

Entre memoria de trabajo y pandemia: el aprendizaje de los números enteros como reto para una educación matemática inclusiva¹

Jorge enrique Florez -Santacruz²

Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Autor de correspondencia: jeflorezs@udistrital.edu.co

Para citar este artículo / Reference this article / Para citar este artigo

Florez-Santacruz, J. (2025). Entre memoria de trabajo y pandemia: el aprendizaje de los números enteros como reto para una educación matemática inclusiva. *Revista Electrónica en Educación y Pedagogía*, 9(17), 130-158. doi: <https://doi.org/10.15658/rev.electron.educ.pedagog25.11091705>

130

Recibido: 16 de abril de 2025 | Revisado: 20 de mayo de 2025 | Aceptado: 11 de junio de 2025

Resumen: El aprendizaje de los números enteros continúa siendo un desafío determinante en la educación matemática, especialmente tras los efectos que la pandemia de COVID-19 ha provocado en la memoria de trabajo. Este artículo, derivado de un estudio doctoral en desarrollo, examina cómo la afectación de esta función ejecutiva incide en los procesos de enseñanza y aprendizaje de los números enteros en la educación secundaria. Desde un enfoque teórico y abductivo, se establece una revisión crítica sobre

¹ Artículo derivado del proyecto de investigación “Memoria de trabajo y aprendizaje de los números enteros en el contexto educativo de la pospandemia” avalado y financiado por “Secretaría de educación Bogotá”.

² Magíster en Educación, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Estudiante de doctorado en Educación, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0030-3048>. E-mail: jeflorezs@udistrital.edu.co. Bogotá, Colombia.



las interacciones entre cognición, neuroeducación y pensamiento matemático en el contexto pospandémico. La propuesta metodológica se fundamenta en la enseñanza como ciencia del diseño y en el enfoque de Investigación-Acción Participativa en Ciencia del Diseño (PADR), lo que permite articular estrategias didácticas centradas en la inclusión y la adaptación a las necesidades cognitivas de las y los estudiantes. Además, se incorporan herramientas como la electroencefalografía (EEG) para el análisis neurocognitivo y el software NVivo para el tratamiento cualitativo de datos. Los aportes de este trabajo son de naturaleza teórica, metodológica y didáctica, con implicaciones directas en la mejora de las prácticas de aula y el fortalecimiento de políticas educativas acordes a los desafíos del entorno post-COVID-19.

Palabras claves: Aprendizaje (Tesauros); COVID-19; Electroencefalografía, memoria de trabajo, números enteros (Palabras clave sugeridas por el autor).

Between working memory and pandemic: learning whole numbers as a challenge for inclusive mathematics education

131

Abstract: Learning whole numbers continues to be a major challenge in mathematics education, especially in the wake of the COVID-19 pandemic's effects on working memory. This article, derived from an ongoing doctoral study, examines how the impairment of this executive function affects the teaching and learning processes of whole numbers in secondary education. From a theoretical and abductive approach, a critical review is established on the interactions between cognition, neuroeducation and mathematical thinking in the post-pandemic context. The methodological proposal is based on teaching as a science of design and on the Participatory Action Research in Design Science (PADR) approach, which allows the articulation of didactic strategies focused on inclusion and adaptation to the cognitive needs of students. In addition, tools such as electroencephalography (EEG) for neurocognitive analysis and NVivo software for qualitative



data processing are incorporated. The contributions of this work are of a theoretical, methodological and didactic nature, with direct implications in the improvement of classroom practices and the strengthening of educational policies according to the challenges of the post-COVID-19 environment.

Keywords: Learning (Thesaurus); COVID-19; Electroencephalography, working memory, integers (Keywords suggested by the author).

Entre memória de trabalho e pandemia: a aprendizagem dos números inteiros como desafio para uma educação matemática inclusiva

Resumo: A aprendizagem dos números inteiros continua sendo um desafio crucial na educação matemática, especialmente diante dos efeitos da pandemia de COVID-19 sobre a memória de trabalho. Este artigo, derivado de um estudo doutoral em desenvolvimento, examina como a alteração dessa função executiva impacta os processos de ensino e aprendizagem dos números inteiros no ensino secundário. A partir de um enfoque teórico e abdutivo, realiza-se uma revisão crítica das interações entre cognição, neuroeducação e pensamento matemático no contexto pós-pandêmico. A proposta metodológica fundamenta-se na docência como ciência do design e no enfoque de Pesquisa-Ação Participativa em Ciência do Design (PADR), permitindo articular estratégias didáticas centradas na inclusão e na adaptação às necessidades cognitivas dos estudantes. Além disso, incorporam-se ferramentas como eletroencefalografia (EEG) para análise neurocognitiva e o software NVivo para tratamento qualitativo dos dados. As contribuições deste trabalho são de natureza teórica, metodológica e didática, com implicações diretas para a melhoria das práticas de sala de aula e para o fortalecimento de políticas educacionais alinhadas aos desafios do contexto pós-COVID-19.

Palavras-chave: aprendizagem (Tesauros); COVID-19; eletroencefalografia, memória de trabalho, números inteiros (palavras-chave sugeridas pelo autor).



Introducción

En este trabajo se utiliza el término afectaciones neurocognitivas pospandémicas para describir las dificultades observadas en estudiantes que, tras haber atravesado el contexto de la pandemia por COVID-19, manifiestan alteraciones sostenidas en funciones ejecutivas como la memoria de trabajo, la atención sostenida y la flexibilidad cognitiva, incluso en ausencia de diagnósticos clínicos previos.

El propósito de este artículo es socializar una fase del estudio doctoral en curso sobre los vínculos entre cognición, memoria de trabajo y aprendizaje de los números enteros en secundaria. La investigación se enmarca en una perspectiva teórico-abductiva, nutrida por los aportes de la neuroeducación y la enseñanza como ciencia del diseño (Laurillard, 2012, 2024). El trabajo busca responder la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo se manifiesta la memoria de trabajo en el aprendizaje de los números enteros en estudiantes de educación básica secundaria colombiana, en el contexto post-COVID-19, y qué estrategias pedagógicas contribuyen a disminuir las afectaciones negativas de este contexto?

133

A partir de una revisión teórica crítica, se exploran estudios que abordan las funciones ejecutivas involucradas en tareas matemáticas y su deterioro en contextos de alta carga emocional o estrés prolongado, como el provocado por la pandemia. Por tanto, se argumenta que la memoria de trabajo no solo interviene en la retención temporal de información, sino que también media en la selección, inhibición y manipulación de representaciones numéricas.

Desde esta perspectiva, se plantea la necesidad de estrategias de enseñanza que consideren los desafíos cognitivos actuales. Para ello, se discuten aportes teóricos y metodológicos que articulan el uso de registros semióticos múltiples (Duval, 2006, 2017) y ciclos de retroalimentación iterativa en el diseño instruccional (Laurillard, 2012). El presente estudio se enmarca en una transformación educativa más amplia, caracterizada por la necesidad



de responder a una realidad pospandémica compleja y en constante cambio (Plasencia, 2021).

Así, el estudio contribuye a la reflexión sobre cómo diseñar experiencias de aprendizaje que reconozcan las nuevas condiciones cognitivas de los estudiantes, atendiendo tanto a la diversidad neurocognitiva como al impacto pospandémico. Además, se proyecta como una propuesta con potencial para orientar prácticas pedagógicas inclusivas y decisiones de política educativa que respondan a los desafíos que hoy enfrenta la enseñanza de las matemáticas.

