios utilizan sistemas remotos y una unidad de interfaz gráfica integrada que proporciona información en tiempo real sobre la pantalla de un computador o dispositivo móvil. Las especificaciones técnicas de estos rastreadores son diversas. La frecuencia de muestreo tradicional es de 60 Hz, pero existen muchos dispositivos que usan una frecuencia mucho mayor.

Las medidas de seguimiento ocular más utilizadas son la dilatación de la pupila, el conteo de fijaciones y la duración de la fijación. La fijación es un estado en el que la mirada se fija en el objeto observado. La duración de la fijación depende únicamente del procesamiento de la información y es aproximadamente de 150 a 1500 milisegundos (Steinman, 2004). Entre las fijaciones se considera el movimiento sacádico: un movimiento rápido, escalonado, en saltos, del globo ocular, conectado con cambios en el foco

MECANISMOS COGNITIVOS INCONSCIENTES EN EL APRENDIZAJE DE LAS MATEMÁTICAS: UNA MIRADA DESDE LA NEUROCIENCIA

ocular. En otros estudios también se utilizan las áreas del foco de atención y los parpadeos para obtener información relevante (Andrá et al., 2015; Recarte et al., 2008).

Según Strohmaier y colaboradores (2020), en las últimas investigaciones realizadas se puede notar un creciente interés en los cambios de dilatación de la pupila. Algunos consideran que estos cambios son importantes en el análisis del índice de procesamiento de información (e.g. Poole y Ball, 2006). En condiciones de iluminación fija, la pupila aumenta de diámetro cuando aumenta la dificultad de la tarea realizada. Sin embargo, la susceptibilidad de esta medida a factores externos como las condiciones de iluminación, constituye una limitación experimental.

En la Figura 3 se muestra un estudio realizado por Arzarello y sus colaboradores (Andrá et al., 2015) en la Universidad de Torino, reportando los focos de atención y patrones repetitivos en la fijación de atención, su velocidad, amplitud y duración, además de los movimientos sacádicos, de 46 estudiantes universitarios que realizaban una tarea relacionada con funciones, según dos registros de representación diferentes.

En esta investigación se intentaba detectar diferencias en la actividad ocular, según el tipo de registro de representación, contribuyendo así a la comprensión sobre el manejo inconsciente de diferentes registros de representaciones semióticas.

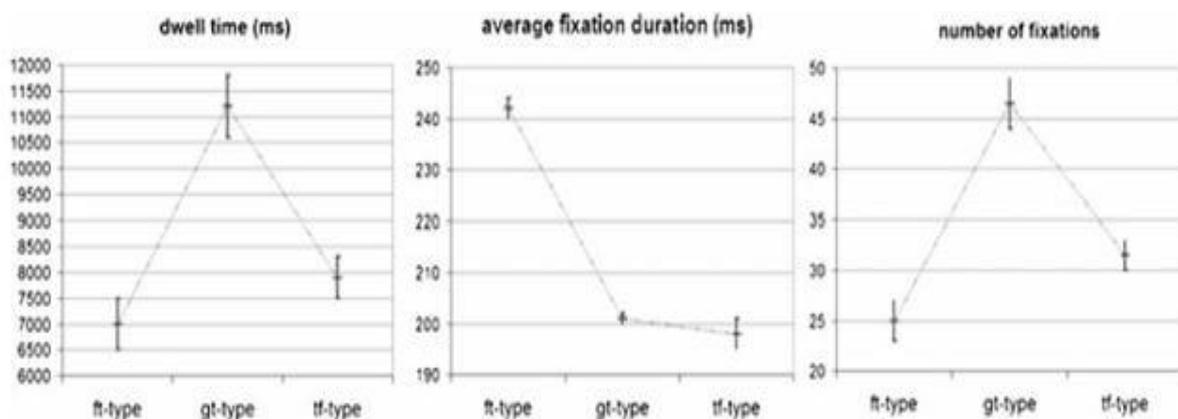


Figura 3. Tiempo total de fijación (izquierda), duración promedio fijación de la atención (centro), número de fijaciones (derecha) respecto a tres registros de representación diferentes (tomado de Andrá et al., 2015).

