

Rendimiento académico y emociones de logro de estudiantes de primaria en una intervención con tecnologías inmersivas en el aula de matemática

Academic performance and emotions of elementary school students in an intervention with immersive technologies in the mathematics classroom

Desempenho acad mico e emo  es de realização dos alunos do ensino básico numa intervenção com tecnologias imersivas na sala de aula de matemática

Francisco Javier Sandoval-Henríquez
Universidad Católica de la Santísima Concepción
ROR <https://ror.org/03y6k2j68>
Concepción, Chile
fjsandoval@ucsc.cl

 ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5974-6227>

María Graciela Badilla-Quintana
Universidad Católica de la Santísima Concepción
ROR <https://ror.org/03y6k2j68>
Concepción, Chile
mgbadilla@ucsc.cl

 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1317-9228>

Catalina Andrea Acuna-Jara
Universidad Católica de la Santísima Concepción
ROR <https://ror.org/03y6k2j68>
Concepción, Chile
cacuna@ebasica.ucsc.cl

 ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2142-8507>

Received – Recibido – Recebido: 21/11/2024 Revised – Corregido – Revisado: 31/01/2025 Accepted – Aceptado – Aprovado: 31/03/2025

DOI: <https://doi.org/10.22458/ie.v27i43.5569>

URL: <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/innovaciones/article/view/5569>

Resumen: La evidencia sobre el efecto de tecnologías inmersivas en el aprendizaje es contradictoria, pues a menudo se presta mayor atención a la tecnología que a la pedagogía. La investigación buscó determinar el efecto de la realidad aumentada y la realidad virtual en el rendimiento acad mico de estudiantes de cuarto grado en educación matemática, así como describir las emociones de logro en la intervención pedagógica. El diseño antes y después se realizó con un grupo de 35 estudiantes, 21 niños y 14 niñas, con una edad promedio de 9 años, pertenecientes a una escuela de Chile. La intervención consistió en tres sesiones de 90 minutos cada una, donde el estudiantado pudo interactuar con tecnologías para fortalecer sus conceptos geométricos. Además, se administraron pruebas de contenido antes y después para la evaluación del aprendizaje, y un cuestionario de emociones durante la intervención. Los resultados revelaron un efecto significativo en el rendimiento acad mico, demostrando un tamaño del efecto grande ($d = .79$). Los hallazgos indican la ausencia de diferencias significativas en el desempeño entre niños y niñas. Además, se identificaron emociones positivas en las actividades. La investigación aboga por la priorización de objetivos y de resultados de aprendizaje por encima de la contribución tecnológica.

Palabras claves: rendimiento acad mico, aprendizaje, matemáticas, tecnología, educación básica.

Abstract: Evidence about the effect of immersive technologies on learning is contradictory, because it is often paid more attention to technology than to pedagogy. This research sought to determine the effect of augmented reality and virtual reality in academic performance of Fourth grade students in Mathematics, as well to describe the achievement emotions in the pedagogical intervention. The before and after design was developed with a group of 35 students, 21 boys and 14 girls, with 9 years in average, belonging to a school in Chile. The intervention consisted in three 90-minutes sessions where students interacted with technologies to enhance their geometrical concepts. In

addition, to assess learning content tests were administrated before and after the intervention, and a questionnaire of emotions during it. Results reveled a significant effect in the academic performance, demonstrating a large effect size ($d = .79$). Findings indicate absence of significant differences in performance between boys and girls. Furthermore, positive emotions in the activities were identified. Research advocates for prioritization of objectives and learning outcomes above the technological contribution.

Keywords: academic performance, learning, mathematics, technology, basic education.

