

Investigación basada en diseño para la generación de oportunidades de aprendizaje en educación matemática en contextos rurales

Design-based research for generating learning opportunities in school mathematics in rural contexts
Investigação baseada no design para a geração de oportunidades de aprendizagem da matemática escolar em contextos rurais

DOI: <https://doi.org/10.21803/penamer.18.37.889>

Sandra Patricia Rojas Sevilla

<https://orcid.org/0000-0002-1119-4205>

Roberto Carlos Torres Peña

<https://orcid.org/0000-0002-5174-8559>

Jairo Escorcía Mercado

<https://orcid.org/0009-0002-2572-8287>

Resumen

Introducción: En los últimos años la Investigación Basada en Diseño (IBD) se ha venido consolidando como una metodología fructífera y robusta en el campo de la Educación Matemática. Debido a que facilita la articulación entre la investigación y las necesidades reales de la instrucción. Sin embargo, persisten limitaciones en cuanto a ejemplos concretos de su aplicación, especialmente en investigaciones doctorales. **Objetivo:** Describir una ruta del uso de la IBD en la generación de aportes teóricos y prácticos, a partir de un estudio doctoral; cuyo aporte fue la construcción del constructo de Oportunidad de Aprendizaje de Calidad y de una metodología para generar estas oportunidades. **Metodología:** El estudio se instaló en un paradigma cualitativo, con alcance descriptivo. A través de una revisión documental y un análisis de contenido. **Resultados:** Se describe una ruta para la elaboración de estudios doctorales siguiendo las fases de la IBD, basado en un caso específico. A partir del refinamiento progresivo de conjeturas con el uso de Trayectorias Hipotéticas de Aprendizaje. **Conclusión:** La IBD se presenta como una estrategia metodológica sólida que permite generar aportes teóricos al mismo tiempo que se mejora la instrucción.

Palabras clave: Contexto rural; Educación Matemática; Investigación Basada en Diseño; Oportunidades de Aprendizaje de Calidad; Trayectoria Hipotética de Aprendizaje.

Abstract

Introduction: In recent years, Design-Based Research (DBR) has been consolidating as fruitful and robust in the field of mathematical education since it facilitates the articulation between investigation and the real needs of instruction. However, limitations persist in terms of concrete examples of its application, especially in Doctoral research. **Objective:** Describe a route of the use of DBR in the generation of theoretical and practical contributions, from a doctoral study, whose contribution was the construction of the construct of quality learning opportunities and of a methodology to generate these opportunities. **Methodology:** The research was installed in a qualitative paradigm, with descriptive scope. Through of a documentary review and a content analysis. **Results:** A route for the elaboration of doctoral studies is described following the phases of DBR, based on a specific case. From progressive refinement of conjectures using hypothetical learning trajectories. **Conclusion:** DBR is presented as a solid methodological strategy that allows generating theoretical contributions while improving instructions

Keywords: Design-Based Research; Learning Opportunities; Mathematical Education; Hypothetical Learning Trajectory.

¿Cómo citar este artículo?

Rojas; S., Torres; R. y Escorcía; J. (2025). Investigación basada en diseño para la generación de oportunidades de aprendizaje en educación matemática en contextos rurales *Pensamiento Americano*, e#:889, 18(37), DOI: <https://doi.org/10.21803/penamer.18.37.889>



Resumo

Introdução: Nos últimos anos, a Pesquisa Baseada em Design (DBR) tem se consolidado como frutífera e robusta no campo da educação matemática, uma vez que facilita a articulação entre a investigação e as necessidades reais da instrução. No entanto, persistem limitações em termos de exemplos concretos de sua aplicação, especialmente em pesquisas de doutorado. **Objetivo:** Descrever uma rota de uso da DBR na geração de contribuições teóricas e práticas, a partir de um estudo de doutorado, cuja contribuição foi a construção do construto de oportunidades de aprendizagem de qualidade e de uma metodologia para gerar essas oportunidades. **Metodologia:** A pesquisa foi instalada em um paradigma qualitativo, com escopo descritivo. Por meio de uma revisão documental e uma análise de conteúdo. **Resultados:** Descreve-se um caminho para a elaboração de estudos de doutorado seguindo as fases da DBR, com base em um caso específico. A partir do refinamento progressivo de conjecturas usando trajetórias hipotéticas de aprendizagem. **Conclusão:** A DBR se apresenta como uma estratégia metodológica sólida que permite gerar contribuições teóricas e, ao mesmo tempo, melhorar o ensino.

Palavras-chave: Pesquisa Baseada em Design; Oportunidades de Aprendizagem; Educação Matemática; Trajetória Hipotética de Aprendizagem.



INTRODUCCIÓN

La Investigación Basada en Diseño (IBD) se ha establecido como un enfoque metodológico sólido en la Educación Matemática, que proporciona una ruta para conectar el trabajo de investigación con los desafíos de enseñar y aprender matemáticas (Gravemeijer & Prediger, 2019). Este enfoque, permite vincular la investigación teórica con la realidad del aula y orientarse a impactar directamente en mejorar la instrucción. No obstante, sigue habiendo escasez de ejemplos específicos que ilustren su implementación, particularmente en el contexto de estudios doctorales (Molina, 2021). En correspondencia con Cai et al. (2019), quienes sustentan que la investigación en el campo de Educación Matemática debe ser aplicada en contextos educativos reales, y faciliten una mejora tangible en la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas.

En atención a ello, este artículo aborda elementos que se conectan directamente con la metodología, como lo son: plantear preguntas de investigación significativas” (Cai et al., 2019a), que el encuadre teórico debe justificar los métodos (Cai et al., 2019b), seleccionar adecuadamente y justificar métodos robustos para la investigación (Cai et al., 2019c) y la importancia de justificar las interpretaciones de datos (Cai et al., 2019d).