En la Figura 4 se muestran los resultados de una exhaustiva revisión bibliográfica realizada por Strohmaier y colaboradores (2020), que presenta el número de estudios en matemática educativa que utilizan exclusivamente la técnica del seguimiento ocular, publicados en los últimos años.

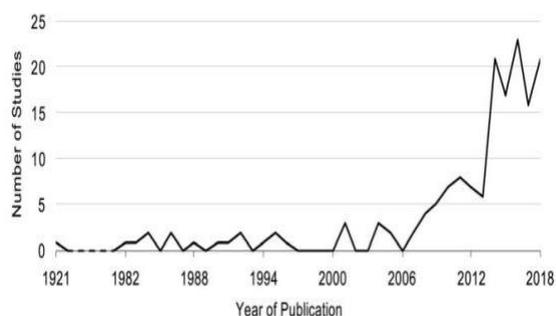


Figura 4. Cantidad de estudios realizados que utilizan la técnica del eye-tracking en los últimos años (tomado de Strohmaier et al., 2020).

En general, se afirma (ver, por ejemplo: Debue y Leemput, 2014; Susac et al., 2014; Díaz-Chang y Arredondo, 2022) que las mediciones de los parámetros de la actividad ocular son indicadores del nivel de dificultad de los problemas matemáticos. En particular, Díaz-Chang y Arredondo (2022) relacionan las mediciones de estos parámetros de la actividad ocular con la presencia de procesos inconscientes de aprendizaje.

Por otra parte, algunos estudios (e.g. Campbell, 2010) se posicionan en la teoría de la Cognición Encarnada (CE) (Rosch et al., 1991). Esta teoría cognitiva surgió

precisamente a partir de la evidencia experimental acumulada por la neurociencia, y sugiere que existen modos alternativos de formalizar ideas abstractas en general, y en particular, los conceptos matemáticos, resaltando el papel de las percepciones sensoriales en los procesos de abstracción, y en la construcción de conceptos de lo simple a lo complejo (Maturana y Varela, 1992; Wilson, 2002) y proponiendo que el cuerpo, más que actuar como un instrumento de percepción al servicio de la mente, funciona como un componente de ésta y, por lo tanto, está directamente involucrado en los procesos cognitivos.

Desde esta perspectiva gran parte de la cognición se deriva y depende de las interacciones corporales del individuo con su medio (Barsalou, 2007), y son, por lo tanto, un elemento clave para explicar el desempeño de las funciones cognitivas. En este contexto, las experiencias corporales intervienen más allá de una primera fase del conocimiento, y, de hecho, permean todo el proceso de producción de éste.

De esta manera, se considera que gran parte del conocimiento y la experiencia se basan en sistemas sensoriales que subyacen a la percepción, sistemas motores que se soportan la acción corporal y sistemas introspectivos

sobre los que se basan experiencias conscientes como la emoción y la motivación, en estrecha relación con los procesos cognitivos (Niedenthal et al., 2005). Luego, la interacción entre el cuerpo y la mente es el origen de la experiencia consciente en el momento presente y la actividad consciente, se puede considerar desde este punto de vista, como la capacidad intencional y progresiva de notar, diferenciar y modular estos procesos de interacción (Siegel, 2010). Además, la conciencia de señales corporales (llamada conciencia interoceptiva) es crucial para regular las emociones y, de hecho, se ha demostrado que facilita los procesos de conciencia y, por lo tanto, los procesos cognitivos (Füstös et al., 2012).