Resumo: A evidência sobre o efeito das tecnologias imersivas na aprendizagem é contraditória, pois frequentemente presta-se maior atenção à tecnologia do que à pedagogia. A pesquisa buscou determinar o efeito da realidade aumentada e da realidade virtual no desempenho acadêmico de estudantes de quarta série em educação matemática, bem como descrever as emoções de realização na intervenção pedagógica. O desenho antes e depois foi realizado com um grupo de 35 estudantes, 21 meninos e 14 meninas, com uma idade média de 9 anos, pertencentes a uma escola no Chile. A intervenção consistiu em três sessões de 90 minutos, onde os alunos interagiram com tecnologias para fortalecer seus conceitos geométricos. Além disso, foram administrados testes de conteúdo antes e depois para a avaliação da aprendizagem, e um questionário de emoções durante a intervenção. Os resultados revelaram um efeito significativo no desempenho acadêmico, demonstrando um tamanho de efeito grande ($d = 0,79$). Os resultados indicam a ausência de diferenças significativas no desempenho entre meninos e meninas. Além disso, identificaram-se emoções positivas nas atividades. A pesquisa advoga pela priorização de objetivos e resultados da aprendizagem por cima da contribuição tecnológica.

Palavras-chave: desempenho acadêmico, aprendizagem, matemáticas, tecnologia, educação básica.

INTRODUCCIÓN

Las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) han estado presentes en el sector educativo durante un siglo, prácticamente desde la popularización de la radio en la década de 1920 (UNESCO, 2023). Sin embargo, la integración de tecnologías disruptivas como inteligencia artificial (IA), robots, impresión 3D, metaverso, realidad aumentada (RA) y realidad virtual (RV) poseen un potencial mayor para transformar la educación. En los últimos tiempos, los avances en IA han generado debates acerca de la posibilidad de que esta tecnología sustituya la interacción humana en la educación (Selwyn, 2020).

Esta investigación se centra en las tecnologías inmersivas que están transformando la forma en cómo el estudiantado experimenta los entornos físicos y virtuales. La RA superpone contenido digital en tiempo real sobre el entorno físico (Skarbez *et al.*, 2021). A través de un registro tridimensional, el estudiantado puede visualizar conceptos complejos de manera más tangible y atractiva. En el aula, su uso educativo despierta emociones positivas como el disfrute (Criollo-C *et al.*, 2024).

Por otro lado, la RV transporta al usuario a un entorno totalmente inmersivo que simula las características del mundo real (Skarbez *et al.*, 2021). En este entorno, el estudiantado puede explorar conceptos abstractos en primera persona con emociones de disfrute y de asombro (Marougkas *et al.*, 2023).

Los estudios de revisión sistemática y metaanálisis arrojan luces sobre las ventajas que ofrecen las tecnologías inmersivas en la educación primaria:

- I. La RA fomenta emociones de logro positivas y mejora el rendimiento académico. El estudiantado que utiliza la RA experimenta motivación, compromiso y satisfacción con el aprendizaje. Sin embargo, aquellos que la utilizan por primera vez pueden requerir capacitación previa para maximizar su efectividad (Basumatary & Maity, 2023).
- II. La RA contribuye al desarrollo de habilidades sociales, cognitivas y lingüísticas. Esta tecnología facilita la interacción entre pares, la colaboración y el trabajo en equipo. Además, permite la visualización de conceptos abstractos y potencia el desarrollo del lenguaje y la atención (Criollo-C *et al.*, 2024).

- III. La RV brinda oportunidades de exploración, experimentación y descubrimiento en entornos interactivos. El estudiantado puede sumergirse en simulaciones realistas que le permiten explorar conceptos matemáticos, científicos e históricos de modo vivencial (Marougkas *et al.*, 2023).
- IV. La RV promueve un mayor aprendizaje en comparación con las condiciones de control. Diversos estudios han demostrado que estudiantes que utilizan la RV logran un mayor aprendizaje en comparación con aquellos que reciben una instrucción tradicional. Asimismo, se ha observado que las intervenciones breves, de menos de 2 horas, pueden ser más efectivas que sesiones más prolongadas (Villena-Taranilla *et al.*, 2022).

A pesar de las ventajas educativas de las tecnologías inmersivas, su implementación en el ámbito de la matemática ha sido relativamente limitada. Estudios de revisión sistemática revelan que las experiencias educativas que integran estas tecnologías en matemática representan solo entre el 5 % y el 15 % de la literatura analizada (Basumatary & Maity, 2023; Herpich *et al.*, 2019; Sandoval-Henríquez *et al.*, 2024).