Los cuatro elementos conforman un entramado que surge de una cadena de razonamientos y de la conexión entre el marco teórico, las preguntas de investigación, los métodos y las formas en que se presentan e interpretan los resultados (Cai et al., 2020). De modo que, al atender estos aspectos, se logra el propósito de una tesis doctoral, que es generar un aporte tanto teórico como práctico; e impactar la instrucción para mejorarla.

Es por todas estas ideas, que se escogió la Investigación Basada en el Diseño, para el propósito de la investigación de Rojas (2023), que se corresponde con los dos objetivos duales de la IBD: el primero se enfoca en diseñar y mejorar los dispositivos de enseñanza y aprendizaje para las aulas, y el segundo busca generar aportes teóricos a partir de la comprensión de los procesos de enseñanza y aprendizaje de un contenido específico mediante la investigación empírica (Gravemeijer & Prediger, 2019; Prediger, 2019).

El propósito de este artículo es presentar el uso de la IBD con ejemplos concretos.

Es de aclarar, que esta estrategia es relativamente nueva; prueba de ello es que, al hacer una revisión de libros clásicos de Metodología de la investigación, por ejemplo: en Hernández et al. (2014) identifican cinco enfoques o diseños en la investigación cualitativa: teoría fundamentada, diseños etnográficos, diseños narrativos, diseños fenomenológicos y diseños de investigación-acción. Por su parte, Creswell y Poth (2016) distingue cinco enfoques cualitativos, los cinco enfoques principales que se discuten suelen incluir: Narrativa, Fenomenología, Teoría fundamentada, Estudio de caso e Investigación etnográfica IBD (Bakker & Van Eerde, 2015); pero no incluyen la IBD.

MARCO TEÓRICO

Investigación Basada En Diseño (IBD)

Es un enfoque metodológico que no solo fortalece la conexión entre la teoría y la práctica, sino que tam-



bién asegura que los resultados de la investigación sean útiles y aplicables para los educadores en su labor diaria. Una característica de la IBD es que se enfoca en la solución de problemas y la mejora de los procesos de enseñanza y aprendizaje, en lugar de simplemente describir o explicar fenómenos educativos. Uno de los objetivos de la IBD es “Comprender y mejorar la realidad educativa a través de la consideración de contextos naturales en toda su complejidad, y del desarrollo y análisis paralelo de un diseño instruccional específico” (Molina et al., 2011, p.75).

En la IBD las teorías que se desarrollan suelen estar estrechamente relacionadas con contextos y objetivos de aprendizaje específicos. Aunque estas teorías tienden a ser modestas y difíciles de generalizar, su enfoque sistemático permite que la IBD proporcione una base sólida para refinar o desarrollar conceptos teóricos (Bakker & Van Eerde, 2015). Aunque los enfoques de investigación de diseño pueden diferenciarse en su realización concreta, se distinguen por lo general cinco características comunes (Cobb et al., 2003; Godino et al., 2013; Gravemeijer & Prediger, 2019; Prediger et al., 2015); las que se describen a continuación.

“(1) Intervencionista, es decir, la intención de la investigación en diseño es crear y estudiar nuevas formas de instrucción. (2) Teoría generativa, es decir, el objetivo de la investigación de diseño es generar teorías sobre el proceso de aprendizaje y los medios para apoyar ese aprendizaje. Generar teorías aquí significa tanto desarrollar como refinar teorías (pero rara vez “probar” en el sentido estricto de la psicología experimental). Los experimentos de diseño individual apuntan a teorías pragmáticas y humildes; humildes en el sentido de estar preocupados por los procesos de aprendizaje de temas específicos, y pragmáticos en el sentido de que informan eficazmente el diseño prospectivo. (3) La conexión entre teoría y experimento es doble, a saber, prospectivo y reflexivo: La teoría informa prospectivamente el diseño del experimento de diseño y se desarrolla más en la reflexión retrospectiva sobre las desviaciones entre los procesos de enseñanza y aprendizaje esperados y observados. (4) Iterativo, es decir, la teoría se desarrolla en una iteración de ciclos de conjeturas, pruebas y revisiones. (5) El énfasis en validez ecológica y orientación práctica “refleja sus raíces pragmáticas: [...] La teoría debe hacer un trabajo real” (Cobb et al., 2003, p. 11). Dado que la investigación se sitúa en aulas reales, las condiciones del estudio ya representan la complejidad de las condiciones de práctica.

Estrategia de investigación: Experimento de Enseñanza, el centro de la IBD.

Los procesos investigativos que sigue la IBD no ejecutan actividades en secuencia, sino que realizan ambas simultáneamente y las entrelazan en varios ciclos para alcanzar los objetivos duales (Cobb et al., 2003; Gravemeijer & Prediger, 2019; Gresalfi, 2015). En los últimos años el uso de la IBD se ha incrementado en la Educación Matemática, los campos de acción se han extendido a todos los niveles e instituciones, desde el jardín de infancia (Clements & Sarama, 2002), las escuelas primarias (Confrey & Maloney 2015; de Beer et al., 2015), escuelas secundarias (Gresalfi, 2015; Prediger y Krägeloh 2015; Stephan, 2015) a la universidad (Kwon et al., 2015; Rasmussen, 2001, citado por Prediger et al., 2015).