A pesar de los esfuerzos curriculares por abordar el conjunto de los números enteros desde edades tempranas, persisten dificultades conceptuales, operativas y representacionales que limitan su comprensión. Estas dificultades se han agudizado en el contexto pospandémico, donde las afectaciones a la memoria de trabajo inciden directamente en la capacidad de los estudiantes para sostener, manipular y transformar información matemática en tiempo real. El problema central que aborda este artículo es cómo estas secuelas neurocognitivas afectan el aprendizaje de los números enteros y qué alternativas pedagógicas pueden implementarse para contrarrestarlas.

El presente estudio parte de un problema concreto: las dificultades en el aprendizaje de los números enteros, acentuadas por los efectos neurocognitivos derivados del contexto pospandémico. Desde esta problemática se construye un marco teórico que integra los aportes de la neuroeducación, la semiótica matemática y la didáctica del número, articulando estos elementos con una metodología abductiva basada en el diseño participativo (PADR) y en el modelo de enseñanza conversacional de Laurillard. Esta integración teórico-metodológica permite generar una propuesta coherente con los objetivos investigativos y con la realidad de los estudiantes. La población estudiada está compuesta por estudiantes de básica secundaria entre los 11 y 14 años, con trayectorias escolares marcadas por dificultades cognitivas que podrían estar asociadas a secuelas del COVID-19, incluyendo estudiantes



con diagnóstico limítrofe, que requieren estrategias diferenciadas y seguimiento especializado.

Marco teórico

La enseñanza y el aprendizaje de los números enteros se ven profundamente influenciados por procesos cognitivos como la memoria de trabajo.

Memoria de trabajo y aprendizaje matemático

La memoria de trabajo desempeña un papel fundamental en el aprendizaje de las matemáticas escolares, ya que interviene en procesos clave como la resolución de problemas, el razonamiento lógico, la automatización de cálculos y la comprensión de operaciones abstractas. Su capacidad para sostener y manipular información temporal resulta esencial en el desarrollo de competencias numéricas y en la construcción de estrategias cognitivas eficaces (Swanson y Jerman, 2007; Gathercole y Alloway, 2008; Geary, 2011). Estas funciones permiten mantener activa la representación mental de los problemas matemáticos mientras se aplican reglas, algoritmos o inferencias, facilitando así la transición desde procedimientos manipulativos hacia formas más abstractas de pensamiento matemático.

Desde una perspectiva neuropsicológica, múltiples estudios han señalado que el rendimiento en tareas matemáticas depende de la integridad de sistemas ejecutivos que regulan la atención, el control inhibitorio, la flexibilidad cognitiva y la actualización de información (Baddeley, 2003; Bull y Lee, 2014; Cowan, 2014). Estas funciones, estrechamente vinculadas a la memoria de trabajo, se han visto comprometidas en algunos estudiantes tras la pandemia del COVID-19, tal como lo explicita la revisión sistemática de Vasileva et al. (2022). Este panorama ha impulsado reflexiones en torno a la necesidad de rediseñar los entornos de aprendizaje matemático para reducir la carga cognitiva y atender nuevos perfiles estudiantiles (Zhao y Liu, 2023).



En particular, la enseñanza de los números enteros plantea exigencias cognitivas que requieren del control simultáneo de signos, magnitudes y operaciones, lo cual puede sobrecargar la memoria de trabajo en estudiantes con debilidades atencionales o dificultades ejecutivas (Sweller et al., 2019; Passolunghi y Siegel, 2008). Comprender cómo se manifiestan estos procesos permite diseñar secuencias didácticas más accesibles, reduciendo la carga cognitiva y potenciando la comprensión mediante registros de representación semiótica (Duval, 2017), apoyos visuales y estrategias de manipulación simbólica.

Enseñanza-aprendizaje de los números enteros

En el campo de la educación matemática, durante mucho tiempo los números enteros —y, principalmente, los negativos— han representado un reto tanto para profesores como para estudiantes, ya que, por su naturaleza abstracta, no son observables a simple vista ni en gran parte de las actividades cotidianas. Al respecto, Schubring (2005) nos dice que, históricamente, los números negativos ocasionaron incomodidad incluso entre matemáticos y filósofos, porque aceptar su existencia involucraba cambiar la forma de comprender el mundo. Hoy por hoy, en la escuela, este conflicto se sigue presentando ampliamente.

Así mismo, Sierpinska (1994) explica que enseñar los números negativos no se trata solo de explicar reglas, sino de confrontar los constructos mentales que las y los estudiantes ya tienen sobre los números naturales, lo que ocasiona confusión y resistencia al cambio. Por ello es muy importante replantear las estrategias didácticas con las que se abordan, teniendo en cuenta tanto el contexto histórico como la forma en que las y los estudiantes piensan y aprenden.

Las investigaciones de Vlassis (2004) evidencian que la comprensión de los números enteros está mediada por conflictos semióticos y conceptuales. Uno de los más comunes es la sobreposición entre el signo negativo como atributo del número y como operador de resta, lo que genera ambigüedades en la interpretación de expresiones como “ $-3 - (-5)$ ”. Igualmente, se ha do-



cumentado que el uso de analogías didácticas mal estructuradas, como la de subir y bajar en un ascensor, puede reforzar imágenes erróneas o limitadas del concepto de número negativo (Sfard, 1991).

De la misma manera, Gallardo y Hernández (2010) han identificado dificultades en la enseñanza de los números negativos, en el entendido que muchos estudiantes presentan conflictos en la interpretación de la resta y las reglas de los signos. De otra parte, métodos como el uso de la recta numérica y las situaciones contextualizadas a entornos particulares han mostrado ser efectivos en el aprendizaje de este sistema numérico.

Frente a estos retos, los modelos concretos y las metáforas cognitivas (como el termómetro, las deudas o los juegos de temperaturas) pueden contribuir a estabilizar los significados y reducir la carga cognitiva si se implementan con coherencia y continuidad pedagógica (Lakoff y Núñez, 1997). Estas representaciones favorecen la transición entre distintos registros semióticos y promueven una comprensión más flexible y significativa del conjunto de los enteros.

137

Impacto del COVID-19 en procesos cognitivos y educativos

Diversos estudios han documentado que la pandemia de COVID-19 ha afectado el desarrollo cognitivo y emocional de niños y adolescentes, incluyendo funciones ejecutivas como la memoria de trabajo, la atención sostenida y la flexibilidad mental (Fernández-Castilla et al., 2022). Las afectaciones no se restringen a individuos con infección confirmada, sino que también se observan como consecuencia del aislamiento social, la disrupción educativa y el estrés prolongado experimentado durante el confinamiento. Estos factores, al actuar de manera conjunta, han generado nuevas condiciones de vulnerabilidad cognitiva en el entorno escolar postpandemia. En este contexto, la enseñanza de contenidos abstractos como los números enteros representa un desafío mayor, especialmente para estudiantes que han experimentado alteraciones en funciones ejecutivas como la atención, la inhibición y la memoria de trabajo.



De otra parte, la pandemia y postpandemia han suscitado una considerable disrupción en la salud psicoemocional y cognitiva de la población afectada, tal como lo evidencia la Alcaldía Mayor de Bogotá et al. (2024a, 2024b, 2024c) en un estudio de los efectos de la pandemia en la salud mental en Bogotá D.C realizado en el año 2023 (tomos I, II, III). Asimismo, un importante y sostenido aumento de síntomas persistentes como la ansiedad, la depresión, el estrés y la rumiación, que según las investigaciones de Li et al. (2022), afectan los procesos de atención, regulación emocional y aprendizaje con implicaciones en funciones ejecutivas esenciales como la memoria de trabajo, la planificación y la inhibición, con su correspondiente impacto adverso en el rendimiento académico.

