

Herramientas digitales para facilitar el aprendizaje de la factorización algebraica: revisión de alcance

Digital tools to facilitate the learning of algebraic factorization: a scoping review

María del Pilar Ortega Cervantes¹

•Recibido: 25/10/2025
•Aceptado: 09/12/2025
•Publicado: 15/12/2025

Resumen

El objetivo de esta revisión de alcance fue mapear la literatura reciente sobre el uso de herramientas digitales en la enseñanza-aprendizaje de la factorización algebraica, identificar los obstáculos que se reportan y estrategias digitales utilizadas para abordarlos. Siguiendo la lista de cotejo PRISMA-ScR, se buscaron estudios de revisión por pares publicados entre enero de 2020 y octubre de 2025 en cinco bases de datos: Web of Science, Scopus, ERIC, SciELO y Redalyc. Se encontró que el reto principal es la dificultad para desarrollar el sentido estructural y superar la transición del pensamiento aritmético al algebraico. Las intervenciones digitales documentadas incluyen software de geometría dinámica (GeoGebra) para la visualización, plataformas de *Flip Learning* (EdPuzzle) y sistemas personalizados (SPOLS). Se concluye que el éxito de las herramientas reside en su diseño didáctico conceptual que promueve la visualización y la naturaleza inversa de la factorización, si bien su efectividad está limitada por la barrera del lenguaje algebraico previo que impide su uso óptimo. Hay escasez de evidencia (n=10) en las bases consolidadas de alto rigor, por lo que la agenda futura debe enfocarse en la investigación del impacto a largo plazo y el diseño de estrategias que aborden la deficiencia estructural de base en el profesorado y el estudiantado.

Palabras clave


Educación matemática, Enseñanza-aprendizaje, Dificultades en polinomios, Innovación pedagógica, Software educativo

Abstract

The objective of this scoping review was to survey recent literature on the use of digital tools in the teaching-learning of algebraic factorization, identify the reported obstacles, and analyze the digital strategies used to address them. Following the PRISMA-ScR checklist, peer-reviewed studies published between January 2020 and October 2025 were searched in five databases: Web of Science, Scopus, ERIC, SciELO, and Redalyc. The main challenge identified is the difficulty in developing structural sense and overcoming the transition from arithmetic to algebraic thinking. Documented digital interventions include dynamic geometry software (GeoGebra) for visualization, Flip Learning platforms (EdPuzzle), and personalized systems (SPOLS). It is concluded that the success of the tools lies in their conceptual didactic design, which promotes visualization and the inverse nature of factorization, although their effectiveness is limited by the barrier of prior algebraic language, which prevents their optimal use. There is a scarcity of high-rigor evidence (n=10) in the consolidated databases. Therefore, the future agenda should focus on investigating the long-term impact and the design of strategies that address the underlying structural deficiency in the faculty and student body.

Keywords

Difficulties in polynomials, Educational software, Mathematics education, Pedagogical innovation, Teaching-learning

¹ PrepaTec, Tecnológico de Monterrey, Campus Chiapas
Carretera a Tapanatepec Kilómetro 149 + 746 Colonia Juan Crispín, 29020 Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
piliortegacervantes@gmail.com
 <https://orcid.org/0009-0006-5459-3990>

Introducción

La factorización algebraica constituye un contenido central en la educación media y media superior por su papel en la manipulación de expresiones, la resolución de ecuaciones y la comprensión de funciones (Usiskin, 2012; Kieran, 2007). La literatura sobre este tema ha documentado de manera consistente que el aprendizaje del álgebra enfrenta dificultades persistentes. Desde los trabajos clásicos de Filloy y Rojano (1989), Kieran (1992) y Radford (2014), se han analizado los obstáculos epistemológicos, cognitivos y semióticos que encuentran los estudiantes al pasar del razonamiento aritmético al razonamiento algebraico. Estudios más recientes confirman que estos retos persisten (Booth *et al.*, 2015).

En paralelo, en las últimas dos décadas se ha dado una expansión notable de herramientas digitales orientadas a apoyar el aprendizaje del álgebra. Entre ellas destacan el software matemático dinámico—como GeoGebra o Desmos—que permite explorar relaciones y transformaciones simbólicas mediante manipulación directa (Hidayat *et al.*, 2024; Chechan *et al.*, 2023); las aplicaciones móviles educativas enfocadas en prácticas algebraicas básicas y resolución guiada (Rodríguez-Cubillo *et al.*, 2021); los entornos de visualización y los sistemas de álgebra computacional (CAS), que facilitan la interpretación de equivalencias y estructuras simbólicas (Pierce & Stacey, 2010; Clark-Wilson *et al.*, 2020) y las plataformas interactivas en línea que integran ejercicios, retroalimentación inmediata y tareas manipulativas digitales (Looi & Lim, 2009; Cevikbas & Kaiser, 2021; Alberto *et al.*, 2022). La literatura reporta que estas tecnologías pueden favorecer la experimentación, la visualización de estructuras y el razonamiento algebraico, aportando oportunidades de aprendizaje que superan a las que ofrece el papel y lápiz.

A pesar de este crecimiento, la evidencia disponible sobre el uso de herramientas digitales específicamente para la factorización algebraica permanece dispersa en estudios de caso e intervenciones aisladas. La ausencia de una síntesis reciente limita la comprensión de qué dificultades han sido atendidas, qué recursos tecnológicos se han empleado y qué resultados se han reportado. En este contexto, resulta pertinente realizar una revisión de alcance que permita analizar la literatura para identificar tendencias y vacíos. El objetivo de esta revisión de alcance fue mapear la literatura reciente sobre el uso de herramientas digitales (apps, software, plataformas y recursos tecnológicos) en la enseñanza y aprendizaje de la factorización algebraica, identificando los obstáculos que se reportan y las estrategias digitales que se han utilizado para abordarlos.