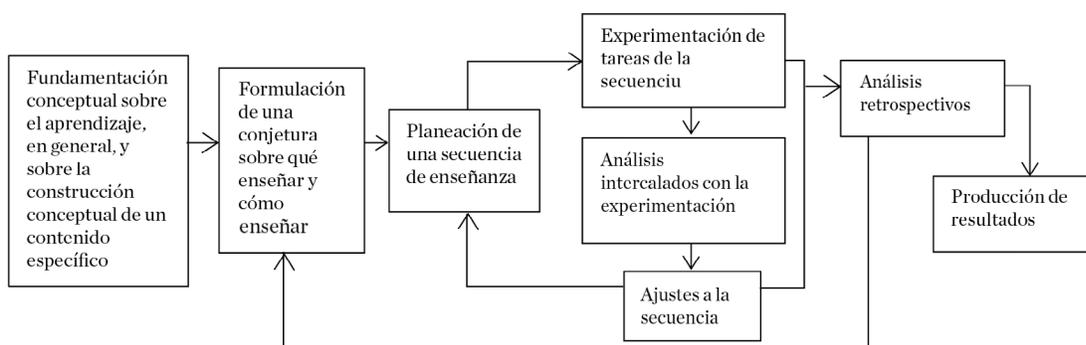
De acuerdo a la pretensión de los investigadores adecuan las estrategias, cuando se pretende hacer un análisis en profundidad, en ecologías complejas de clase, sobre la existencia de potenciales efectos de cierto diseño, movilizado por una conjetura. Por esta razón, es adecuado implementar un Experimento de Enseñanza (Camargo, 2021; Prediger & Krägeloh, 2015; Stephan, 2015). Esta estrategia consta del diseño, implementación y evaluación de una secuencia de enseñanza, organizadas con el fin de poner en juego una conjetura sobre un aprendizaje específico.

De esta forma, teorizar sobre la calidad de la experiencia matemática y lo que permite ir construyendo la



Teoría Local Conjeturada, que luego redunda en resultados prácticos tales como: Trayectorias Hipotéticas de Aprendizaje, secuencias de enseñanza mejoradas, modelos de actividad matemática de los estudiantes, modelos de la interacción de calidad profesor – estudiantes, estudiante -estudiante, estudiante – comunidad y evidencias que muestran que es posible lograr el efecto deseado (Camargo, 2021; Gravemeijer & Prediger, 2019; Rojas, 2023). Para tal fin, se siguen los pasos de la Figura 1.

Figura 1.
Pasos de la estrategia Experimento de Enseñanza

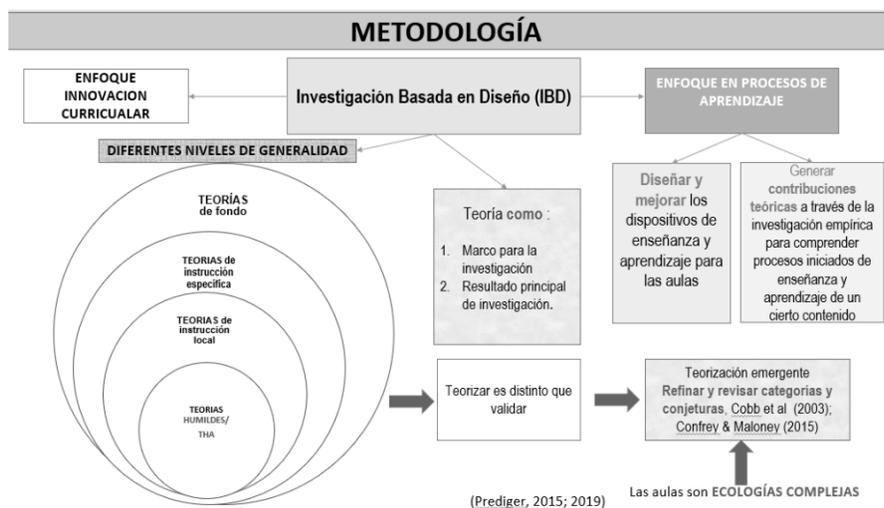


Nota: Camargo (2021).

Enfoques de la IBD

La IBD distingue dos enfoques: uno centrado en diseños curriculares y el otro centrado en los procesos de aprendizaje (Prediger et al., 2015). En la Figura 2 se presenta una síntesis de la IBD. La investigación de Rojas (2023) presenta una ruta metodológica guiada por el enfoque de procesos de aprendizaje. En primera instancia, porque se focaliza en comprender y mejorar los procesos de aprendizaje que ocurren en los estudiantes y segundo porque la investigación de diseño se basa en la premisa de que las aulas son entornos complejos donde no se pueden controlar todas las variables, lo que se engarza con las características de los participantes y del contexto en que se desarrolló este estudio.

Figura 2.
Enfoques de la investigación Basada en Diseño.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons "Reconocimiento No Comercial Sin Obra Derivada".



Así las cosas, el objetivo principal de la IBD es el desarrollo de teorías sobre cómo los estudiantes aprenden, y cómo el diseño de entornos educativos puede facilitar ese aprendizaje, eliminando las barreras (Prediger et al., 2015). Además, una de las ventajas es la robustez de los datos investigativos, puesto que emplea una triangulación de métodos, lo que permite la inducción (o descubrimiento de patrones), la deducción (prueba de teorías e hipótesis) y la abducción (descubrir y confiar en lo mejor de un conjunto de explicaciones para comprender los resultados) (Plomp, 2013; citada en Archer, 2019).

METODOLOGÍA

El estudio se enmarca en un enfoque cualitativo de alcance descriptivo, fundamentado en los principios de la Investigación Basada en Diseño (IBD). Se llevó a cabo una revisión documental sistemática y un análisis de contenido para examinar el proceso de construcción teórica en el contexto de una tesis doctoral. La metodología adoptada permitió identificar cómo la IBD facilita la formulación del problema de investigación, el desarrollo progresivo de conjeturas y la generación del constructo de Oportunidad de Aprendizaje de Calidad.