Del mismo modo, unidas a estas perturbaciones se vinculan fenómenos persistentes como la “niebla mental” (*brain fog*), caracterizada por confusión, ralentización cognitiva y dificultad prolongada para concentración y la toma de decisiones, incluso durante meses o años después de la recuperación de la infección (Durán Fernández et al., 2023; Devlin, 2024).

Análogamente, esta adversidad sanitaria incrementó la sobrecarga cognitiva (Crivelli et al., 2022), resultante de las nuevas dinámicas de enseñanza combinadas entre presencialidad y virtualidad que comprometen a las y los estudiantes en el desarrollo de sus aprendizajes, generándoles la necesidad de procesar múltiples estímulos simultáneamente (Sweller et al., 1998, 2019). En consecuencia, se afecta la regulación atencional de los educandos, disminuyendo su capacidad de concentración sostenida y control inhibitorio, habilidades clave para el aprendizaje matemático (Diamond, 2013; Diamond y Wright, 2014; Diamond y Ling, 2016, 2020).

Dado lo extenso del referente teórico, se destacan tres pilares esenciales: la relación entre memoria de trabajo y rendimiento matemático, la importancia de las representaciones semióticas en la comprensión de los números enteros, y el rol de las emociones y el contexto social en los procesos de aprendizaje. Estos elementos orientan el diseño didáctico y fundamentan las decisiones metodológicas.



Metodología

Para garantizar el cumplimiento de los objetivos específicos, se organiza el andamiaje teórico-práctico que orienta este estudio. Se adopta un enfoque cualitativo, participativo, centrado en el diseño y articulado mediante marcos metodológicos complementarios: Investigación participativa en el diseño de acciones (PADR), desarrollada por Bilandzic y Venable (2011); la concepción de la pedagogía como una ciencia del diseño, formulada por Laurillard (2012, 2024); y la EEG como técnica de registro de la actividad eléctrica cerebral usada para investigar cómo el cerebro procesa y retiene información durante el aprendizaje.

En este sentido, la metodología PADR interviene como puente entre teoría y práctica, posibilitando la resolución de problemas, mediante procesos colaborativos e iterativos, permitiendo involucrar a profesores, estudiantes e investigadores en el diseño y evaluación de una trayectoria hipotética de aprendizaje (THA). La pedagogía como ciencia del diseño construye el contexto pedagógico de desarrollo, mientras que la EEG actúa como recurso técnico para la observación y toma de información.

El enfoque abductivo resulta pertinente dado que permite partir de fenómenos observados en el aula para construir explicaciones posibles, las cuales son refinadas mediante el diseño y evaluación de intervenciones didácticas. Este tipo de razonamiento se ajusta al contexto de incertidumbre pospandémico, y permite explorar cómo las afectaciones a la memoria de trabajo pueden ser abordadas desde propuestas educativas innovadoras.

Se utilizarán registros de sesiones didácticas, análisis cualitativo con software NVivo, y señales EEG para identificar correlatos neurocognitivos del proceso de aprendizaje. El análisis de datos combinará codificación temática con interpretación de patrones atacionales, permitiendo triangular información entre el comportamiento observable y los indicadores neurofisiológicos. Este interés por integrar herramientas tecnológicas en el diseño pedagógico encuentra respaldo en experiencias recientes con



entornos mediados por TIC que han demostrado mejoras significativas en el aprendizaje de conceptos matemáticos, como el caso del componente numérico variacional (Ocampo-Hincapié et al., 2022).

Conceptualización del artefacto como construcción sociotécnica

Esta perspectiva se sustenta en la definición de Simon (1995), quien plantea que una THA se compone de objetivos de aprendizaje, actividades diseñadas y una anticipación del razonamiento estudiantil. A su vez, Gravemeijer y Cobb (2006) subrayan que la THA debe desarrollarse como parte de un proceso de diseño iterativo, en el que las hipótesis sobre el aprendizaje emergen del diálogo entre la teoría educativa, la práctica pedagógica y las condiciones institucionales. En esta misma línea, Clements y Sarama (2004, 2009, 2022) conciben las trayectorias hipotéticas de aprendizaje como un conjunto articulado de tres elementos clave: un objetivo de aprendizaje claro, una secuencia de niveles de pensamiento que representan cómo los estudiantes progresan en su comprensión, y un conjunto de actividades instruccionales diseñadas para apoyar dicho progreso.

140

Estas trayectorias, basadas en evidencia empírica y teorías del desarrollo cognitivo, ofrecen un marco flexible para guiar la enseñanza diferenciada, respondiendo a la diversidad de ritmos y estilos de aprendizaje presentes en el aula. Desde esta visión, el artefacto THA no se limita a ser una secuencia instruccional, sino que encarna una mediación entre el conocimiento matemático, los actores educativos y las condiciones socioculturales. Se alinea con la noción de artefacto sociotécnico propuesta por Orlikowski (2007) y Kaptelinin y Nardi (2006), en la cual el diseño no solo responde a funciones técnicas, sino que incorpora dimensiones sociales, culturales y cognitivas.

Esta comprensión se articula con el enfoque de Laurillard, quien entiende la enseñanza como una actividad de diseño orientada al aprendizaje situado y al ajuste continuo de la experiencia pedagógica. Asimismo, dialoga con los principios de PADR, que promueven el diseño participativo, la iteración crítica y el empoderamiento de los actores involucrados. En este marco, la THA



es un producto del trabajo colaborativo y reflexivo que se valida en la acción y se transforma a partir de la experiencia.

En definitiva, la trayectoria hipotética de aprendizaje en esta investigación se concibe como un artefacto vivo, construido colectivamente, situado culturalmente y orientado a responder a los desafíos cognitivos específicos que enfrentan los estudiantes de secundaria en el aprendizaje de los números enteros en un contexto post-pandémico.

Etapas del ciclo metodológico de Laurillard (2012): Enseñanza como ciencia del diseño

Su enfoque reconoce que enseñar no consiste únicamente en transmitir contenidos, sino en crear puentes entre el conocimiento académico y el razonamiento del aprendiz.

El ciclo metodológico propuesto por Laurillard se articula en siete etapas, que permiten una planificación, implementación y evaluación coherente de la práctica docente. Estas son:

1. Identificación del problema de aprendizaje: Consiste en diagnosticar el conocimiento previo del estudiante y establecer la brecha entre su estado actual y los objetivos de aprendizaje deseados.
2. Modelado del conocimiento disciplinar: Implica representar el contenido de forma clara, mediante estructuras conceptuales, metáforas o simulaciones, para facilitar su comprensión.
3. Diseño de actividades de aprendizaje: Se planifican tareas, recursos, formas de interacción y herramientas tecnológicas que activen procesos como la reflexión, la aplicación y la argumentación.
4. Implementación en contextos reales: Las actividades diseñadas se aplican en el aula, permitiendo observar cómo interactúan los estudiantes con los contenidos y entre sí.
5. Recopilación de evidencias del aprendizaje: Se recogen productos,



registros, observaciones y evaluaciones que permiten conocer cómo aprenden los estudiantes y qué obstáculos enfrentan.

6. Análisis de resultados y realimentación: A partir de las evidencias, se identifican patrones, logros y dificultades, generando retroalimentación para el docente y los estudiantes.
7. Rediseño y reimplementación: Finalmente, se ajusta el diseño pedagógico con base en los resultados, alimentando un nuevo ciclo de mejora continua.

Este ciclo refuerza la idea de que enseñar es diseñar, evaluar y rediseñar. En sintonía con PADR, esta lógica iterativa favorece la transformación situada de la práctica pedagógica y responde a la complejidad cognitiva del aprendizaje de los números enteros en contextos pospandémicos.