La atención a esta teoría en matemática educativa fue suscitada, en gran medida, por Lakoff y Núñez (2000) y aplicada en varias investigaciones dentro del campo posteriormente (Arzarello et al., 2009; Nemirovsky y Borba, 2003; Edwards, 2009; Radford et al., 2017). Considerando esto, en el estudio de los procesos cognitivos inconscientes que nos ocupan se debe contemplar además, la complejidad de la conciencia como fenómeno encarnado, por lo que la combinación de varias técnicas

experimentales, que permita la recogida simultánea de conjuntos de datos integrados y sincronizados, que también proporcione el registro de movimientos corporales multimodales, emociones y otras observaciones conductuales, debería ser la estrategia más efectiva en este caso (Campbell, 2010).

CONCLUSIONES

A partir del análisis realizado, concluimos que las técnicas experimentales de la neurociencia identificadas, posibilitan el estudio de mecanismos cognitivos inconscientes relevantes en el aprendizaje de las matemáticas en la enseñanza universitaria, permitiendo enriquecer y contrastar, desde una base neurocientífica, los métodos conductuales propios de la matemática educativa para el estudio de procesos cognitivos, y generando así, el desarrollo de nuevas metodologías de investigación interdisciplinaria, con una visión más integral de los complejos mecanismos cognitivos que caracterizan a los procesos de aprendizaje de las matemáticas en el nivel universitario.

Dado el creciente interés que existe dentro de la comunidad científica en matemática educativa sobre los aportes

que la aplicación de estas técnicas experimentales de la neurociencia puede realizar a las investigaciones en este ámbito, en estos momentos ya existe un considerable número de resultados reportados desde las investigaciones sobre procesos cognitivos que se desarrollan durante el aprendizaje de las matemáticas (e.g.: Strohmaier et al., 2020; Valdés-Sosa et al., 2021). A pesar de esto, se necesita establecer una mayor articulación entre estas herramientas y estos resultados con los marcos teóricos de la matemática educativa en la educación superior, tal como se plantea en algunas investigaciones (e.g. Strohmaier et al., 2020).

Por otra parte, el empleo de estas técnicas experimentales para el estudio de procesos cognitivos inconscientes presenta algunas limitaciones en cuanto a su validez ecológica: es evidente que el contexto controlado en el que se desarrolla la investigación en neurociencia en la actualidad hace difícil la extrapolación de resultados al campo de las investigaciones de los procesos de aprendizaje de las matemáticas, tal como se desarrolla en la sala de clases universitarias. No obstante, el acelerado desarrollo tecnológico de nuestra era digital está haciendo posible que técnicas

cada vez menos invasivas como los rastreadores oculares portátiles o en línea y las bandas portátiles de detección cerebral, sean relativamente fáciles de incorporar a nuestra práctica en la sala de clases y a nuestro quehacer investigativo.

Por otra parte, basado en la evidencia experimental, se sabe que el estudio de procesos cognitivos conscientes es un fenómeno muy complejo (Thompson y Varela, 2001). Los procesos de interacción generados entre el cerebro y el cuerpo están involucrados en la autorregulación y, por ende, en la cognición, por lo que un aspecto central de la conciencia es el acceso continuo a las sensaciones del momento presente, permitiendo la integración progresiva y continua de estos procesos de interacción que intervienen en el desarrollo de los procesos cognitivos (Chiesa et al., 2013; Siegel, 2012).

En consecuencia, se necesita realizar investigación más extensiva de esta problemática, enfatizando que la combinación e integración de observaciones adquiridas mediante varias de estas técnicas, dentro de diseños de investigación mixtos, nos permitirían analizar el comportamiento durante el aprendizaje desde una perspectiva más amplia, ayudándonos a comprender, de

manera más completa, estos complejos mecanismos de aprendizaje inconsciente y pueden ser extremadamente útiles en las agendas de investigación de la matemática educativa en el contexto universitario.