Esta falta de estudios en matemática se traduce en una escasez de evidencia empírica sobre la efectividad tecnológica-pedagógica. Existen algunos ejemplos prometedores como el trabajo de Flores-Bascuñana *et al.* (2020), quienes diseñaron una intervención con RA para mejorar el razonamiento geométrico de estudiantes españoles de sexto grado, con resultados positivos en el rendimiento académico, y el desarrollado por Sun y Chen (2020) quienes desarrollaron una intervención para fomentar el pensamiento espacial de estudiantes taiwaneses de sexto grado, evidenciando una diferencia significativa entre las mediciones inicial y final en el grupo experimental.

En cuanto a experiencias con RV, Akman y Çakır (2020) realizaron una intervención para enseñar fracciones a estudiantes turcos de cuarto grado, mostrando un aumento en el rendimiento académico y en el compromiso hacia las sesiones de matemática. Su *et al.* (2022) efectuaron una experiencia para enseñar conceptos de geometría a estudiantes taiwaneses de segundo grado, evidenciando que el grupo experimental obtuvo mejores resultados de aprendizaje y de motivación para aprender los contenidos.

Estos antecedentes ofrecen un panorama alentador, aunque la evidencia sobre el efecto general de las tecnologías inmersivas en el aprendizaje de matemática sigue siendo contradictoria. Algunos estudios sugieren ventajas en términos de implicación, colaboración, retención y comprensión del contenido (Carlos-Chullo *et al.*, 2021; Gómez *et al.*, 2023; Martínez *et al.*, 2021; Volioti *et al.*, 2023), así como la promoción de emociones positivas como el disfrute y el compromiso académico (Akman & Çakır, 2020).

Sin embargo, otros estudios presentan resultados más variados y destacan la importancia de considerar factores contextuales como el diseño de las actividades, las habilidades digitales del profesorado y las características del estudiantado (Coban *et al.*, 2022). Esta disparidad en los resultados se debe a la tendencia de centrarse más en la tecnología que en la pedagogía. Las implicaciones didácticas y las necesidades del aprendizaje de la matemática a menudo son ignoradas al adoptar las tecnologías.

Según un estudio de revisión sistemática, solo el 30 % de las intervenciones incorpora una teoría de aprendizaje o un modelo pedagógico para respaldar la integración de tecnologías inmersivas (Marougkas *et al.*, 2023). Además, la literatura se ha centrado en la medición del rendimiento académico en desmedro de variables como las emociones de logro, las cuales tienen un fuerte vínculo con el aprendizaje (Lichtenfeld *et al.*, 2012).

La mayoría de las intervenciones implementan tecnologías sin tener en cuenta un objetivo de aprendizaje. Este enfoque desvinculado entre la tecnología y los objetivos educativos puede resultar en una subutilización de las potencialidades pedagógicas de las tecnologías inmersivas, perjudicando la efectividad general de dichas intervenciones (Sandoval-Henríquez *et al.*, 2024).

En educación matemática, profesores e investigadores argumentan las dificultades del estudiantado al relacionar y comprender los objetos tridimensionales en el mundo real con sus representaciones bidimensionales en

papel o pantalla. Se argumenta que esta desconexión puede generar problemas para diferenciar entre cuerpos y figuras geométricas, afectando el desarrollo de las habilidades espaciales y generando emociones negativas como la frustración, el aburrimiento y la ansiedad (Demitriadou *et al.*, 2020; Shaghaghian *et al.*, 2024).

En respuesta a esta problemática y para abordar las dificultades en el aprendizaje de estudiantes de cuarto grado de una escuela chilena, la investigación propone dos objetivos:

- Determinar el efecto de las tecnologías inmersivas sobre el rendimiento académico en educación matemática.
- Describir las emociones de logro durante la intervención educativa con tecnologías inmersivas.