Ambos marcos convergen para orientar esta investigación desde una lógica dialógica, iterativa y situada, que pone en el centro tanto la transformación pedagógica como la participación de los actores educativos.

142

Fases de la investigación según PADR

Siguiendo la estructura metodológica propuesta por Bilandzic y Venable (2011), la investigación se organiza en cinco fases principales que integran principios de investigación-acción, diseño participativo y evaluación formativa. Estas fases permiten desarrollar, ajustar y validar el artefacto pedagógico en diálogo con los actores involucrados y el contexto real de enseñanza:

1) Diagnóstico y formulación del problema

En esta primera fase se identifican de manera participativa los principales desafíos relacionados con el aprendizaje de los números enteros y el impacto post-COVID-19 en la memoria de trabajo. Se recolecta información preliminar mediante entrevistas, observaciones en el aula y revisión documental. Aunque no se aplicó un pretest formal en esta etapa inicial, se con-



templa su uso en fases posteriores del proceso para contrastar trayectorias de aprendizaje antes y después de las intervenciones.

2) Planificación de acciones

Con base en el diagnóstico, se diseñan colectivamente las estrategias de intervención didáctica, considerando los aportes de docentes, estudiantes e investigadores. Se establecen objetivos pedagógicos, secuencias didácticas preliminares y recursos tecnológicos a utilizar.

3) Toma de acción: Diseño e implementación

En esta fase, se elaboran los prototipos de trayectoria hipotética de aprendizaje (THA), integrando principios de diseño pedagógico, metáforas cognitivas y registros semióticos. La implementación se realiza en contextos reales de aula bajo una lógica de experimentación controlada, recogiendo datos sobre la experiencia de los participantes.

4) Evaluación de impacto

143

Se realiza una evaluación participativa de la efectividad de las estrategias implementadas. Se aplican instrumentos cualitativos (entrevistas, observaciones) y neurocognitivos (EEG, cuando sea posible), enfocándose en momentos de alta carga cognitiva o bloqueos conceptuales.

5) Reflexión y aprendizaje

A partir de la triangulación de los datos, se discuten colectivamente los resultados, se identifican aprendizajes clave y se proponen ajustes al diseño didáctico. Esta fase cierra el primer ciclo e inicia la posibilidad de rediseño, profundización o replicación en otros contextos.

Estas fases aseguran que el proceso investigativo no solo produzca conocimiento académico, sino también transformaciones pedagógicas tangibles, adaptadas a la realidad de los estudiantes y fundamentadas en evidencia contextualizada.



Síntesis metodológica: articulación PADR + Laurillard

La convergencia entre PADR y Laurillard ofrece una arquitectura metodológica robusta, integradora y sensible al contexto. Ambas propuestas coinciden en entender la enseñanza como una práctica de diseño socialmente situada, iterativa, participativa y orientada al cambio. La siguiente tabla sintetiza los ejes de articulación entre ambos enfoques:

Tabla 1

Articulación conceptual del modelo PADR con la enseñanza como ciencia del diseño propuesta por Laurillard (2012)

PADR	Laurillard
Participación	Enseñanza como actividad dialógica
Diseño colaborativo	Construcción iterativa de tareas
Acción-reflexión	Evaluación y retroalimentación continua
Contexto situado	Diseño sensible a condiciones cognitivas
Validación por la práctica	Rediseño basado en evidencias

144

Esta articulación metodológica permite abordar el objeto de estudio (la manifestación de la memoria de trabajo en el aprendizaje de los números enteros en estudiantes con secuelas cognitivas post-COVID) desde una mirada compleja, crítica y transformadora. Al combinar diseño participativo y pedagogía basada en evidencia, se amplían las posibilidades de generar conocimiento relevante, prácticas educativas más justas e inclusivas, y respuestas didácticas alineadas con las condiciones cognitivas reales de los y las estudiantes. De otra parte, desde el punto de vista ético, la investigación contempla principios de cuidado, consentimiento informado, confidencialidad y acompañamiento personalizado a estudiantes con condiciones particulares. Se garantiza que ninguna acción educativa derive en prácticas discriminatorias o estigmatizantes.



Discusión

La indagación teórica realizada en este trabajo sugiere una posible articulación entre la memoria de trabajo, el aprendizaje de los números enteros y las afectaciones neurocognitivas observadas en el contexto educativo post-COVID-19. Los desafíos que enfrentan los estudiantes de educación media en el contexto latinoamericano, especialmente tras la pandemia, no solo comprometen el rendimiento académico, sino también el desarrollo de habilidades cognitivas fundamentales para el aprendizaje matemático (Salazar- Domínguez y Abancin-Ospina, 2022). Si bien la mayoría de los estudios revisados se centran en poblaciones con dificultades específicas de aprendizaje o en adolescentes con antecedentes clínicos, investigaciones recientes han comenzado a documentar alteraciones en funciones ejecutivas como la atención sostenida, la memoria de trabajo y la flexibilidad cognitiva en niños expuestos a condiciones prolongadas de estrés, aislamiento o inestabilidad educativa.

Estas funciones son reconocidas como fundamentales en el aprendizaje de contenidos matemáticos abstractos, particularmente en el manejo de signos, la coordinación de representaciones y la integración simbólica requerida en el aprendizaje de los números enteros. En este sentido, más que afirmar una causalidad directa, se plantea la necesidad de profundizar en esta línea de análisis que conecta los efectos del entorno pospandémico con nuevas formas de vulnerabilidad cognitiva en el aula de matemáticas.

145

Desde esta base teórica, se propone la incorporación de herramientas neurofisiológicas como la electroencefalografía (EEG) en combinación con enfoques didácticos sustentados en los registros de representación semiótica (Duval, 2006, 2017) y las trayectorias hipotéticas de aprendizaje (Simon, 1995; Clements y Sarama, 2004). El EEG permite registrar con alta resolución temporal la actividad cerebral durante tareas cognitivas, lo cual ofrece un potencial valioso para detectar momentos de sobrecarga cognitiva, fluctuaciones atencionales o esfuerzos de codificación simbólica (Spüler et al., 2016; Ungureanu et al., 2017; Schneider et al., 2020).



Aunque estas aplicaciones no han sido implementadas ni validadas empíricamente en esta fase del estudio, constituyen un diseño teórico fundamentado que orientará futuras acciones de intervención en contextos reales de aula; además, su uso está respaldado por trabajos recientes en neuroeducación (Geake, J. 2009; Howard-Jones, P. A. 2014), que destacan su utilidad para retroalimentar en tiempo real los procesos de enseñanza-aprendizaje. Esta articulación entre evidencia neurofisiológica y modelos didácticos ofrece un marco prometedor para el diseño de estrategias pedagógicas adaptativas, sensibles a los estados cognitivos de los estudiantes y contextualizadas en escenarios de alta exigencia simbólica como el aprendizaje de los números enteros.

Reconociendo los límites actuales, también se discute la viabilidad de implementar estos dispositivos en contextos escolares reales, dada la necesidad de infraestructura tecnológica y formación docente. Sin embargo, este estudio aporta una mirada de vanguardia al entrelazar el campo de la neurociencia educativa con la enseñanza aprendizaje de los números enteros, mediante la articulación de la memoria de trabajo, la semiótica matemática y los efectos cognitivos del contexto pospandémico. A diferencia de investigaciones previas centradas únicamente en aspectos didácticos o cognitivos por separado, esta propuesta combina el uso de tecnologías como el EEG con el análisis cualitativo de trayectorias reales de aprendizaje, ofreciendo una visión multidimensional del fenómeno educativo.