Metodología

Siguiendo los lineamientos de revisión de alcance PRISMA ScR (PRISMA, 2018), a continuación se desglosa cada elemento.

Población-Concepto-Concepto (PCC)

La población (P) fue estudiantes de secundaria, nivel medio superior y nivel superior, así como docentes de matemáticas; el concepto (C), dificultades u obstáculos en el aprendizaje de la factorización algebraica y estrategias didácticas basadas en herramientas digitales para abordarlas; el contexto (C), investigaciones empíricas o experiencias educativas formales publicadas entre 2020 y 2025, en inglés o español.

Las preguntas de investigación que se abordaron fueron:

¿Qué dificultades o necesidades se reportan en la literatura reciente respecto al aprendizaje de la factorización algebraica?

¿Qué herramientas digitales se han utilizado para apoyar la enseñanza y el aprendizaje de la factorización algebraica en los distintos niveles educativos?

¿Qué resultados o efectos se han documentado sobre el uso de estas herramientas en términos de comprensión, desempeño o motivación de los estudiantes?

Protocolo y registro

El protocolo de esta revisión fue registrado en la plataforma Figshare bajo el DOI: 10.6084/m9.figshare.30605147

Criterios de elegibilidad

Se incluyeron estudios con revisión por pares escritos en inglés o español, publicados entre enero de 2020 y octubre de 2025. Esta restricción temporal (enero de 2020 a octubre de 2025) se adoptó dada la rápida obsolescencia y constante evolución de las herramientas digitales. Los estudios anteriores a este periodo, aunque valiosos, pueden referirse a software o plataformas cuya disponibilidad, diseño, o aceptación por parte de los estudiantes (factor clave en entornos de aprendizaje digital) ya no es relevante o se ha modificado significativamente. Por lo tanto, el criterio temporal busca garantizar que la evidencia recopilada refleje el uso actual y de vanguardia en la enseñanza de la factorización algebraica.

Fueron incluidos los trabajos que cumplieron con al menos uno de los siguientes criterios:

- Abordar explícitamente la factorización algebraica en cualquier nivel educativo.
- Incorporar herramientas digitales (software dinámico, aplicaciones móviles, plataformas interactivas, juegos digitales, CAS u otros) en procesos de enseñanza o aprendizaje relacionados con la factorización.
- Analizar dificultades, errores, procesos cognitivos o prácticas docentes vinculadas con la factorización y susceptibles de ser apoyadas mediante tecnología educativa.

Se excluyeron los documentos que:

- No trataban contenidos algebraicos relacionados con la factorización.
- Describían propuestas tecnológicas sin relación con el álgebra.
- Correspondían a tesis, resúmenes, pósteres, capítulos de libro, editoriales, revisiones no sistemáticas o literatura gris.
- No presentaban acceso verificable al texto completo.

En lo referente al inciso c (exclusión de literatura gris) e inclusión únicamente de artículos originales publicados en revistas con revisión por pares (peer-reviewed), esta decisión metodológica fue tomada para priorizar la calidad, el rigor científico y la validación formal de los hallazgos. En el inciso d (exclusión de estudios con pago), la búsqueda se restringió a literatura de Acceso Abierto (Open Access) disponible en las bases de datos seleccionadas. Esta elección metodológica se alinea con los principios de Ciencia Abierta y busca la accesibilidad total de los hallazgos. Esto es fundamental, ya que en la mayoría de las instituciones de enseñanza media no se cuenta con acceso a las bases de datos institucionales o suscripciones necesarias para descargar artículos. De esta forma se facilita la consulta directa y la aplicación de la evidencia en el entorno educativo.

Fuentes de información

Las búsquedas se realizaron en cinco bases de datos: Web of Science Core Collection, Scopus, ERIC, SciELO y Redalyc. Estas fuentes se seleccionaron por su cobertura en educación, matemática educativa y producción iberoamericana. La búsqueda se efectuó en el periodo comprendido entre septiembre y octubre de 2025; la fecha de búsqueda más reciente fue el 8 de octubre de 2025. No se realizó contacto adicional con autores ni búsqueda manual exhaustiva, dado el carácter exploratorio de la revisión.

Aunque Scopus y Web of Science requieren acceso institucional para su consulta, todos los artículos finalmente incluidos en la revisión fueron seleccionados únicamente si se contaba con acceso completo al texto de forma pública en línea. De esta forma se garantiza el acceso a los lectores a los artículos completos.

Estrategia de búsqueda

La estrategia de búsqueda se adaptó a las características operativas de cada base de datos. Todas las cadenas de búsqueda utilizadas, incluyendo operadores booleanos y términos de búsqueda, se presentan en la **Tabla 1**. En Scopus, la estrategia se estructuró mediante siete combinaciones de operadores diseñadas para recuperar estudios relacionados con álgebra, factorización y tecnología digital. En Web of Science Core Collection, ERIC y Redalyc, se emplearon cuatro combinaciones principales basadas en la misma lógica conceptual. En SciELO y Redalyc se formularon cadenas en español ajustadas a las funcionalidades disponibles en sus motores de búsqueda.

Tabla 1. Estrategias de búsqueda empleadas para identificar estudios sobre factorización algebraica y tecnologías digitales en cinco bases de datos (2020–2025)

Base de datos	Cadena de búsqueda
Scopus	algebra AND factor AND (digital OR technology OR app)(polynomial AND factoring) AND (digital OR app OR technology
	(factoring AND algebra) AND (digital OR app)
	(factoring) AND (learning)
	"algebra tiles" AND factoring
	error AND algebra AND factoring
	factoring AND learning
Web of Science Core Collection	(factoriz* OR factoring) AND (app OR game OR "digital tool" OR GeoGebra OR e-learning)
	algebra AND factorization AND (technology OR digital) polynomial factorization AND learning AND (digital OR software OR GeoGebra)
ERIC	algebra AND (error analysis OR student errors) AND factoring (factorization OR polynomial expressions) AND (educational technology OR digital tools)
	algebra AND factorization AND "mathematics education"
	polynomial expressions AND (instruction OR learning) AND technology
	factorization AND ("technology integration" OR "digital tools")
SciELO	algebra AND (error OR misconceptions) AND secondary
	factorización AND álgebra
	factorización AND tecnología educativa
Redalyc	algebra AND herramientas digitales
	factorización OR "factorización algebraica"
	álgebra AND tecnología
	herramientas digitales AND álgebra
	factoring AND learning

Fuente: elaboración propia

Selección de las fuentes de evidencia

Al realizar cada búsqueda, los registros datos de los recuperados se vaciaron a una hoja de cálculo. Para depurar el conjunto de archivos se procedió a identificar y eliminar trabajos duplicados dentro de cada base y entre bases. Lo anterior permitió obtener un listado consolidado de estudios potencialmente elegibles (EPE).