A través del diseño iterativo y el uso de Trayectorias Hipotéticas de Aprendizaje, se analizó la evolución del conocimiento teórico en paralelo con la mejora de la instrucción, lo que permitió validar y refinar el constructo emergente. El proceso metodológico consistió en la exploración de literatura relevante para establecer una base conceptual sobre IBD. Posteriormente, se analizaron estudios previos y experiencias en enseñanza de las matemáticas, con el propósito de identificar patrones y elementos clave en el uso de este diseño metodológico.

Además, se llevó a cabo un estudio a profundidad, de la tesis doctoral de Rojas (2023) en la que se aplicó la IBD, para desarrollar un aporte teórico al campo de la educación matemática: el constructo de Oportunidades de Aprendizaje de Calidad para cada estudiante rural en la clase de matemáticas. Los participantes lo conformaron doce estudiantes de los grados séptimo a undécimo, en edades de 13 a 19 años, vinculados a dos Instituciones Educativas, todos residen en la Vereda la Floresta.

RESULTADOS

La Investigación Basada en Diseño es una estrategia útil al momento de generar oportunidades de aprendizaje de calidad y ha tomado fuerza en las investigaciones actuales en educación matemática. En el trabajo de Rojas (2023), las Trayectorias Hipotéticas de Aprendizaje se establecieron tanto como estrategia de investigación y como resultado de esta. Las THA permiten que la Investigación Basada en Diseño conecte la teoría con la práctica. Fue este proceso el que permitió desarrollar no solo el constructo de Oportunidad de Aprendizaje de Calidad, sino, que también permitió analizar y conjeturar cómo mejorar la instrucción en un contexto rural. A partir de estas ideas, Rojas (2023) concretó el problema de su investigación doctoral, bajo la ecuación, que se ilustra en la Figura 3.



Figura 3.

Ecuación para formular un problema de investigación en la tesis doctoral



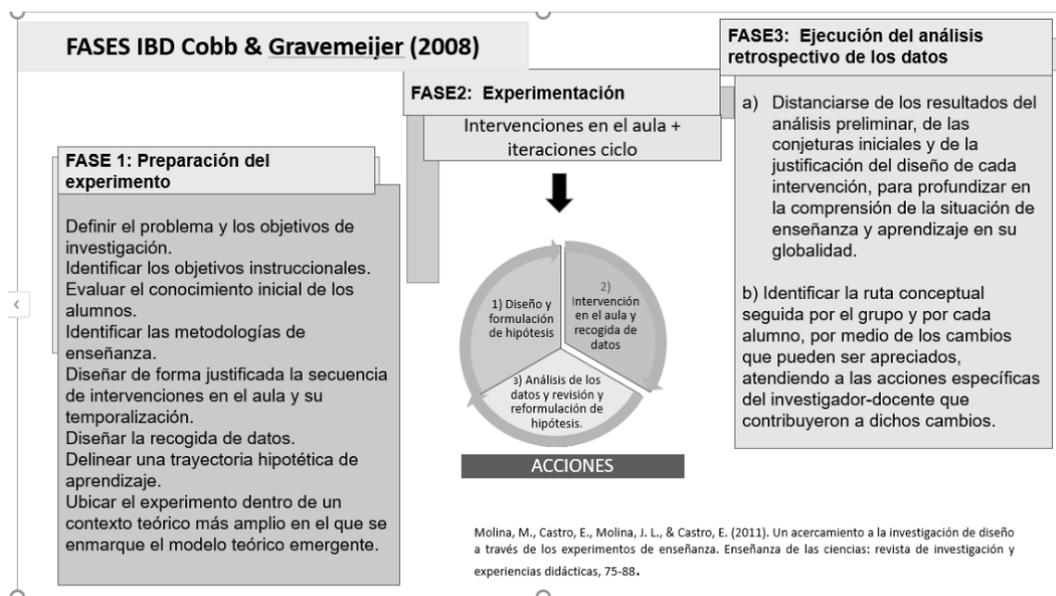
Fuente: Elaboración propia.

Fases de la investigación basada en Diseño

La investigación Basada en Diseño se caracteriza por su naturaleza cíclica, ver Figura 4. Además, se distingue por que cada fase, con frecuencia, se pasa por varios ciclos hasta consolidar los instrumentos, las técnicas y el entramado teórico que sirve de lente para el análisis.

Figura 4.

Fases de la IBD adaptado de Molina et al. (2011).



Fase 1. Preparación

Es importante una búsqueda sistemática de la literatura e identificar ideas que se imbriquen con el problema real del aula de matemáticas; que muchos estudiantes y profesores experimenten. Pero que probablemente, no se configura como un problema de ámbito de una investigación doctoral, solo hasta que se corresponda con un vacío teórico.