En este sentido, la investigación abre una línea de trabajo emergente en la intersección entre neurociencia y educación matemática, con un enfoque ético, inclusivo y replicable. Se espera que los resultados contribuyan a diseñar estrategias pedagógicas fundamentadas científicamente, que permitan acompañar con mayor eficacia a estudiantes con afectaciones neurocognitivas derivadas de crisis como la pandemia, así como de fomentar políticas educativas sensibles a las nuevas realidades escolares.



Estructura metodológica por objetivos, fases, actividades, técnicas e instrumentos

Con el fin de ofrecer una visión clara, articulada y sistemática del diseño metodológico propuesto, a continuación, se presenta una tabla de síntesis que organiza los cuatro objetivos específicos de la investigación. Esta tabla integra las fases correspondientes, las actividades clave, así como las técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos. Para una visualización detallada de las fases, técnicas y estrategias asociadas a cada objetivo específico, véase la Tabla 3, en el Anexo A.

Resultados esperados

Tabla 2

Síntesis de resultados esperados e indicadores del proyecto

Resultado/Producto esperado	Indicador	Beneficiario
Participación en eventos nacionales e internacionales para presentar los avances parciales y finales de la investigación.	Generación de nuevo conocimiento.	Comunidad científica en educación matemática, neurociencias y ciencias cognitivas.
Tesis doctoral sustentada y aprobada.	Documento de tesis, acta de sustentación.	Comunidad académica nacional e internacional.
THA, guía o protocolo para intervención educativa.	Innovación.	Docentes de educación básica, diseñadores de programas de formación docente.
Guía de intervención neuroeducativa para fortalecer memoria de trabajo en matemáticas.	Desarrollo educativo-didáctico.	Docentes de educación básica, diseñadores de intervenciones educativas.
Instrumento diagnóstico para dificultades en números enteros (basado en procesos cognitivos).	Herramienta de evaluación educativa.	Instituciones educativas, psicopedagogos, docentes.
Aportar al desarrollo del laboratorio Carlos Vasco de la UDFJCy alalínadeinvestigación grupo GIIPLyM.	Análisis de la dinámica neuronal y evaluación de eficiencia de memoria de “Didáctica y matemáticas” del trabajo.	Laboratorio UDFJC.



Conclusiones

Este trabajo plantea, desde una perspectiva teórica y en desarrollo, que la memoria de trabajo es un componente esencial en el aprendizaje de los números enteros, y que su afectación en contextos post-pandémicos puede representar una barrera significativa para los estudiantes. Por ello, se destaca la urgencia de repensar las estrategias pedagógicas en matemáticas, integrando enfoques que reconozcan tanto la carga cognitiva de los contenidos como las nuevas condiciones neurocognitivas de los aprendices.

Como conclusión preliminar, se sostiene que el aprendizaje de los números enteros no puede desligarse de las condiciones neurocognitivas actuales de los y las estudiantes. El modelo propuesto permite no solo comprender estas dificultades, sino actuar sobre ellas desde un enfoque pedagógico encaminado científicamente, en sintonía con los principios de inclusión y equidad educativa.

148

Finalmente, al ser parte de una investigación doctoral en curso, este artículo no presenta resultados empíricos, sino que propone una construcción teórica y metodológica orientada al diseño de intervenciones didácticas fundamentadas en el uso de tecnologías como el EEG, y en modelos de enseñanza basados en registros semióticos y trayectorias de aprendizaje. El valor del manuscrito radica en ofrecer una aproximación conceptual integrada que pueda ser implementada, evaluada y replicada en fases posteriores de la investigación, especialmente en contextos educativos afectados por condiciones neurocognitivas emergentes como las asociadas a la pandemia.

Referencias

Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaría Distrital de Salud de Bogotá y Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito. (2024a). *Estudio de salud mental en Bogotá D.C., 2023 (Tomo 1) - Informe ejecutivo*. Grafoscopio.

Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaría Distrital de Salud de Bogotá y Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito. (2024b). *Estudio de salud mental en Bogotá D.C., 2023 (Tomo 2) - El estado de la salud mental*. Grafoscopio.



Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaría Distrital de Salud de Bogotá y Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito. (2024c). *Estudio de salud mental en Bogotá D.C., 2023 (Tomo 3) - Efectos de la pandemia de COVID-19 en la salud mental*. Grafoscopio.

Baddeley, A. (2003). Working memory: Looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(10), 829-839. <https://doi.org/10.1038/nrn1201>

Bilandzic, M. & Venable, J. (2011). Towards participatory action design research: Adapting action research and design science research methods for urban informatics. *Journal of Community Informatics*, 7(3). <http://hdl.handle.net/20.500.11937/49022>

Bull, R. & Lee, K. (2014). Executive functioning and mathematics achievement. *Child Development Perspectives*, 8(1), 36–41. <https://doi.org/10.1111/cdep.12059>

Clements, D. y Sarama, J. (2004). Learning Trajectories in Mathematics Education. *Mathematical Thinking and Learning*, 6(2), 81–89. https://doi.org/10.1207/s15327833mtl0602_1

Clements, D. & Sarama, J. (2009). *Learning and teaching early math: The learning trajectories approach*. Routledge.

Clements, D. & Sarama, J. (2022). Lessons learned from 10 experiments that tested the efficacy and assumptions of hypothetical learning trajectories. *Education Sciences*, 12(3), 195. <https://doi.org/10.3390/educsci12030195>

Cowan, N. (2014). Working memory underpins cognitive development, learning, and education. *Educational Psychology Review*, 26(2), 197–223. <https://doi.org/10.1007/s10648-013-9246-y>

Crivelli, L., Palmer, K., Calandri, I., Guekht, A., Beghi, E., Carroll, W., Frontera, J., García-Azorín, D., Westenberg, E., Winkler, A. S., Mangialasche, F., Allegri, R. F., & Kivipelto, M. (2022). Cambios en el funcionamiento cognitivo después de COVID-19: una revisión sistemática y metaanálisis. *Alzheimer y demencia: revista de la Asociación de Alzheimer*, 18(5), 1047–1066. <https://doi.org/10.1002/alz.12644>

Devlin, H. (28 de febrero de 2024). ‘Brain fog’ from long Covid has measurable impact, study suggests. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/society/2024/feb/28/brain-fog-from-long-covid-has-measurable-impact-study-suggests>

Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135-168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>

Diamond, A., & Ling, D. S. (2016). Conclusions about interventions, programs, and approaches for improving executive functions that appear justified and those that, despite much hype, do not. *Developmental cognitive neuroscience*, 18, 34-48. DOI: 10.1016/j.dcn.2015.11.005

Diamond, A., & Ling, D. S. (2020). Review of the evidence on, and fundamental questions about, efforts to improve executive functions, including working memory. In J. M. Novick, M. F. Bunting, M. R. Dougherty, & R. W. Engle (Eds.), *Cognitive and working memory training: Perspectives from psychology, neuroscience, and human development* (pp. 143–431). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780199974467.003.0008>

Diamond, A. & Wright, A. (2014). An effect of inhibitory load in children while keeping working memory load constant. *Frontiers in psychology*, 5, 213. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00213>

Durán Fernández, R., Martínez, A., & López, J. (2023). Niebla mental y bajo rendimiento académico post-COVID en adolescentes: un estudio exploratorio. *Revista Iberoamericana de Neuropsicología*, 12(2), 63–78.

Duval, R. (2006). A cognitive analysis of problems of comprehension in a learning of mathematics. *Educational Studies in Mathematics*, 61(1-2), 103–131. <https://doi.org/10.1007/s10649-006-0400-z>

Duval, R. (2017). *Understanding the mathematical way of thinking: The registers of semiotic representations*. Springer.