Cribado

Los EPE se evaluaron inicialmente mediante la lectura de títulos y resúmenes, aplicando los criterios de inclusión previamente establecidos. En esta etapa se descartaron los registros que utilizaban el término “factorización” en sentidos no algebraicos (por ejemplo, análisis factorial), aquellos centrados en contenidos matemáticos no relacionados con la factorización, y los que describían tecnologías educativas sin vínculo con la enseñanza de factorización. De esta forma se obtuvo una lista de estudios seleccionados por cribado (ESC).

Elegibilidad

Los ESC se sometieron a una lectura detallada del resumen para confirmar su adecuación a los criterios temáticos y metodológicos. Solo se consideraron elegibles los estudios que abordaban explícitamente la factorización algebraica, incorporaban herramientas digitales pertinentes o analizaban dificultades asociadas a su aprendizaje. A partir de ello, únicamente se incluyeron los artículos cuyo contenido completo estaba a disponibilidad pública. De esta forma se obtuvieron las fuentes de evidencia (FDE).

Proceso de extracción de datos

Para la extracción y registro de datos de las FDE, se elaboró una matriz de registro en una hoja de cálculo en la que se registraron de manera uniforme los siguientes datos: información bibliográfica, características metodológicas y elementos vinculados con el objeto de estudio. La extracción fue realizada de forma manual. No se requirió contactar a autores originales.

Elementos de datos

Durante la lectura del texto completo de cada FDE se recopilaban las siguientes variables basadas en el enfoque PCC:

1. Características del estudio - autoría, año de publicación, país o región de realización, nivel educativo
2. Participantes - número, tipo
3. Herramienta digital utilizada - app, software, plataforma interactiva
4. Tema específico - factorización numérica, de polinomios, estrategias de descomposición
5. Tipo de estudio/ metodología – cualitativa, cuantitativa, mixta
6. Enfoque – didáctico, cognitivo
7. Dificultades reportadas - errores, sobrecarga cognitiva, confusión entre aritmética y álgebra, problemas de simbolización
8. Resultados - comprensión, desempeño, motivación, percepción docente

Evaluación crítica de las fuentes

No se realizó una evaluación crítica formal del riesgo de sesgo ya que la finalidad del trabajo fue buscar información disponible sobre el tema y no evaluar comparativamente la calidad de los estudios.

Síntesis de los resultados

La síntesis de la información se llevó a cabo mediante categorías temáticas. Los datos extraídos de la matriz se organizaron en función de los objetivos de la revisión: factorización algebraica, dificultades asociadas a su enseñanza y uso de herramientas digitales. No se realizó metaanálisis ni síntesis cuantitativa, dado que la revisión incluye enfoques tanto cualitativos como cuantitativos.

Resultados y discusión

Selección de las fuentes de evidencia

Durante la etapa de identificación se recuperaron 104,609 registros iniciales (**Figura 1**) en las cinco bases de datos utilizadas. Después del proceso de filtración, cribado y elegibilidad se incluyeron 10 estudios para la etapa de análisis y síntesis. El desglose detallado para cada base consultada se presenta a continuación:

Web of Science (WoS)

Se identificaron 103,268 registros sin restricción previa. Tras aplicar los filtros de año (2020–2025), tipo de documento e idioma, el conjunto se redujo a 260 registros. Durante el cribado de títulos y resúmenes, 13 estudios mostraron pertinencia temática. Luego de eliminar duplicados y artículos sin disponibilidad pública en línea, avanzaron a la etapa de elegibilidad un total de cinco estudios (Andini y Prabawanto, 2020; Ingkavara *et al.*, 2023; Jimenez *et al.*, 2021; Pinto y Ruíz, 2025; Yamamoto *et al.*, 2020).

Scopus

En Scopus la búsqueda se estructuró desde el inicio con filtros (año 2020–2025, artículos revisados por pares e inclusión de términos específicos), lo que produjo 53 registros filtrados. Tras el cribado de títulos y resúmenes, 15 artículos se consideraron potencialmente relevantes. Luego de depurar duplicados, quedaron 10 estudios únicos para la revisión de texto completo. De ellos, únicamente tres artículos (Bolaños-Barquero y Alvarado, 2021; Bolaños-Barquero *et al.*, 2023; Hu *et al.*, 2022) estaban disponibles en acceso completo, por lo que fueron incluidos en el conjunto final.

ERIC

Se identificaron cinco registros antes de aplicar filtros. Tras aplicar el criterio temporal (2020–2025), cuatro artículos fueron descartados. El registro restante presentaba un desfase entre año de indexación (2020) y año real de publicación (2019), por lo que también fue excluido. Ningún estudio avanzó a la elegibilidad.

SciELO

Se identificaron cuatro registros; dos fueron excluidos durante el filtrado inicial y uno adicional durante el cribado por no relacionarse con la factorización algebraica. El estudio restante (Gómez Segura, 2022) avanzó a la etapa de elegibilidad.