REFERENCIAS

- Abrahamson, D. y Bakker, A. (2016). Making sense of movement in embodied design for mathematics learning. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 1(33), 1-13. DOI:10.1186/s41235-016-0034-3.
- Andrà, C., Lindström, P., Arzarello, F., Holmqvist, K., Robutti, O., y Sabena, C. (2015). Reading mathematics representations: An eye tracking study. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 13, 237–259. DOI:10.1007/s10763-013-9484-y
- Arrigo, G. y D'Amore, B. (2004). Otros hallazgos sobre los obstáculos en la comprensión de algunos teoremas de Georg Cantor. *Educación Matemática*, 16(2), 5-20.
- Arroyo Hernández, L., Ramos Cisternas, D., Peña Bravo, D., Flores Alberto, S., Choquehuanca Subieta, Y., Campos Venegas, D. y Salgado, O. (2023). Dificultad específica de aprendizaje de las matemáticas: Evidencia disponible en Iberoamérica. *Revista Chilena De Educación Matemática*, 15(2), 63–74.
- Artigue, M. (2000). Teaching and Learning Calculus. What Can be Learned from Education Research and Curricular Changes in France? En E. Dubinsky (Ed.), *Research in Collegiate Mathematics Education*, IV. American Mathematical Society. DOI:10.1090/cbmath/008/01
- Arzarello, F., Paola, D. Robutti, O., y Sabena, C. (2009). Gestures as semiotic resources in the mathematics classroom. *Educational Studies in Mathematics*, 70(2), 97–109.
- Bachelard, G. (2004). *La formación del espíritu científico*. Siglo XXI.
- Bargh, J.A. y Morsella, E. (2008) The unconscious mind. *Perspective in Psychological Sciences* 3, 73–79.
- Barraza, P., Gómez, D.M., Oyarzún, F., y Dartnell, P. (2014). Long-distance neural synchrony correlates with processing strategies to compare fractions. *Neuroscience letters*, 567, 40-44.
- Barsalou, L.W. (2007). Grounded cognition. *Annual Review of Psychology*, 59(1), 617–645.

- Beesley, T., Pearson, D. y Le Pelley, M. (2019). Eye tracking as a tool for examining cognitive processes. In *Biophysical measurement in experimental social science research*, Academic Press, 1-30.
- Bengtsson, M. (2016). How to plan and perform a qualitative study using content analysis. *Nursing Plus Open*, 2, 8-14.
- Berman, M.G., Jonides, J. y Nee, D.E. (2006). Tools of the Trade: Studying mind and brain with fMRI. *SCAN*, 1, 158-161.
- Berntson, G.G. y Cacioppo, J.T. (Eds.). (2009). *Handbook of neuroscience for the behavioral sciences (vol. 1)*. Hoboken. John Wiley & Sons Inc.
- Boehm, O. (2014). *Kant's Critique of Spinoza*. New York: Oxford University Press.
- Britten, N., Campbell, R., Pope, C., Donovan, J., Morgan, M., y Pill, R. (2002). Using meta ethnography to synthesise qualitative research: A worked example. *Journal of Health Services Research & Policy*, 7(4), 209-215. 10.1258/135581902320432732
- Burgueño, J. (2022). El cerebro que aprende: Padres y Maestros. *Journal of Parents and Teachers*, 389, 5.
- Campbell, S. (2010) Embodied minds and dancing brains: New opportunities for research in mathematics education. En B. Sriraman y L. English (Eds.), *Theories of mathematics education: Seeking new frontiers*, 309-332. Springer. DOI:10.1007/978-3-642-00742-2_31
- Chartrand, T.L. y Bargh, J.A. (1996) Automatic activation of impression formation and memorization goals: Nonconscious goal priming reproduces effects of explicit task instructions. *Journal of Personal Social Psychology*, 71:464-478. 10.1037/0022-3514.71.3.464
- Chiesa, A., Serretti, A., y Jakobsen, J. C. (2013). Mindfulness: top-down or bottom-up emotion regulation strategy? *Clinical Psychology Review*, 33(1), 82-96.
- Davou, B. (2002). Unconscious processes influencing learning. *Psychodynamic Practice*, 8(3), 277-294. 10.1080/1353333021000019024
- De Smedt, B. y Grabner, R.H. (2016). Potential applications of cognitive neuroscience to mathematics education. *ZDM*, 48(3), 249-253.
- Debue, N. y Leemput, C. (2014). What does german load mean? An empirical contribution to the