Fernández-Castilla, B., Castaño, C., & Campos, J. (2022). Efectos del confinamiento en el desarrollo cognitivo infantil: Una revisión sistemática. *Revista de Psicología y Educación*, 17(2), 157–177. <https://doi.org/10.23923/rpye2022.299>

Gallardo, A., & Hernández, A. (2010). Students' difficulties in understanding negative numbers: An analysis from the perspective of conceptual fields theory. *Journal of Mathematical Behavior*, 29(4), 234–245.

Gathercole, S. E., & Alloway, T. P. (2008). *Working Memory and Learning: A Practical Guide for Teachers*. SAGE Publications.

Geary, D. C. (2011). Cognitive predictors of achievement growth in mathematics: A 5-year longitudinal study. *Developmental Psychology*, 47(6), 1539–1552. <https://doi.org/10.1037/a0025510>



- Geake, J. (2009). *The brain at school: Educational neuroscience in the classroom*. McGraw-Hill Education.
- Gravemeijer, K. & Cobb, P. (2006). Design research from a learning design perspective. In J. van den Akker, K. Gravemeijer, S. McKenney & N. Nieveen (Eds.), *Educational design research* (pp. 17–51). Routledge.
- Howard-Jones, P. A. (2014). Neuroscience and education: Myths and messages. *Nature Reviews Neuroscience*, 15(12), 817–824. <https://doi.org/10.1038/nrn3817>
- Kaptelinin, V. & Nardi, B. (2006). *Acting with Technology: Activity Theory and Interaction Design*. MIT Press.
- Lakoff, G., & Núñez, R. E. (1997). The metaphorical structure of mathematics: Sketching out cognitive foundations for mind-based mathematics. In L. D. English (Ed.), *Mathematical Reasoning: Analogies, Metaphors, and Images* (pp. 21–89). Lawrence Erlbaum Associates.
- Laurillard, D. (2012). *Teaching as a Design Science: Building Pedagogical Patterns for Learning and Technology*. Routledge.
- Laurillard, D. (2024). Trust the teachers: A collaborative approach to learning design solutions. In *Envisioning the Future of Education Through Design* (pp. 119-145). Springer Nature Singapore.
- Li, Y., Qu, G., Kong, H., Ma, X., Cao, L., Li, T., & Wang, Y. (2022). Rumination and “hot” executive function of middle school students during the COVID-19 pandemic: A moderated mediation model of depression and mindfulness. *Frontiers in Psychiatry*, 13, 989904.
- Ocampo-Hincapié, D., Sierra-Lambráño, L. y Perez-Arrieta, M. (2022). Estrategia de aprendizaje mediada por TIC para fortalecer el rendimiento académico del componente numérico variacional. *Revista Electrónica En Educación Y Pedagogía*, 6(11), 281–295. <https://doi.org/10.15658/rev.electron.educ.pedagog22.11061119>
- Orlikowski, W. J. (2007). Sociomaterial practices: Exploring technology at work. *Organization Studies*, 28(9), 1435–1448.
- Passolunghi, M. C., & Siegel, L. S. (2008). Working memory and access to numerical information in children with mathematical learning disabilities. *Journal*



of Experimental Child Psychology, 99(1), 18–41. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2007.06.002>

Plasencia, A. (2021). ¿Hacia una nueva realidad educativa? Complejidad, educación y poscovid. *Revista Electrónica En Educación Y Pedagogía, 5(9)*, 10–13. <https://doi.org/10.15658/rev.electron.educ.pedagog21.1105090>

Salazar-Domínguez, A. y Abancín-Ospina, R. (2022). Retos de la Educación Media latinoamericana en tiempos de pandemia. *Revista Electrónica En Educación Y Pedagogía, 6(10)*, 210–227. <https://doi.org/10.15658/rev.electron.educ.pedagog22.04061014>

Schneider, D., Zickerick, B., Thönes, S. y Wascher, E. (2020). Codificación, almacenamiento y preparación de la respuesta: correlaciones EEG distintas de representaciones de estímulos y acciones en la memoria de trabajo. *Psychophysiology, e13577*. <https://doi.org/10.1111/psyp.13577>

Schubring, G. (2005). *Conflicts between generalization, rigor, and intuition: Number concepts underlying the development of analysis in 17th–19th century France and Germany*. Springer.

Sfard, A. (1991). On the dual nature of mathematical conceptions: Reflection on processes and objects as different sides of the same coin. *Educational studies in mathematics, 22* (1), 1–36.

Sierpinska, A. (1994). *Understanding in Mathematics*. The Falmer Press.

Simon, M. A. (1995). Reconstructing mathematics pedagogy from a constructivist perspective. *Journal for Research in Mathematics Education, 26*(2), 114–145. <https://doi.org/10.2307/749205>

Spüler, M., Walter, C., Rosenstiel, W., Möller, K. y Klein, E. (2016). Predicción basada en EEG de la carga de trabajo cognitiva inducida por la aritmética: un paso hacia la adaptación en línea en el aprendizaje numérico. *Zdm, 48*, 267-278. <https://doi.org/10.15496/PUBLIKATION-18207>

Swanson, H. L. & Jerman, O. (2007). The influence of working memory on reading and math learning: A meta-analysis. *Learning and Individual Differences, 17*(2), 159-171. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2007.03.002>



- Sweller, J., van Merriënboer, J. & Paas, F. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10, 251-296.
- Sweller, J., Van Merriënboer, J.J. & Paas, F. (2019). Cognitive architecture and instructional design: 20 years later. *Educational psychology review*, 31, 261-292.
- Ungureanu, F., Dumitriu, T., Manta, V. I., & Cîmpanu, C. (2017). *Cognitive load and short-term memory evaluation based on EEG techniques*. In *Proceedings of eLearning and Software for Education Conference (eLSE 2017)*. <https://doi.org/10.12753/2066-026X-17-116>
- Vasileva, M., Alisic, E., Beauchamp, M. H., Bryant, R. A., Christodoulou, J., Codde, J. P., ... & Anderson, V. (2022). COVID-19 and cognitive functioning in children and adolescents: A systematic review. *Frontiers in Psychology*, 13, 852300. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.852300>
- Vlassis, J. (2004). Making sense of the minus sign or becoming flexible in ‘negativity’. *Learning and Instruction*, 14(5), 469–484. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2004.06.012>
- Zhao, Y., & Liu, Y. (2023). Reimagining mathematics education in the post-COVID era: Addressing cognitive fatigue and inequity. *Educational Studies in Mathematics*, 112(3), 327–345. <https://doi.org/10.1007/s10649-023-10132-4>



Anexo A.

Tabla 3
Estructura metodológica general

Objetivo general	Caracterizar formas de presencia de la memoria de trabajo de estudiantes en el aprendizaje de los números enteros en contextos post COVID-19 de la educación básica secundaria colombiana.					
Objetivos específicos	Fases	Momentos	Actividades	Técnicas para la formulación de instrumentos	Técnicas para la construcción de instrumentos de toma de datos	Técnicas para el análisis
1. Identificar factores que revelan presencia de memoria de trabajo en procesos de aprendizaje de los números enteros, considerando aspectos cognitivos y estrategias pedagógicas.	elaboración de la rejilla de relaciones de procesos y estados de memoria	análisis confrontación y selección de categorías según teorías seleccionadas	revisión bibliográfica y estructura de la rejilla (incorporando actores educativos en el proceso de co-diseño, enfoque participativo PADR)	estado de arte	audio, video, recolección de artefactos, entrevistas (incorporando registros de interacciones en entornos reales de aprendizaje - enfoque iterativo PADR registrados de actividad neurocognitiva con EEG para identificar correlatos de carga cognitiva y activación de la memoria de trabajo).	Nvivo análisis cualitativo de patrones semánticos, categorización emergente
		elaboración de constructos que identifican relaciones en la rejilla	validación interna de la rejilla y desarrollo del contenido de la rejilla (con iteraciones a partir del feedback de participantes clave - profesores y estudiantes)	mesas de trabajo con expertos (integrando el enfoque de co-diseño de PADR, permitiendo ajustes en función de necesidades del contexto)	Ánalisis de registros de sesiones, fichas colaborativas, notas de campo (técnicas de construcción emergente e iterativa PADR)	Codificación y validación cruzada (según categorías funcionales de memoria de trabajo y estrategias pedagógicas)
		validación o legitimación de la rejilla por juicios de expertos	reuniones o mesas de trabajo con pares evaluadores de la rejilla (iteraciones del diseño de la rejilla basadas en la interacción con los actores del entorno educativo PADR)	evaluación por expertos (con procesos reflexivos para la mejora del instrumento de análisis a través de la colaboración activa PADR)	Protocolos de validación estructurada (rúbricas consensuadas, checklists, ajustes participativos PADR)	(Análisis cualitativo de consensos y disensos PADR) (registro de validación en N Vivo, matriz de ajustes instrumentales)