Redalyc

En Redalyc se identificaron 1,279 registros mediante una búsqueda sin filtros. Tras aplicar los criterios de selección (2020–2025, área educativa/matemáticas, idioma y tipo de documento), el conjunto se redujo a 82 registros. Durante el cribado se descartaron 80. De los dos estudios restantes, uno fue excluido por no relacionarse con la factorización algebraica y el otro (Ávalos y Pereira, 2020) fue integrado al conjunto final.

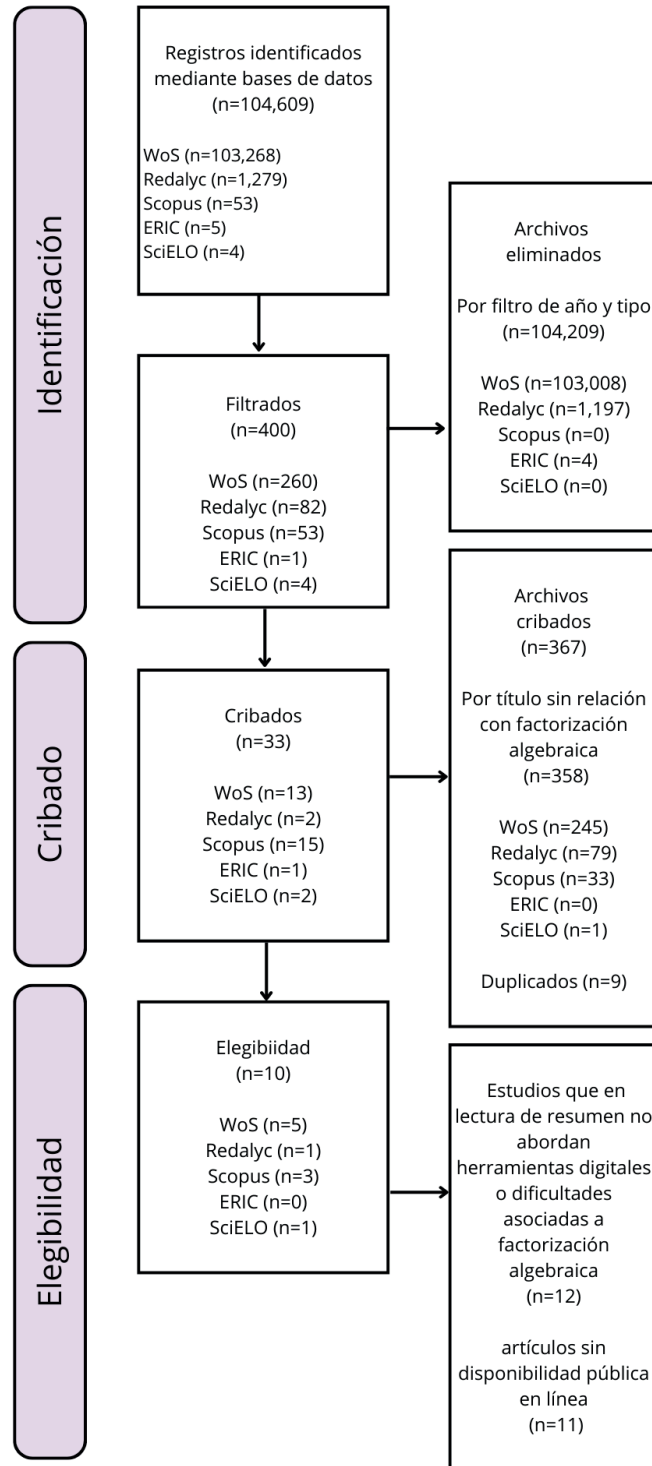


Figura 1. Diagrama PRISMA-ScR que muestra el proceso de identificación, filtrado, cribado y elegibilidad de los estudios incluidos

Fuente: elaboración propia

Tabla 2. Características de las fuentes de evidencia incluidas (n=10) y revisión de conceptos clave: Retos de Enseñanza-Aprendizaje (E/A) y Soluciones digitales (SD)

Artículo	Autores, Año y Cita	Propósito del Estudio y Diseño	PCC	Conceptos Retos de E/A o SD
A1	Bolaños-Barquero <i>et al.</i> (2023)	Profundizar en el sentido estructural manifestado por docentes en pre-servicio al resolver tareas sobre factorización de polinomios. Diseño: Estudio instrumental de casos.	Población: 20 docentes en pre-servicio. Concepto: Sentido estructural, Factorización. Contexto: Formación inicial del profesorado, Costa Rica.	Reto de E/A (Docente): Debilidades en el sentido estructural de los docentes al manipular estructuras, limitando su capacidad para enseñar conceptualmente la factorización.
A2	Bolaños-Barquero y Segovia (2021)	Analizar, desde el sentido estructural, las respuestas de estudiantes de primer ingreso universitario a preguntas que requieren factorización. Diseño: Cualitativa, descriptiva y exploratoria.	Población: Estudiantes de primer ingreso universitario. Concepto: Sentido estructural, Factorización. Contexto: Nivel universitario, Costa Rica.	Reto de E/A: Dificultades de los estudiantes en el reconocimiento de estructuras complejas y la aplicación de métodos de factorización más allá del factor común. SD: Fomento del pensamiento relacional y la mejora en el sentido estructural (reconocimiento de patrones y estructuras algebraicas compuestas), esenciales para la comprensión profunda del álgebra
A3	Hu <i>et al.</i> (2021)	Investigar el análisis y las respuestas de profesores de secundaria a los errores de los estudiantes al resolver una ecuación cuadrática mediante la factorización. Diseño: Estudio basado en un escenario de enseñanza.	Población: 40 profesores de secundaria. Concepto: Errores de estudiantes, Factorización de ecuaciones cuadráticas. Contexto: Secundaria.	Reto de E/A: Errores conceptuales de los estudiantes. Reto Docente: La brecha entre la identificación de errores y la respuesta pedagógica ofrecida por los profesores.
A4	Andini y Prabawanto (2021)	Revisión sistemática de la literatura sobre el pensamiento relacional (<i>relational thinking</i>) en el aprendizaje temprano del álgebra. Diseño: Revisión Sistemática de la literatura.	Población: Estudiantes de grados tempranos. Concepto: Pensamiento Relacional, Álgebra Temprana. Contexto: General.	Reto de E/A: Las dificultades en el aprendizaje temprano del álgebra están vinculadas a deficiencias en el desarrollo del pensamiento relacional. SD: Estudio de revisión conceptual, reconocimiento de patrones y estructuras algebraicas compuestas, esenciales para la comprensión profunda del álgebra
A5	Avalos Monterrey <i>et al.</i> (2020)	Demostrar la influencia de aplicar la Plataforma <i>Schoology</i> en el aprendizaje de la matemática en estudiantes de secundaria. Diseño: Cuantitativo (Experimental).	Población: Estudiantes secundarios. Concepto: Plataformas virtuales (<i>Schoology</i>). Contexto: Aprendizaje de la matemática.	SD: La Plataforma <i>Schoology</i> mejora significativamente el aprendizaje de la matemática en general. Reto de E/A: El estudio no especifica un reto de factorización, pero ofrece una solución digital general.