- cognitive load theory. *Frontier in Psychology*, 5, 1099.
- Díaz-Barriga, F. y Hernández, G. (2010). *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo. Una interpretación constructivista* (2ª ed.). McGraw-Hill Interamericana.
- Díaz-Chang, T., Arredondo, E.H. (2022) La técnica de seguimiento ocular y el estudio de modelos tácitos mediante criterios subjetivos y conductuales. *Innovaciones Educativas*, 36(24), 37-55. 10.22458/ie.v24i36.3894.
- Dubinsky, E., Weller, K., Mc Donald, M. y Brown, A. (2005). Some historical issues and paradoxes regarding the concept of infinity: An APOS-based analysis. *Educational studies in Mathematics*, 58, 335-359.
- Eisenberger, N.I., Lieberman, M.D. y Williams, K.D. (2003). Does rejection hurt? An fMRI study of social exclusion. *Science*, 302(5643), 290-292.
- Duchowski, A. (2007). Eye movement analysis. In *Eye Tracking Methodology* (137-153), Springer.
- Edwards, L.D. (2009). Gestures and conceptual integration in mathematical talk. *Educational Studies in Mathematics*, 70(2), 127-141.
- Evans, J. (2008). Dual-process accounts of reasoning, judgment, and social cognition. *JSBT. Annual Review of Psychology*, 59, 255-278. 10.1146/annurev.psych.59.103006.093629
- Finfgeld, D. (2018). *A guide to qualitative meta-synthesis*. Taylor & Francis Inc.
- Fischbein, E. (2001). Tacit models and infinity. *Educational studies in Mathematics*, 48, 309-329. <https://www.jstor.org/stable/3483030>
- Fukuta, J. y Yamashita, J. (2021). The complex relationship between conscious/unconscious learning and conscious/unconscious knowledge: The mediating effects of salience in form-meaning connections. *Second Language Research*. 10.1177/02676583211044950
- Füstös, J., Gramann, K., Herbert, B.M., y Pollatos, O. (2012). On the embodiment of emotion regulation: interoceptive awareness facilitates reappraisal. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 8(8), 911-917.
- Grabner, R.H., Ansari, D., De Smedt, B. et al. (2010). Glossary of technical terms in cognitive neuroscience. *ZDM Mathematics Education* 42,

- 661–663. 10.1007/s11858-010-0277-2
- Henson, R. (2006). Forward inference using functional neuroimaging: Dissociations versus associations. *Trends in cognitive sciences*, 10(2), 64-69.
- Hernández, O. (2012). *Estadística Elemental para Ciencias Sociales*. (3ª ed.). Editorial Universidad de Costa Rica.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed-). McGraw-Hill.
- Jonides, J., Nee, D.E., y Berman, M.G. (2006). What has functional neuroimaging told us about the mind? So many examples, so little space. *Cortex*, 42(3), 414-417.
- Jung, C.G. (2021). *Obra completa de Carl Gustav Jung. Volumen 6. Tipos psicológicos*. Editorial Trotta.
- Just, M.A. y Carpenter, P.A. (1980). A theory of reading: From eye fixations to comprehension. *Psychological Review*, 87(4), 329–354.
- Kandel, E.R. (2007). *In search of memory: The emergence of a new science of mind*. WW Norton & Company.
- König, P., Ehinger, B.V., Gameiro, R.R., Kaspar, K., Kietzmann, T.C., Ossandón, J.P., Onat, S. y Wilming, N. (2016). Eye movements as a window to cognitive processes. *Journal of Eye Movement Research*, 9(5), 1-16. DOI: 10.16910/jemr.9.5.3
- Krippendorff, K. (1980). *Content analysis: An introduction to its methodology*. SAGE.
- Lakoff, G. y Núñez, R. (2000). *Where Mathematics comes from*. Basic Books.
- Leikin, R., Waisman, I. y Leikin, M. (2016). Does solving insight-based problems differ from solving learning-based problems? Some evidence from an ERP study. *ZDM- The International Journal on Mathematics Education*, 48(3).
- Lundstrom, B.N., Petersson, K.M., Andersson, J., Johansson, M., Fransson, P., y Ingvar, M. (2003). Isolating the retrieval of imagined pictures during episodic memory: activation of the left precuneus and left prefrontal cortex. *Neuroimage*, 20(4), 1934-1943.
- Maturana, H.R., y Varela, F.J. (1992). *The tree of knowledge: The biological roots of human understanding*. Shambhala.
- Merkley, R., Shimi, A. y Scerif, G. (2016). Electrophysiological markers of