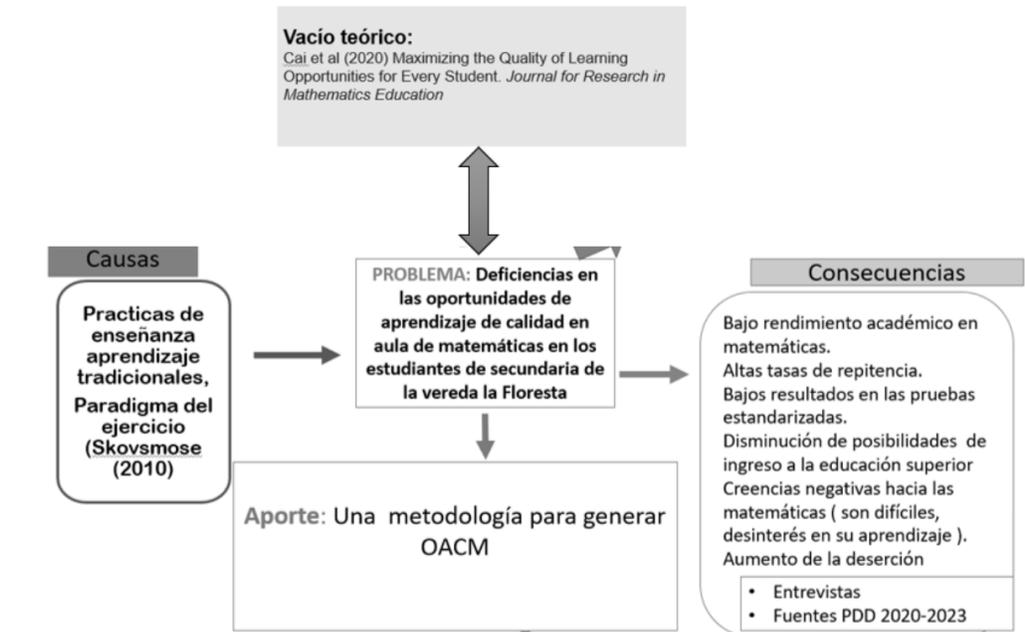
Este fue el caso, inicialmente se había identificado el problema de aprendizaje de las matemáticas que tienen los estudiantes de las escuelas rurales.



En un ciclo 2 de la fase 1: preparatoria y de diseño se había construido el esquema de la Figura 5. Ya se tenía un problema de la necesidad teórica, el problema real práctico, aunque estaba identificado a partir de las causas, consecuencias y la necesidad del aporte aún no se había configurado completamente. ¿Qué hacía falta? mayor interacción y comprensión de la movilización del aprendizaje de estudiantes, a la luz de la conexión entre la literatura, la producción y actividad matemática con los niños.

Figura 5.

Configuración del problema de investigación en la Fase 1 ciclo 2.



Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se recopiló información de fuentes tanto primarias como secundarias, así como de la literatura sobre las oportunidades de aprendizaje para el desarrollo del pensamiento matemático de los estudiantes en un contexto rural. Sin embargo, a pesar de que esta problemática está densamente abordada en la literatura, el estado del arte, permitió concluir que existía la necesidad de aportar una definición operativa de oportunidad de aprendizaje de calidad para cada estudiante (Cai et al., 2020). De la cual se vislumbra la necesidad teórica: “Definir y medir las oportunidades de aprendizaje con la precisión suficiente para estudiar cómo maximizar la calidad de las oportunidades experimentadas por cada estudiante” (Cai et al., 2020, p.1).

En la figura 5 se ilustra a grosso modo como se configuró el problema de investigación doctoral, a partir del engranaje entre un problema concreto de aula que experimentan estudiantes y profesores rurales y un vacío teórico identificado en el campo, esto se logró en la fase de preparación. De este modo, ya se tenía una base sólida para seguir configurando el problema de investigación con los atributos de un problema de investigación importante según (Cai et al. 2019). En la figura 4 se ilustran algunas acciones que se siguieron en la fase 1.

Además, el problema de investigación cuenta con relevancia tanto teórica como práctica. Dado que toca unos de los hallazgos más importante en la educación y es que el aprendizaje de los estudiantes

está “Finalmente determinado y limitado por las oportunidades que han tenido para aprender” (National Research Council, 2001, p. 31).

En síntesis, la preparación para el experimento de diseño, se inicia una vez establecidos los puntos finales potenciales y los puntos de partida de la instrucción, y de la formulación de la Teoría de Instrucción Local Conjeturada (TILC). El término conjeturado se utiliza porque se espera que esta teoría será revisada bajo la influencia de cómo evoluciona el pensamiento y la comprensión de los estudiantes cuando las actividades de instrucción planificadas (y posteriormente revisadas) se realicen en el aula. La concepción de una THA se tomó como paradigma para la realización de esta.

Fase 2: Realización del Experimento de Diseño

En el corazón del experimento de diseño se encuentra un proceso cíclico de (re) diseño y prueba de actividades de instrucción y otros aspectos del diseño. En cada ciclo, la investigadora llevó a cabo un experimento mental anticipatorio visualizando cómo las actividades de instrucción propuestas podrían realizarse en interacción en el aula, y qué podrían aprender los estudiantes al participar en ellas. Posteriormente, se analizaba el proceso real de participación y aprendizaje de los estudiantes, lo que se comprende como Trayectoria Real de Aprendizaje (TRA).

Fase 3: El Análisis Retrospectivo

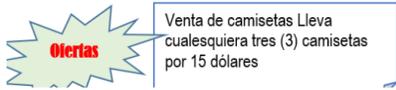
Uno de los objetivos principales de un experimento de diseño suele ser contribuir al desarrollo de una teoría de instrucción local. Esto se logra en la fase del análisis retrospectivo. Se hace una descripción de la THA sobre porcentajes durante los experimentos de enseñanza y los tres ciclos. Durante el análisis retrospectivo, la THA mostró que la atención del análisis debía centrarse en los ambientes de aprendizaje y cómo el tránsito por distintos ambientes propiciaba en el estudiante un acceso a oportunidades de aprendizaje.

Se realizaron dos tipos de análisis propios de la IBD: un análisis orientado a tareas y el otro a un enfoque longitudinal. El primer análisis resultó al comparar datos sobre el aprendizaje real de los estudiantes durante las diferentes tareas con la THA y sub trayectorias Hipotéticas de Aprendizaje. En el segundo, el enfoque, el longitudinal, se realizó una comparación entre la THA y la TRA, lográndose contrastar las conjeturas realizadas en la fase del experimento, mediante el análisis de las observaciones realizadas, a través de los videos, entrevistas, producción escrita de cada estudiante y de las anotaciones que se iban recabando en el momento mismo del experimento.