Objetivos específicos	Fases	Momentos	Actividades	Técnicas para la formulación de instrumentos	Técnicas para la construcción de instrumentos de toma de datos	Técnicas para el análisis
2. Caracterizar afectaciones del COVID-19 a la memoria de trabajo en el aprendizaje de los números enteros.	identificación de afectaciones del covid a la memoria de trabajo	1. Revisión bibliográfica y sistematización de hallazgos fundamentales. 2. Elaboración de indicadores de presencia de la afectación del covid en la memoria de trabajo 3. elaboración de instrumentos de detección de indicadores 4. Búsqueda empírica de seguimiento de esas afectaciones en sistema de apoyo médico (comprensión del contexto, co-exploración participativa PADR)	1. seleccionar fuentes 2. identificación de teorías 3. análisis de tendencias (Entrevistas con profesores, padres y psicólogos escolares PADR) (Taller con profesores y orientadores escolares PADR)	Revisión sistemática de literatura científica. - Grupos focales exploratorios con especialistas. - Elaboración de constructos iniciales para entrevistas o rejillas analíticas. (Diseño participativo de guías de entrevista con actores escolares PADR) (Validación participativa del instrumento a través de grupo focal PADR)	Desarrollo de una guía de entrevista semiestructurada centrada en experiencias educativas post-COVID. - Formulación de una rejilla de observación con categorías de memoria de trabajo. - Recolección de relatos experienciales mediante cuestionarios abiertos. (Entrevistas semiestructuradas; protocolos clínicos PADR) EEG puede evidenciar alteraciones en la actividad eléctrica cerebral post-COVID que impacten la memoria de trabajo.	Análisis de contenido temático y categorial. - Codificación abierta con apoyo de NVivo. - Triangulación de fuentes: literatura, entrevistas y observación. - Análisis cruzado entre categorías cognitivas y factores contextuales COVID-19. (Análisis de identificación de variables cognitivas afectadas PADR)
	identificación de características de estas afectaciones que inciden en el aprendizaje de los números enteros.	Revisión de literatura sobre procesos cognitivos implicados en el aprendizaje de los números enteros. - Análisis de estudios de caso sobre estudiantes con secuelas cognitivas post-COVID. - Delimitación de relaciones entre afectaciones en la memoria de trabajo y dificultades específicas con los números enteros. (intervención reflexiva, análisis cooperativo PADR)	Mapeo de habilidades cognitivas necesarias para el aprendizaje de enteros (atención, actualización, inhibición, etc.). - Identificación de errores frecuentes o patrones de dificultad en tareas con números enteros. - Entrevistas con profesores y orientadores escolares sobre cambios observados post-pandemia. - Desarrollo de una matriz de correspondencia entre funciones ejecutivas afectadas y dificultades didácticas. (Socialización con profesores de hallazgos preliminares PADR)	Ánalisis didáctico de tareas matemáticas con números enteros. - Elaboración de guías de entrevista a partir de estudios previos sobre aprendizaje de enteros. - Validación por juicio de expertos (profesores y neuropsicólogos). (Construcción participativa de inferencias en sesiones colectivas PADR)	Guías de entrevista para profesores centradas en dificultades cognitivas observadas en el aula. - Rejilla de análisis de errores en ejercicios con números enteros. - Diseño de instrumentos de observación de resolución de problemas en clase. - Pruebas diagnósticas breves adaptadas para identificar dificultades ligadas a la memoria de trabajo. (Registro de sesiones de socialización PADR)	Análisis de contenido cualitativo con codificación (NVivo). - Análisis de errores y categorización didáctica. - Matrices de triangulación entre entrevistas, observaciones y pruebas. - Cruce de variables entre funciones cognitivas afectadas y conceptos matemáticos implicados. Análisis descriptivo e inferencial, correlaciones entre memoria de trabajo y desempeño en enteros (Análisis de patrones; validación cruzada PADR)



Objetivos específicos	Fases	Momentos	Actividades	Técnicas para la formulación de instrumentos	Técnicas para la construcción de instrumentos de toma de datos	Técnicas para el análisis
3. Proponer una experiencia de enseñanza para desarrollar el aprendizaje de números enteros en estudiantes afectados por COVID-19.	Diseño del experimento de enseñanza basada en los hallazgos previos.	formulación de hipótesis diseñar trayectorias de aprendizaje niveles e indicadores y actividades de las trayectorias de aprendizaje (Identificación de la diferencia entre conocimiento actual del estudiante y objetivos deseados. Laurillard) (Ciclo de indagación participativa con profesores e investigadores. (PADR)	Análisis de hallazgos previos. Revisión de fases anteriores del PADR. Co-diseño de la experiencia con profesores y expertos. Definición de objetivos didácticos. Elaboración del experimento de enseñanza (secuencias didácticas, recursos, mediaciones). (Uso del Conversational Framework para diseñar tareas que incluyan: acción, feedback, reflexión y discusión. laurillard) (Etapa de diseño colaborativo basado en hallazgos de fases anteriores (acción-reflexión. (PADR)	Análisis documental. Revisión sistemática de datos previos Grupos focales con expertos. Entrevistas semiestructuradas. Mapas conceptuales colaborativos. Técnica Delphi. (Diagnóstico inicial de concepciones previas y necesidades cognitivas. Laurillard). (Formulación de preguntas/guías co-construidas con profesores. PADR)	Matrices de categorización y codificación de hallazgos. Guiones para sesiones colaborativas. Plantillas para construir sesiones didácticas. Guías instructuales. Diseño de guiones pedagógicos. Plantillas de sesión. (Diseño de tareas que permitan seguimiento del aprendizaje a través de la retroalimentación. (Laurillard) (Plantillas diseñadas y validadas participativamente. (PADR) EEG puede complementar la evaluación del impacto de estrategias didácticas innovadoras en la memoria de trabajo.	Análisis cualitativo de contenido (a partir de entrevistas, diarios de campo y observaciones previas). Codificación para extraer patrones recurrentes sobre dificultades y potencialidades en el aprendizaje de los números enteros. Matrices de categorización (usando NVivo) para relacionar evidencia empírica y decisiones de diseño. (Aplicación del modelo conversacional para identificar necesidades específicas en los niveles de discurso, conceptualización, práctica y reflexión Laurillard) espacios colaborativos de análisis entre profesores-investigadores para validar las decisiones de diseño, mediante ciclos reflexivos PADR)
	la evolución del experimento de enseñanza en un escenario natural	Toma de medidas: Implementación Evaluación de impacto (Interacciones didácticas como parte de un ciclo continuo de enseñanza-aprendizaje. (Laurillard) (Aplicación del experimento en contextos reales, observación participativa. PADR)	Implementación del experimento con estudiantes reales. Registro del proceso en el aula. Evaluación del proceso en tiempo real. Recogida de impresiones profesores y estudiantiles. (Observación del feedback loop: acción → retroalimentación → adaptación. (Laurillard) (Acción situada en el aula; recogida de datos en vivo; reflexiones emergentes. PADR)	Revisión participativa de sesiones. Pilotaje inicial. Entrevistas reflexivas. Reuniones de retroalimentación. (Instrumentos diseñados para captar evidencias de diálogo y transformación del conocimiento. (Laurillard Co-creación de instrumentos de observación y retroalimentación inmediata. (PADR)	Observación participante. Grabaciones de sesiones. Cuadernos de campo. Rúbricas de observación. Checklists de desempeño. Formularios de registro rápido. (Seguimiento de las iteraciones del aprendizaje según el modelo conversacional. (Laurillard) (Uso de evidencias auténticas como base para la reconfiguración del diseño. PADR)	<p>(Análisis multimodal de las interacciones en aula (lenguaje, uso de recursos, representaciones gráficas), articulado con los modos de aprendizaje: discusión, interacción, adaptación, reflexión. (Laurillard)</p> <p>- Triangulación de datos (grabaciones, cuadernos de los estudiantes, registros del docente).</p> <p>- Análisis narrativo de secuencias didácticas y respuesta estudiantil para observar procesos cognitivos en tiempo real.</p> <p>(Incorporación de momentos de reflexión cíclica, donde los participantes co-analizan la experiencia y ajustan las acciones PADR)</p> <p>- Estudio de casos centrado en estudiantes representativos para trazar trayectorias individuales significativas.</p>