Artículo	Autores, Año y Cita	Propósito del Estudio y Diseño	PCC	Conceptos Retos de E/A o SD
A6	Gómez Segura (2022)	Resignificar las operaciones de productos notables y factorización con procedimientos geométricos. Diseño: Estudio de caso (Aplicación de estrategia didáctica).	Población: Estudiantes de tercer grado de telesecundaria. Concepto: Productos notables y factorización. Contexto: Telesecundaria, México.	Reto de E/A: Los estudiantes no ven las operaciones de productos notables y factorización como inversas. Estrategia/Solución: Uso de procedimientos para construir las reglas y lograr la transición conceptual en la visualización geométrica de los polinomios y la comprensión de la factorización como operación inversa de los productos notables.
A7	Jiménez <i>et al.</i> (2021)	Evaluar el uso de la aplicación <i>EdPuzzle</i> bajo la metodología <i>Flip Learning</i> para el aprendizaje de la factorización polinómica. Diseño: Estudio con enfoque cuasi-experimental.	Población: Estudiantes de tercer año de Educación Secundaria. Concepto: Factorización polinómica. Contexto: Escuela en España.	Reto de E/A: Baja motivación e interés por las matemáticas. Solución Digital: El uso de <i>EdPuzzle</i> con <i>Flip Learning</i> mejoró significativamente en pruebas post-intervención las calificaciones en los exámenes de factorización y la motivación de los estudiantes.
A8	Muñoz Pinto y Guillén Ruíz (2025)	Evaluar la implementación de un laboratorio de matemáticas como estrategia para fortalecer el aprendizaje de la factorización de polinomios. Diseño: Estudio descriptivo.	Población: Estudiantes de secundaria. Concepto: Factorización de polinomios, Laboratorio de matemáticas. Contexto: República Dominicana.	SD: Éxito en la promoción de la visualización geométrica de los polinomios y la comprensión de la factorización como operación inversa de los productos notables en el software <i>GeoGebra</i> . Reto de E/A: Necesidad de fortalecer el aprendizaje de la factorización en la secundaria.
A9	Ingvavara <i>et al.</i> (2023)	Investigar el impacto de un sistema de aprendizaje en línea personalizado basado en la autorregulación (SPOLS) para el aprendizaje de la factorización. Diseño: Cuantitativo (Pre- y post-test con grupo único).	Población: 72 estudiantes de octavo grado. Concepto: Factorización, Aprendizaje en línea personalizado. Contexto: Tailandia.	SD: El uso de SPOLS (Sistema de Aprendizaje en Línea Personalizado) llevó a un aumento estadísticamente significativo en prueba post-intervención en el rendimiento de los estudiantes en la factorización numérica.
A10	Yamamoto <i>et al.</i> (2020)	Proponer el aprendizaje por planteamiento de problemas como construcción de kits para la comprensión estructural de la factorización de polinomios. Diseño: Propuesta metodológica y estudio de caso.	Población: Estudiantes de secundaria. Concepto: Factorización de polinomios, Comprensión estructural, Planteamiento de problemas. Contexto: General.	Reto de E/A: Es crucial comprender la expresión polinómica como una estructura. Solución Digital/Estrategia: Logro de comprensión estructural y reconocimiento de la naturaleza inversa de la factorización al obligar a los estudiantes a formular problemas factorizables (metodología Kit-Building)

PCC: Población, Concepto y Contexto

Fuente: elaboración propia

Resultados de las fuentes individuales

Los resultados extraídos de las 10 fuentes incluidas se presentan a continuación, con un enfoque en los retos de enseñanza/aprendizaje (E/A) de la factorización algebraica y las herramientas digitales propuestas para abordar dichos retos:

Dificultades de aprendizaje: la transición crítica del pensamiento

La literatura revisada y la experiencia docente coinciden en que la persistencia de las dificultades en la factorización va más allá de un fallo en la memorización de procedimientos; se sitúan en una crisis de comprensión estructural y en la transición del pensamiento aritmético al algebraico (Andini & Prabawanto, 2021). El reto principal, documentado por la evidencia, es la dificultad de los estudiantes para interpretar las expresiones algebraicas no como una serie de operaciones, sino como una estructura (Yamamoto *et al.*, 2020). Esta falla en el sentido estructural (Bolaños-Barquero & Segovia, 2021) se manifiesta en la incapacidad de los alumnos para reconocer que la factorización es la operación inversa de los productos notables (Gómez Segura, 2022) o al enfrentar problemas que involucran el paso del lenguaje natural al lenguaje algebraico, donde conceptos como el valor de una variable se vuelven confusos (Hu *et al.*, 2021).