- newly acquired symbolic numerical representations: the role of magnitude and ordinal information. *ZDM-The International Journal on Mathematics Education*, 48, 3.
- Mondéjar, J., Rodríguez, A., & Fierro, B. (2023). El paradigma de apoyos al aprendizaje desde la neurodidáctica: una necesidad en la formación universitaria. *Entretextos*, 17(33), 90-108.
doi:10.5281/zenodo.8218195
- Nemirovsky, R. y Borba, M. (2003). Perceptuo-motor activity and imagination in mathematics learning. In N. Pateman, B. Dougherty, y J. Zilliox (Eds.), *Proceedings of the 27th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education*, 1, 103–135. Manoa.
- Niedenthal, P.M., Barsalou, L.W., Winkielman, P., Krauth-Gruber, S., y Ric, F. (2005). Embodiment in attitudes, social perception, and emotion. *Personality and Social Psychology Review*, 9(3), 184–211.
- Noblit, H. y Hare, J. (1988). *Metha-ethnography: synthesizing qualitative studies*. Sage Publications.
- Parra-Bolaños, N. (2015). Impacto de las técnicas de neuroimagen en las ciencias sociales. *Revista Chilena de Neuropsicología*, 10(1), 31-37.
- Polanyi, M. (1958). *Personal Knowledge: Towards a Post-Critical Philosophy*. University of Chicago Press.
- Poldrack, R.A. (2006). Can cognitive processes be inferred from neuroimaging data? *Trends in cognitive sciences*, 10(2), 59-63.
- Poole A. y Ball, L.J. (2006). Eye Tracking in HCI and Usability Research. *Encyclopedia of Human-Computer interaction*, 211-219.
- Radford, L. (2008). Iconicity and contraction: a semiotic investigation of forms of algebraic generalizations of patterns in different contexts. *ZDM-The International Journal on Mathematics Education*, 40(1), 83-96.
- Radford, L. (2017). On inferentialism. *Mathematics Education Research Journal*, 29(4), 493-508.
- Radford, L., Arzarello, F., Edwards, L. y Sabena, C. (2017). The multimodal material mind: Embodiment in mathematics education. En J. Cai (Ed.), *First compendium for research in mathematics education*, 700-721. Publisher.
- Radford, L., y D'Amore, B. (2006). Semiotics, culture, and mathematical