Objetivos específicos	Fases	Momentos	Actividades	Técnicas para la formulación de instrumentos	Técnicas para la construcción de instrumentos de toma de datos	Técnicas para el análisis
3. Proponer una experiencia de enseñanza para desarrollar el aprendizaje de números enteros en estudiantes afectados por COVID-19.	identificación de trayectorias reales de aprendizaje	Evaluación de impacto (Identificación de trayectorias de aprendizaje que revelen transformación conceptual. (Laurillard) (Etapa de reflexión profunda y ajuste del modelo de enseñanza. PADR)	Análisis de evidencias de aprendizaje reales. Detección de patrones de avance. Evaluación participativa con estudiantes y profesores. Sistematización del experimento. (Evaluación de los efectos del diseño instruccional sobre el cambio conceptual. (Laurillard) Fase reflexiva compartida (docente-investigador-estudiante) para validar hallazgos. PADR)	Categorización inductiva. Revisión crítica de registros. Narrativas reflexivas. Análisis de experiencias. (Instrumentos orientados a identificar cambios en los modelos mentales del estudiante. Laurillard) (Construcción participativa de trayectorias, uso de materiales producidos por los estudiantes. PADR)	Ánalisis de productos de los estudiantes. Trazado de trayectorias. Comparación pre-post. Historias de aprendizaje. Entrevistas narrativas. Mapeo de trayectorias conceptuales. (Revisión del recorrido del estudiante según fases del Conversational Framework. (Laurillard) (Instrumentos co-analizados con actores educativos; iteración final del diseño para retroalimentar el sistema. PADR)	Ánalisis de progresión en trayectorias de aprendizaje mediante codificación por niveles). - Mapas de aprendizaje o líneas de tiempo de avance conceptual. - Análisis de variación en el rendimiento y comprensión antes, durante y después de la experiencia de enseñanza). (Análisis del modelo de mediación para evaluar el impacto de los componentes didácticos sobre el desarrollo de habilidades cognitivas específicas. (Laurillard) (validación participativa de los hallazgos, involucrando profesores y estudiantes para contrastar las trayectorias identificadas con sus percepciones y experiencias. PADR)
4. Identificar relaciones entre la memoria de trabajo y el aprendizaje de números enteros en estudiantes de básica secundaria afectados por COVID-19.	organizar las unidades de análisis de acuerdo a los datos provenientes de la evolución de las trayectorias en el aula	Selección de indicadores y diseño metodológico. (Diagnóstico participativo (PADR) (Co-diseño reflexivo (PADR)	Sistematizar antecedentes y describir las trayectorias de aprendizaje observadas. Clasificar las unidades de análisis según momentos esenciales del aprendizaje (Revisión colectiva de evidencias del aula. PADR) (Delimitación conjunta de las unidades de análisis con base en progresos observados PADR)	diseño de categorías iniciales con base teórica Definición de criterios por niveles de avance en el aprendizaje de enteros (Taller colaborativo con profesores y expertos para definir criterios de análisis de trayectorias PADR)	Matriz de sistematización Fichas de seguimiento individual; rúbricas descriptivas; organizadores gráficos (Matrices de observación co-diseñadas (fichas de seguimiento, PADR) EEG puede ayudar a validar empíricamente dichas relaciones en tiempo real.	Análisis de trayectorias; codificación en Nvivo Análisis cualitativo por patrones de progresión y estancamiento (Análisis temático de trayectorias con retroalimentación docente PADR) (Codificación cualitativa en NVivo a partir de categorías emergentes construidas con los participantes PADR)



Objetivos específicos	Fases	Momentos	Actividades	Técnicas para la formulación de instrumentos	Técnicas para la construcción de instrumentos de toma de datos	Técnicas para el análisis
4. Identificar relaciones entre la memoria de trabajo y el aprendizaje de números enteros en estudiantes de básica secundaria afectados por COVID-19.	identificar en las unidades de análisis la presencia de la manifestación de aspectos de memoria de trabajo	Observación estructurada Registro y codificación (Exploración situada (PADR)) (Reflexión colaborativa (PADR))	Observar señales de carga cognitiva, atención, memoria visual o verbal en el aula Codificar verbalizaciones, conductas y respuestas asociadas a memoria de trabajo (Observaciones y registros de aula focalizados en la manifestación de la memoria de trabajo (atención sostenida, control inhibitorio, carga cognitiva PADR)) (Taller de análisis conjunto con profesores para interpretar signos de memoria de trabajo PADR)	Revisión de referentes cognitivos (Baddeley, Alloway, Swanson); Desarrollos teórico y empíricos relacionados con funciones ejecutivas Co-diseño de guías de observación basadas en modelos de Baddeley y funciones ejecutivas PADR) (Conversatorios con profesores para ajustar instrumentos y validar observaciones PADR)	Escalas de observación; protocolos cognitivos; fichas de evaluación informal Guías de entrevistas; registros en video/ audio; bitácoras de sesiones (Registro de mapas cognitivos y uso de artefactos de aprendizaje PADR)	Análisis de contenido; triangulación de observaciones y verbalizaciones Codificación en NVivo; construcción de categorías emergentes (Triangulación de categorías: memoria de trabajo – estrategias profesores – desempeño de estudiantes PADR)
			identificar progreso en las trayectorias de aprendizaje vinculados a mejoras de memoria de trabajo	Evaluación del cambio Integración de resultados (Evaluación participativa (PADR)) (Rediseño iterativo (PADR))	Relacionar el progreso matemático con mejoras cognitivas en memoria de trabajo Comparar avances de aprendizaje con evidencias de mejoría en memoria de trabajo (Ajustes a estrategias didácticas y organizativas en base a los hallazgos PADR)	Diseño de rúbricas que integren componentes matemáticos y cognitivos Formulación de relaciones en categorías cruzadas: cognición – desempeño (Entrevistas reflexivas con estudiantes sobre su experiencia y percepción de las actividades PADR)