Estos problemas subsisten porque, como se observa en el aula, no son inherentes al desarrollo cognitivo del adolescente, sino que tienen su origen en deficiencias de aprendizajes previos o en una enseñanza inicial que privilegia la memorización mecánica sobre el razonamiento relacional. Hay alumnos que no pueden multiplicar sin calculadora. En el contexto actual post-pandemia, esta brecha se ha agudizado, exacerbada por la tendencia a utilizar herramientas de inteligencia artificial para simular el llenado de ejercicios sin lograr la comprensión fundamental. Lo anterior sugiere que, para que las herramientas digitales sean efectivas, las estrategias de enseñanza asociadas deben ser rigurosamente diseñadas para remediar la deficiencia estructural de base y evitar el enfoque puramente mecánico.

Sin embargo, a nivel docente, se identifican debilidades en el sentido estructural de los profesores en formación (Bolaños-Barquero *et al.*, 2023) y una brecha en cómo los profesores abordan los errores conceptuales de los estudiantes (Hu *et al.*, 2021).

Soluciones y herramientas digitales

- Características de las herramientas digitales para la intervención conceptual

El éxito de las herramientas digitales documentadas en la literatura no radica únicamente en su atraktividad o bajo costo (aunque son factores importantes de aplicabilidad), sino en su diseño metodológico que permite el desarrollo del pensamiento relacional. Los estudios confirman que las intervenciones exitosas comparten una característica esencial: promueven una visión conceptual y estructural del álgebra, en lugar de ser meros asistentes procedimentales. Por ejemplo, el uso de software de Geometría Dinámica (GeoGebra) es efectivo porque su principal ventaja es la visualización geométrica (Muñoz Pinto & Guillén Ruíz, 2025; Gómez Segura, 2022), que permite a los estudiantes comprender por qué una expresión algebraica se “factoriza” o se “expande” de cierta manera, convirtiendo el concepto en una estructura observable.

No obstante, la evidencia práctica en el aula revela una limitación crítica: el estudiante que carece de la comprensión del lenguaje algebraico, es decir, el que ve la expresión pero no ve los términos, suele tener dificultades al tratar de trasladar dichos términos al entorno digital de GeoGebra. Esto dificulta la manipulación deseada de la expresión. Por lo tanto, GeoGebra funciona de manera óptima solo como una herramienta de apoyo conceptual una vez que el estudiante ha superado la barrera inicial del lenguaje y la estructura básica.

De manera similar, los sistemas de Aprendizaje Personalizado (SPOLS) demuestran su éxito al permitir la autorregulación y la personalización de materiales (Ingkavara *et al.*, 2023), lo cual se traduce en un rendimiento significativamente mejorado en las pruebas post-intervención. Otras metodologías, como el Aprendizaje mediante la Formulación de Problemas (Problem-Posing) bajo la técnica Kit-Building, ayudan al estudiante a entender la estructura inversa para crear un problema factorizable (Yamamoto *et al.*, 2020). Esta es una ventaja clave de diseño: alejar al alumno de la resolución algorítmica y enfocarlo en la comprensión profunda de la estructura.

- Evaluación de la efectividad y la agenda de investigación
Respecto a la medición del éxito, nuestra revisión encontró que si bien la literatura es escasa ($n=10$), los estudios que reportan datos de impacto utilizan principalmente mediciones de rendimiento mediante pruebas pre- y post-intervención o la comparación de calificaciones. Por ejemplo, la intervención con *EdPuzzle* para la factorización polinómica reportó una mejora en las calificaciones promedio de los exámenes (Jiménez *et al.*, 2021), y el uso del sistema SPOLS mostró un incremento estadísticamente significativo en el logro de los estudiantes (Ingkavara *et al.*, 2023).
Sin embargo, la principal limitación de la evidencia actual radica en la falta de métricas a largo plazo y la carencia de datos que midan el impacto cualitativo en la retención del conocimiento o el desarrollo del sentido estructural. Finalmente, en lo referente a replicabilidad de los resultados (entendida como la transferencia del éxito a otros contextos), los estudios demuestran que la clave no reside en la marca comercial de la herramienta o la plataforma específica, sino en la metodología didáctica implementada. La replicabilidad se facilita mediante dos vías principales: el uso de software de acceso libre y fácilmente accesible, como GeoGebra y la documentación clara del diseño didáctico subyacente (p. ej., el uso de *Flip Learning* con *EdPuzzle* o la metodología *Kit-Building*). De esta manera, replicar implicaría la transferencia de la estrategia didáctica conceptual (que promueve la visualización y la comprensión estructural) a cualquier entorno digital accesible.

Conclusiones

La presente revisión de alcance ScR (Scoping Review) ha logrado su objetivo de mapear la literatura reciente (2020-2025) sobre las herramientas digitales y las estrategias asociadas para abordar la factorización algebraica, confirmando la persistencia de desafíos de aprendizaje y, simultáneamente, ofreciendo un marco conceptual para la intervención efectiva.

Partiendo de la experiencia docente en el aula, el principal hallazgo de esta revisión es que la dificultad en la factorización no es un fallo de procedimiento, sino una crisis en el desarrollo del sentido estructural y en la transición del pensamiento aritmético al algebraico. La persistencia de estos problemas se debe a deficiencias en aprendizajes previos y a la falta de herramientas cognitivas para interpretar las expresiones como estructuras relacionales (como la operación inversa de los productos notables), y no como una serie de pasos algorítmicos.

El posible abordaje reside en el diseño didáctico de la intervención, más que en la tecnología específica utilizada. Las herramientas digitales exitosas son aquellas cuyo diseño metodológico refuerza en el estudiante el enfocarse en la comprensión conceptual (como GeoGebra) y las que utilizan metodologías que exigen el pensamiento inverso y la autorregulación (ej. *Kit-Building* o sistemas de aprendizaje personalizado), para centrarse en la comprensión profunda y alejando al estudiante de la simulación de respuestas, como puede ocurrir con el uso de Inteligencia Artificial.