Fue así como después del ciclo 3 se estabilizaron algunos patrones del aprendizaje de cada niño en virtud de las tareas, del movimiento por los distintos ambientes, de las interacciones de calidad entre estudiante- estudiantes- profesor- estudiantes- comunidad, en torno al desarrollo del pensamiento matemático, a través de la formulación y resolución de problemas sobre porcentajes. A continuación, se presenta un análisis orientado hacia las tareas, que evidenció otro patrón generalizado en el aprendizaje que se incorporó como parte de la categoría emergente, la evaluación formativa y se pudo comprender cómo esta, ayuda al progreso de los estudiantes en su trayectoria de aprendizaje, ver tabla 1.



Tabla 1.*Matriz de análisis de datos para comparar THA y TRA*

Trayectoria Hipotética de Aprendizaje		Trayectoria Real de Aprendizaje	
Porcentajes Adaptado del Marco TRU nivel Aprendiz Tarea No. 3. Formulación de la tarea	Conjetura de cómo responderían los estudiantes	Transcripción del extracto	Coincidencia entre THA y TRA
 <p>Adriana también pagó 15 dólares por tres camisetas en la misma oferta.</p> <p>El precio de venta ahorró a Adriana el 30% del precio original de las tres camisetas. ¿Cuál es el precio total original de sus tres camisetas? Muestre sus cálculos</p>	Se conjeturó que los niños usarían las barras de porcentajes, ubicando los porcentajes en la parte superior y los montos en la parte inferior y luego presentan otras vías de solución como una ecuación, proporción etc.	El estudiante dibujó la barra de porcentajes con diez divisiones, asignándoles 10% a cada una, en la parte superior, así para la tercera división correspondía a un 15%. En la parte inferior asignó 5 dólares a cada cuadrado "cada cuadrado vale 5". Por tanto, para Guillo al ver que el 30% coincidía con 15 dol. (No se detuvo en analizar que a Adriana le habían rebajado el 30% no que iba a pagar el 30% de la compra). A partir de allí obtuvo la suma de 50 dólares para ver la ilustración.	90% la tarea se dividió en varias partes a estas se le asignaba un a (-) si no había coincidencia y un (+) si había coincidencia, o un (+ -).

Nota: Rojas (2023)

DISCUSIÓN

Los resultados permiten ver que la flexibilidad que ofrece la IBD brinda al investigador la oportunidad de escudriñar, sistematizar, comparar, comprender y mejorar artefactos e ir teorizando sobre cómo cada niño desarrolla una comprensión conceptual sobre los porcentajes y sobre cómo se logra el desarrollo del pensamiento matemático de cada estudiante. También, la IBD presenta algunos desafíos al rigor, que incluyen, los múltiples roles del investigador como fue el caso de Rojas (2023) y Stephan (2015) donde cumplía múltiples funciones.

Además, el grupo de participantes y las dificultades de aprendizaje representan un entorno complejo. Estos desafíos se manejaron a través de estrategias como el establecimiento de un diseño de investigación sólido, aportes de expertos externos, descripciones ricas y reflexividad, entre otras que han sido documentadas por (Plomp, 2013, citado en Archer, 2019).

Los procesos investigativos que sigue la IBD no ejecutan actividades en secuencia, sino que realizan ambas simultáneamente y las entrelazan en varios ciclos para alcanzar los objetivos duales (Cobb et al., 2003; Gravemeijer & Prediger, 2019; Gresalfi, 2015). En los últimos años el uso de la IBD se ha incrementado en la Educación Matemática, los campos de acción se han extendido a todos los niveles e instituciones, desde el jardín de infancia (Clements & Sarama, 2002), las escuelas primarias (Confrey & Maloney, 2015; de Beer et al., 2015), escuelas secundarias (Gresalfi, 2015; Prediger & Krägeloh, 2015; Stephan, 2015) a la universidad (Kwon et al., 2015; Rasmussen, 2001; citado por Prediger et al., 2015).

Se distinguen diferentes investigaciones que van más allá de profundizar la investigación del diseño como método, en un sentido teórico, por ejemplo, Archer (2019) ilustra la aplicación con un proyecto de investigación del diseño destinado a optimizar un sistema de retroalimentación en el contexto educativo sudafricano. Se comparte la postura de Archer (2019) frente a la investigación de diseño, en el

sentido que esta proporciona un enfoque de la investigación contextualizado y orientado a la praxis, aporta a cerrar la brecha que con frecuencia se observa entre la investigación y la práctica.

Según Archer (2019) “La investigación del diseño a menudo se asocia con una filosofía pragmática que evita la lealtad paradigmática en favor de la utilidad” (p. 333). Debe quedar claro, que la autora no defiende un enfoque a favor de “todo vale”, puesto que además documenta pautas claras de rigor y calidad, para garantizar la calidad y la progresión. En este sentido, Confrey y Maloney (2015) sostienen que la investigación en diseño tiene orientaciones tanto pragmáticas como teóricas.

Los hallazgos permiten observar que la THA actúa como una herramienta investigativa clave para disminuir la brecha entre una teoría de instrucción y la práctica de un experimento de enseñanza concreto. Se apoya en teorías generales de instrucción y en conjeturas particulares sobre el aprendizaje (Gravemeijer, 1994), proporciona a investigadores y docentes una guía sobre cómo llevar a cabo un experimento de enseñanza específico.