- thinking. *Revista latinoamericana de investigación en matemática educativa*.
- Radford, L., Demers y S. Miranda, I. (2009). *Processus d'abstraction en mathématiques*. Ottawa, Canada: Centre franco-ontarien de ressources pédagogiques, Imprimeur de la Reine pour l'Ontario.
- Recarte, M.Á., Pérez, E., Conchillo, Á., y Nunes, L.M. (2008). Mental workload and visual impairment: Differences between pupil, blink, and subjective rating. *The Spanish journal of psychology*, 11(2), 374-385.
- Rodríguez, A., Navarro, A., Carrillo, M.J. e Isla, L. (2023). University coaching experience and academic performance. *Education Sciences*, 13 (248), 3, 248. <https://doi.org/10.3390/educsci13030248>
- Rodríguez, A., Martínez, R., Gallardo, C.P. y Vazquez, D. (2023). Transformar la evaluación para empoderar al estudiante universitario en su aprendizaje y la enseñanza. *Revista Iberoamericana de Investigación en Educación*. 7, 1-15. <https://doi.org/10.58663/riied.vi7.94>
- Rodríguez, A. (2024). Pluralidad y potencial de la investigación educativa universitaria. *Cuadernos de Pedagogía*. 555, sección artículos, 1-6. <https://www.cuadernosdepedagogia.com/content/Inicio.aspx?params=H4sIAAAAAAAAAEAMssdiwoKMovS02xNTIwMjEwNzQyNDIwBQBIRn1kFwAAA==WKE>
- Rosch, E., Thompson, E., y Varela, F.J. (1991). *The embodied mind: cognitive science and human experience*. Cambridge: MIT Press.
- Siegel, D J. (2010). *The mindful therapist: a clinician's guide to mindsight and neural integration*. New York: W.W. Norton y Co.
- Siegel, D.J. (2012). *Pocket guide to interpersonal neurobiology: an integrative handbook of the mind*. Norton & Company.
- Schillinger, L., De Smedt, B. y Grabner, R.H. (2016). When errors count: an EEG study on numerical error monitoring under performance pressure. *ZDM- The International Journal on Mathematics Education*, 48, 351–363.
- Schindler, M., y Lilienthal, A.J. (2020). Students' mathematical creativity process: Insights from eye-tracking

- stimulated recall interview. 261–292. 10.1007/s10648-019-09465-5
- International *Journal of Science and Mathematics Education*, 18, 1565–1586.
- Soluch, P. y Tarnowski, A. (2013). O metodologii badan eyetrackingowych. *Lingwistyka Stosowana*, 7, 115-134.
- Steinman, R.M. (2004) Gaze control under natural conditions. En L.M. Chalupa y J.S. Werner (Eds.) *The Visual Neurosciences* (1339-1356), MIT Press.
- Strohmaier, A.R., MacKay, MacKay, K.J., Obersteiner, A. y Reiss, K.M. (2020). Eye-tracking methodology in mathematics education research: A systematic literature review. *Educational Studies in Mathematics*, 104, 147-200.
- Susac, A.; Bubic, A.; Kaponja, J.; Planinic, M. y Palmovic, M. (2014). Eye movements reveal students' strategies in simple equation solving. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 12 (3), 555-577.
- Sweller, J., van Merriënboer, J.J.G., Paas, F. (2019). Cognitive Architecture and Instructional Design: 20 Years Later. *Educational Psychology Review*, 31, 261–292.
- Swidan, O. y Arzarello, F. (2022). Adaptive instruction in an inquiry-based mathematics and digitally rich classroom – multiple perspectives. *Journal of Mathematical Behavior*, 66, 100962.
- Tall, D. (2004). Building theories: The three worlds of mathematics. *For the learning of Mathematics*, 24, 1, 29-32.
- Thompson, E., y Varela, F.J. (2001). Radical embodiment: neural dynamics and consciousness. *Trends in Cognitive Sciences*, 5(10), 418–425.
- Valdés-Sosa, P.A., Galan-Garcia, L., Bosch-Bayard, J., Bringas-Vega, M.L., Aubert-Vazquez, E., Rodríguez-Gil, I. y Valdes-Sosa, M.J. (2021). The Cuban Human Brain Mapping Project, a young and middle age population-based EEG, MRI, and cognition dataset. *Scientific Data*, 8(1), 1-12.
- Wager, T.D., Jonides, J. y Reading, S. (2004). Neuroimaging studies of shifting attention: a meta-analysis, *Neuroimage*, 22(4), 1679-1693.
- Was, C., Sansosti, F. y Morris, B. (Eds.). (2017). *Eye-Tracking Technology*

Applications in Educational Research.

IGI Global.

Weinberger, A.B., y Green, A.E. (2022).

Dynamic development of intuitions and explicit knowledge during implicit learning. *Cognition*, 222, 105008.

Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9(4),625-636.