Implicaciones prácticas y recomendaciones para el profesorado

Con base en estos hallazgos, la revisión ofrece las siguientes recomendaciones prácticas para los docentes, buscando maximizar la utilidad y replicabilidad de las estrategias efectivas:

- Diagnóstico estructural previo: Antes de implementar cualquier herramienta digital, es indispensable diagnosticar y atender la brecha en el lenguaje algebraico y la falta de bases previas que impiden al estudiante interactuar con software potente.
- Foco conceptual y no mecánico: Las actividades digitales deben ser diseñadas para que la factorización se comprenda como la operación inversa del producto notable. Se debe favorecer el software que fomente el pensamiento relacional sobre las herramientas que solo validan respuestas.
- Prioridad al acceso abierto: Se recomienda el uso de herramientas de acceso abierto y la adopción de estrategias didácticas bien documentadas (como el *Flip Learning* o *Kit-Building*), garantizando que tanto la herramienta como la evidencia de soporte sean accesibles para el profesorado que no cuenta con bases de datos institucionales.

Limitaciones y agenda futura

Si bien la revisión de alcance proporciona un mapa claro de la evidencia disponible, la principal limitación es la escasez de estudios de alto rigor ($n=10$) en las bases de datos académicas consolidadas, lo que sugiere una brecha entre la innovación en el aula y la investigación publicada. Por lo tanto, se sugiere que la agenda de investigación futura debe enfocarse en:

1. La realización de estudios que midan el impacto a largo plazo y la retención del conocimiento estructural.
2. La investigación y el diseño de herramientas digitales que aborden de manera específica la barrera del lenguaje algebraico que se ha identificado como un obstáculo crítico para la manipulación de expresiones en entornos digitales.
3. Generar más evidencia cuantitativa sobre la replicabilidad del éxito en diversos contextos educativos.

Fuente de financiamiento

De las 10 fuentes de evidencia analizadas, se observa que el Artículo A3 (Hu *et al.*, 2021) fue apoyado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología de Taiwán. El Artículo A4 (Andini & Prabawanto, 2021) incluye una mención en su sección de agradecimientos a una entidad de gestión de fondos. El resto de los estudios no incluyen la información de financiamiento en las secciones iniciales del artículo, por lo que se asume que las investigaciones se realizaron con fondos institucionales o propios de los autores. En ningún caso se identificó financiamiento directo por parte de empresas privadas desarrolladoras de las herramientas digitales evaluadas.

Financiamiento de revisión de alcance

Esta revisión de alcance fue realizada con recursos propios de la autora y no recibió financiamiento externo de agencias, instituciones o compañías.

Conflicto de interés

La autora declara no tener conflictos de interés que puedan influir en la objetividad, la integridad o la interpretación de los resultados presentados en este artículo.

Uso de inteligencia artificial

Durante la elaboración del presente trabajo se utilizó Gemini (Flash 2.5 variant), una herramienta de Inteligencia Artificial de modelo de lenguaje grande desarrollada por Google, con el propósito de mejorar la redacción, la fluidez del texto, ortografía, gramática y referencias. El texto fue revisado y editado por la autora después de usar dicha herramienta, por lo que se responsabiliza completamente por el contenido del manuscrito.

Referencias

- Alberto, R., Shvarts, A., Drijvers, P., & Bakker, A. (2022). Action-based embodied design for mathematics learning: A decade of variations on a theme. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 32, 100419. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2021.100419>
- Andini, M., & Prabawanto, S. (2021). Relational thinking in early algebra learning: A systematic literature review. International Conference on Mathematics and Science Education (ICoMSE 2020). *Journal of Physics: Conference Series*, 1806 (1) [doi:10.1088/1742-6596/1806/1/012086](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1806/1/012086)
- Bolaños-Barquero, M., & Alvarado, I. S. (2021). *Structural sense of first-year university students*. *Uniciencia*, 35(1), 152–168. <http://dx.doi.org/10.15359/ru.35-1.10>
- Bolaños-Barquero, M., Loria-Fernández, J. R., & Picado-Alfaro, M. (2023). *Structural sense expressed by a group of pre-service mathematics teachers when they resolve factorization tasks*. *Estudios Pedagógicos*, 49(3), 109–129. DOI: [10.4067/S0718-07052023000400109](https://doi.org/10.4067/S0718-07052023000400109)
- Booth, J. L., Oyer, M. H., Paré-Blagoev, E. J., Elliot, A. J., Barbieri, C., Augustine, A., & Koedinger, K. R. (2015). Learning Algebra by Example in Real-World Classrooms. *Journal of Research on Educational Effectiveness*, 8(4), 530–551. <https://doi.org/10.1080/19345747.2015.1055636>
- Cevikbas, M., & Kaiser, G. (2021). A systematic review on task design in dynamic and interactive mathematics learning environments (DIMLES). *Mathematics*, 9(4), 399. <https://doi.org/10.3390/math9040399>
- Chau, C. T. M., Hanh, N. H., Van Hoang, P., Le Thuy, T., & Tuan, D. T. (2025). *GeoGebra—An experimental tool for factoring polynomials*. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 1398, 97–106. <https://www.springerprofessional.de/en/geogebra-an-experimental-tool-for-factoring-polynomials/50976466>
- Chechan, B., Ampadu, E., & Pears, A. (2023). Effect of using Desmos on high school students' understanding and learning of functions. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 19(10), em2331. <https://doi.org/10.29333/ejmste/13540>
- Clark-Wilson, A., Robutti, O., & Thomas, M. (2022). (2020). Teaching with digital technology. *ZDM – Mathematics Education*, 52(7), 1223–1242 <https://doi.org/10.1007/s11858-020-01196-0>
- Filloy, E., & Rojano, T. (1989). Solving equations: The transition from arithmetic to algebra. *Learn. Math.* 1989, 9, 19–26. <https://flm-journal.org/Articles/3DA2C5DE336DFD448BCF339B51168E.pdf>
- Gómez Segura, E. (2022). Estrategias didácticas en la enseñanza de los productos notables y la factorización en la telesecundaria. *RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 12(24), e326. <https://doi.org/10.23913/ride.v12i24.1143>
- Hidayat, R., Noor, W. N. W. M., Nasir, N., & Ayub, A. F. M. (2024). The role of GeoGebra software in conceptual understanding and engagement among secondary school student. *Infinity*, 13(2), 317–332. <https://doi.org/10.22460/infinity.v13i2.p317-332>
- Hu, Q., Son, J. W., & Hodges, L. (2022). *Algebra teachers' interpretation and responses to student errors in solving quadratic equations*. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 20(3), 637–657. <https://doi.org/10.1007/s10763-021-10166-1>
- Ingvavara, T., Panjaburee, P., & Wongka, W. (2023). *Using the self-regulated based personalized online learning system for learning factorization in mathematics*. 31st International Conference on Computers in Education (ICCE 2023), 1, 537–542 <https://mahidol.elsevierpure.com/en/publications/using-the-self-regulated-based-personalized-online-learning-syste/>
- Jimenez, C., Jadraque, M. A., & Orcos, L. (2021). The use of Edpuzzle to learn polynomial factorization in secondary education. *Bordon—Revista de Pedagogía*, 73(4), 27–42. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2021.89586>
- Kieran, C. (1992). The learning and teaching of school algebra. En D. A. Grouws (Ed.), *Handbook of research on mathematics teaching and learning* (pp. 390–419). Macmillan. <https://doi.org/10.1108/978-1-60752-874-620251021>
- Kieran, C. (2007). Learning and teaching algebra: Theoretical perspectives. En F. Lester (Ed.), *Second handbook of research on mathematics teaching and learning* (pp. 707–762). Information Age Publishing. https://www.researchgate.net/publication/284624451_Learning_and_teaching_algebra_at_the_middle_school_through_college_levels