En la realización del experimento, la THA también orienta el análisis retrospectivo, y su interacción con los datos empíricos constituye la base para el desarrollo teórico (Gravemeijer & Cobb, 2006; Simon, 1995). Esto implica que, una vez delineado, la THA cumple funciones diferentes en cada fase de la IBD y se va refinando a lo largo de estas fases. De hecho, es posible que experimente modificaciones incluso mientras se lleva a cabo el experimento de enseñanza (Cobb et al., 2003).

En línea con los aportes de Jacobsen y McKenney (2024), resulta fundamental considerar la noción de adecuación metodológica en los estudios de IBD. Estos autores señalan que, más allá de la elección de técnicas particulares, lo crucial es garantizar la coherencia entre el tipo de preguntas que se formulan, la naturaleza de las intervenciones diseñadas y los métodos empleados para investigarlas.

En este sentido, la IBD no se limita a documentar “lo que funciona”, sino que busca producir conocimiento relevante para comprender y transformar problemas auténticos de la práctica educativa. Así, el énfasis en la adecuación metodológica fortalece la validez de los hallazgos, al tiempo que potencia su utilidad para la instrucción. En el caso de la investigación aquí presentada, la articulación entre las Trayectorias Hipotéticas de Aprendizaje, la Teoría Local de Instrucción y el diseño iterativo de las tareas matemáticas ejemplifica esta coherencia, mostrando cómo la IBD puede generar aportes teóricos robustos y, simultáneamente, incidir en la mejora de la enseñanza en contextos rurales.

En sintonía con estudios recientes Mouta et al. (2024) que aplican la Investigación Basada en Diseño en otros campos de la educación, como el de la integración ética de la Inteligencia Artificial en la formación docente (Delphi y grupos focales con formadores de maestros K-12), se observa una coincidencia metodológica y de propósito. Al igual que en el presente estudio, donde la IBD permitió articular las Trayectorias Hipotéticas de Aprendizaje con la construcción del constructo de Oportunidades de Aprendizaje de Calidad en un contexto rural, la investigación sobre IA utilizó la IBD para conectar problemas auténticos de la práctica con el diseño de soluciones viables y contextualizadas.

En ambos casos, la naturaleza iterativa y reflexiva de la metodología no solo produjo aportes teóricos, sino que también fortaleció la capacidad de los educadores para afrontar desafíos emergentes de su práctica, evidenciando que la IBD constituye un camino robusto para generar conocimiento pertinente y transformar la enseñanza en escenarios diversos y complejos.



Tal como lo destacan Guisasola et al. (2021), la IBD de secuencias de enseñanza-aprendizaje se ha consolidado como una línea emergente que permite comprender las condiciones de la enseñanza y el aprendizaje en entornos reales de aula. Este planteamiento se enlaza con el presente estudio, en el cual la IBD se aplicó para diseñar y refinar Trayectorias Hipotéticas de Aprendizaje en matemáticas, evidenciando que este enfoque no solo mejora la instrucción, sino que también genera aportes teóricos relevantes y transferibles a otros contextos educativos.

CONCLUSIÓN

El estudio en cuestión, al seguir las fases y principios de la IBD con enfoque en procesos de aprendizaje: logró diseñar y mejorar los dispositivos enseñanza aprendizaje para niños en riesgo académico, como es el caso de los estudiantes de un contexto rural colombiano, y a la vez generar contribuciones teóricas: Los Resultados que emergen de los principios de diseño aportan los elementos para la Teoría de Instrucción Local Conjeturada: Una definición operativa de las Oportunidad de Aprendizaje de Calidad (OAC) y una metodología para el diseño de estas oportunidades. Los resultados de la investigación consisten en conocimientos empíricos y contribuciones a las teorías locales sobre los procesos de aprendizaje y enseñanza de porcentajes generados a partir de un sistema de Trayectorias hipotéticas de Aprendizaje.

Este enfoque posibilita una construcción teórica anclada en la práctica educativa, lo que refuerza su aplicabilidad y pertinencia en contextos reales de enseñanza y aprendizaje de las matemáticas. Así, la IBD no solo contribuye al avance del conocimiento en Educación Matemática, sino que también ofrece un marco metodológico sólido para la conducción de investigaciones doctorales con impacto tanto en la teoría como en la práctica, integrando procesos de formulación conjeturas, refinamiento iterativo y validación empírica.

Conflictos de interés

No existen conflictos de intereses



REFERENCIAS

- Archer, E. (2019). Design research: Developing effective feedback interventions for school-based monitoring. En R. Van Niekerk & D. Blaauw (Eds.), *Transforming research methods in the social sciences* (pp. 317–336). Wits University Press.
- Bakker, A. & Van Eerde, H. A. A. (2015). An introduction to design based research with an example from statistics education. In A. Bikner-Ahsbals, C. Knipping, & N. Presmeg (Eds.), *Doing qualitative research: Methodology and methods in mathematics education* (pp. 429–466). Springer.
- Cai, J., Morris, A., Hohensee, C., Hwang, S., Robison, V., Cirillo, M., Kramer, S. L. & Hiebert, J. (2019a). Posing significant research questions. *Journal for Research in Mathematics Education*, 50(2), 114–120. <https://doi.org/10.5951/jresmetheduc.50.2.0114>
- Cai, J., Morris, A., Hohensee, C., Hwang, S., Robison, V., Cirillo, M., Kramer, S. L. & Hiebert, J. (2019b). Theoretical framing as justifying. *Journal for Research in Mathematics Education*, 50(3), 218–224.
- Cai, J., Morris, A., Hohensee, C., Hwang, S., Robison, V., Cirillo, M., Kramer, S. L. & Hiebert, J. (2019c). Choosing and justifying robust methods for educational research. *Journal for Research in Mathematics Education*, 50(4), 342–348.
- Cai, J., Morris, A., Hohensee, C., Hwang, S., Robison, V., Cirillo, M., Kramer, A. & Hiebert, J. (2019d). So what? Justifying conclusions and interpretations of data. *Journal for Research in Mathematics Education*, 50(5), 470–477.
- Cai, J., Morris, A., Hohensee, C., Hwang, S., Robison, V., Cirillo, M., Kramer, S. L., Hiebert, J. & Bakker, A. (2020). Maximizing the quality of learning opportunities for every student. *Journal for Research in Mathematics Education*, 51(1), 12–25. <https://doi.org/10.5951/jresmetheduc.2019.0005>
- Cai, J., Morris, A., Hohensee, C., Hwang, S., Robison, V., Hiebert, J. & Cai, J. (2019). *Linked references are available on JSTOR for this article: Research Pathways That Connect Research and Practice*. 50(1), 2–10.
- Camargo Uribe, L. (2022). *Estrategias de investigación cualitativa en educación matemática*. Universidad de Antioquia.
- Clements, D. H. & Sarama, J. (2007). Effects of a preschool mathematics curriculum: Summative research on the Building Blocks project. *Journal for research in Mathematics Education*, 38(2), 136–163.
- Cobb, P., Confrey, J., Disessa, A., Lehrer, R. & Schauble, L. (2003). Design Experiments in Educational Research. *Educational Researcher*, 32(1), 9–13. <https://doi.org/10.3102/0013189X032001009>
- Confrey, J. & Maloney, A. (2015). A design research study of a curriculum and diagnostic assessment system for a learning trajectory on equipartitioning. *ZDM*, 47, 919–932.
- Creswell, J. W. & Poth, C. N. (2016). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches*. Sage publications.
- De Beer, H. T. (2016). *Exploring instantaneous speed in grade five: a design research*. Eindhoven University of Technology.
- Godino, J. D., Batanero, C., Contreras, Á., Estepa, A. & Wilhelmi, M. R. (2013). La ingeniería didáctica como investigación basada en el diseño. *Cerme*, 8, 1–15.
- Gravemeijer, K. & Prediger, S. (2019). Topic-Specific Design Research: An Introduction.



In: Kaiser, G., Presmeg, N. (eds) *Compendium for Early Career Researchers in Mathematics Education*. (pp. 33-57). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15636-7_2

Gravemeijer, K. (1994). *Developing realistic mathematics education*. Utrecht: CD-β Press.

Gravemeijer, K., & Cobb, P. (2006). Design research from a learning design perspective. En J. van den Akker, K. Gravemeijer, S. McKenney & N. Nieveen (Eds.), *Educational design research* (pp. 17-51). Routledge.

Gresalfi, M. S. (2015). Designing to support critical engagement with statistics. *ZDM - Mathematics Education*, 47(6), 933-946. <https://doi.org/10.1007/s11858-015-0690-7>

Guisasola, J., Ametller, J. & Zuza, K. (2021) Investigación basada en el diseño de Secuencias de Enseñanza-Aprendizaje: una línea de investigación emergente en Enseñanza de las Ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 18(1), 1801. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.il.1801

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. Sexta Edición. Editorial Mc Graw Hill.

Jacobsen, M. & McKenney, S. (2024). Educational design research: grappling with methodological fit. *Education Technology Research and Development*, 72, 2743-2762. <https://doi.org/10.1007/s11423-023-10282-5>

Molina, M. (2021). Investigación de diseño educativa: un marco metodológico en evolución. En Diago, P. D., Yáñez D. F., González-Astudillo, M. T. y Carrillo, D. (Eds.), *Investigación en Educación Matemática XXIV* (pp. 83 - 97). SEIEM. <https://www.seiem.es/docs/actas/24/Seminarios/083.pdf>

Molina, M., Castro, E., Molina, J. L. & Castro, E. (2011). Un acercamiento a la investigación de diseño a través de los experimentos de enseñanza. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 29(1), 75-88. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/243824/353427>

Mouta, A., Torrecilla-Sánchez, E. M. & Pinto-Llorente, A. M. (2024). Comprehensive professional learning for teacher agency in addressing ethical challenges of AIED: Insights from educational design research. *Education and Information Technologies*, 30(3), 3343-3387. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12946-y>

National Research Council. (2001). *Knowing what students know: The science and design of educational assessment*. National Academies Press.

Prediger, S. & Krägeloh, N. (2015). Low achieving eighth graders learn to crack word problems: A design research project for aligning a strategic scaffolding tool to students' mental processes. *ZDM - The International Journal on Mathematics Education*, 47(6), 947-962. <https://doi.org/10.1007/s11858-015-0702-7>

Prediger, S. (2019). Theorizing in design research: Methodological reflections on developing and connecting theory elements for language-responsive mathematics classrooms. *Avances de Investigación En Educación Matemática*, 15, 5-27. <https://doi.org/10.35763/aiem.v0i15.265>

Prediger, S., Gravemeijer, K. & Confrey, J. (2015). Design research with a focus on learning processes: An overview on achievements and challenges. *ZDM - The International Journal on Mathematics Education*, 47, 877-891.

Rojas, S. (2023). *Hacia la generación de oportunidades de aprendizaje de calidad para cada estudiante en la clase de matemáticas en contextos rurales* [Tesis doctoral, Universidad Antonio Nariño]. Repositorio institucional.



<http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/8392>

Simon, M. A. (1995). Reconstructing mathematics pedagogy from a constructivist perspective. *Journal for research in mathematics education*, 26(2), 114-145.

Stephan, M. L. (2015). Conducting classroom design research with teachers. *ZDM - Mathematics Education*, 47(6), 905-917. <https://doi.org/10.1007/s11858-014-0651-6>