- Khusna, T., Akbarita, R., & Narendra, R. (2021). *Comparison of principal axis factoring and maximum likelihood in determining dominant factors affecting Nahwu Shorof's learning (Case study of Roudlotul Mutallimin Putri Islamic Boarding School)*. *Bareksa*, 15(4), 785–796.
- Lin, Y.-T., & Wang, T.-C. (2022). *The effects of integrating digital board game into prime factorization learning on elementary students' flow experience*. *Proceedings of the International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, 122–124. <https://doi.org/10.1109/ICALT55010.2022.00044>
- Looi, C.-K., & Lim, K.-S. (2009). From bar diagrams to letter-symbolic algebra: a technology-enabled bridging. *Journal of Computer Assisted Learning*, 25(4), 358–374. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2009.00313.x>
- Moreno-Armella, L., Hegedus, S.J. & Kaput, J.J. (2008). From static to dynamic mathematics: historical and representational perspectives. *Educ Stud Math* 68, 99–111 <https://doi.org/10.1007/s10649-008-9116-6>
- Osorio, N. D. Z., & Ospina, A. A. P. (2021). *NinjaMath: Role playing game for learning factoring*. *Proceedings of the 2021 16th Latin American Conference on Learning Technologies (LACLO)*, 522–525. <https://www.computer.org/csdl/proceedings-article/laclo/2021/235800a522/1BzW6dfp1F6>
- Pierce, R., & Stacey, K. (2010). Mapping Pedagogical Opportunities Provided by Mathematics Analysis Software. *Int J Comput Math Learning* 15, 1–20 (2010). <https://doi.org/10.1007/s10758-010-9158-6>
- Pinto, D. A. M., & Ruíz, J. R. G. (2025). Learning polynomial factorization with GeoGebra and manipulative resources in a mathematics laboratory. *Revista Conrado*, 21(105), e4421. <https://conrado.ucf.edu.cu/index.php/conrado/article/view/4421>
- Prisma (2018). PRISMA-Scoping Reviews. Checklist <https://www.prisma-statement.org/scoping>
- Radford, L. (2014). The progressive development of early algebraic thinking: A semiotic-cultural perspective. *Math Ed Res J*, 26(2), 257–277 <https://doi.org/10.1007/s13394-013-0087-2>
- Ratnayake, I. G. (2020). *Teaching algebra with digital technology: Factors influencing secondary mathematics teachers' task development and implementation*. *Bulletin of the Australian Mathematical Society*, 101(2), 350–352. doi:10.1017/S0004972719001436
- Rodríguez-Cubillo, M.R., Del Castillo, H., & Arteaga-Martínez, B. (2021). El uso de aplicaciones móviles en el aprendizaje de las matemáticas: una revisión sistemática. *Revista de la Facultad de Educación de Albacete*, 36(1) <https://doi.org/10.18239/ensayos.v36i1.2631>
- Serbin, K. S., Bae, Y., & Espinosa, S. (2024). *Secondary teachers' guided reinvention of the definitions of reducible and irreducible elements*. *Journal of Mathematical Behavior*, 76, 101188. <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2024.101188>
- Tabach, M., & Nachlieli, T. (2019). Engagement with interactive algebra applets. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 50(5), 706–720. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2018.1528320>
- Tricco, A. C., Lillie, E., Zarin, W., O'Brien, K. K., Colquhoun, H., Levac, D., ... & Straus, S. E. (2018). PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR): Checklist and explanation. *Annals of Internal Medicine*, 169(7), 467–473. <https://doi.org/10.7326/M18-0850>
- Yamamoto, S., Enomoto, H., & Hirashima, T. (2020). *Learning by problem-posing as kit-building for structure understanding of polynomial factorization*. 28th International Conference on Computers in Education (ICCE 2020) <https://library.apsce.net/index.php/ICCE/article/view/3900>
- Zhang, E. (2025). *Unravelling the quality of processes of learning from errors: Insights from students' written error reflections in factoring tasks*. *Learning and Instruction*, 100, 102199. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2025.102199>