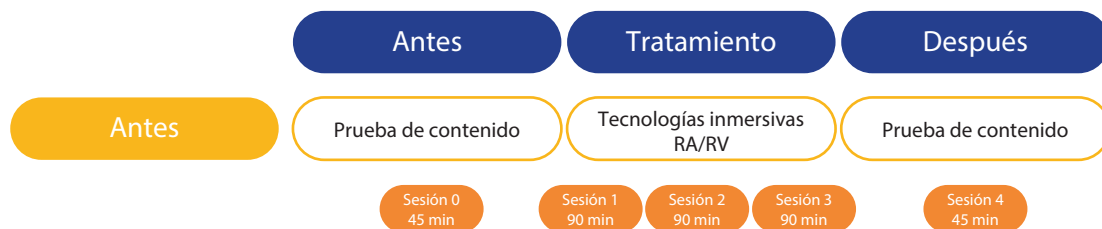
MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño de la investigación

La investigación tiene un diseño preexperimental de antes y después con un grupo (Bisquerra, 2009). El proceso se desarrolló del siguiente modo: se aplicó una prueba de contenido a un curso intacto de educación primaria, después el estudiantado participó en una intervención pedagógica basada en tecnologías inmersivas y, finalmente, se les administró una nueva versión de prueba de contenido. Adicionalmente, se administró un cuestionario de emociones durante la sesión 3.

La Figura 1 ilustra el diseño de la investigación. La intervención se detalla en apartados siguientes.

Figura 1. Diseño de antes y después con un grupo



Fuente. Elaboración propia.

Participantes

Participaron 35 estudiantes pertenecientes a un cuarto grado de una escuela situada en la ciudad de Penco, región del Biobío, Chile. De este grupo, 21 eran niños y 14 eran niñas, con una edad promedio de 9 años. Todos contaban con experiencia previa en el uso de dispositivos móviles, pizarra digital y computadoras, dado que las aulas estaban equipadas con infraestructura tecnológica. Además, la escuela disponía de dos laboratorios de computación que ya habían sido utilizados por el estudiantado. Al consultarles sobre su conocimiento acerca de la RA y la RV, manifestaron estar familiarizados con estas tecnologías. Algunos incluso habían interactuado con ellas en entornos comerciales, aunque no con fines educativos.

Diseño de la intervención

La intervención se elaboró siguiendo la propuesta pedagógica de coasociación, desarrollada por Prensky (2015). Esta metodología enfatiza el rol activo del estudiante en el proceso de aprendizaje, guiándolo a través de preguntas-guía diseñadas para estimular la reflexión, la colaboración y la construcción del conocimiento.

En primer lugar, se determinó el desempeño mínimo que el estudiantado debía alcanzar al finalizar la intervención. El Objetivo de Aprendizaje (OA) se extrajo del programa de estudio de matemática para cuarto grado, concretamente: identificar vértices, aristas y caras en modelos o dibujos de figuras 3D (OA 16).

En segundo lugar, se enumeraron las formas en que la tecnología inmersiva podría ser efectiva para lograr el OA. En este sentido, mediante la RA, el estudiantado pudo: observar la integración entre figuras geométricas virtuales y objetos del mundo real, manipular figuras desde dispositivos móviles y acceder a información contextual sobre sus características. Por otro lado, a través de la RV, pudo explorar las figuras en tres dimensiones, contar vértices, aristas y caras, y recibir retroalimentación inmediata sobre sus movimientos.

En tercer lugar, se realizó una búsqueda de aplicaciones móviles relacionadas con el OA en App Store, Google Play Store y Meta Store. Durante la interacción con estas aplicaciones, se respondieron preguntas como las siguientes: ¿El contenido está vinculado al OA? ¿La aplicación fomenta la participación y la exploración por parte del estudiante? ¿La aplicación proporciona retroalimentación efectiva durante las actividades? ¿El diseño de la aplicación permite una interacción intuitiva? ¿Las aplicaciones son gratuitas y/o compatibles con sistemas operativos de dispositivos móviles?

Después de la evaluación, se optó por las siguientes aplicaciones:

- I. QuiverVision: Aplicación de RA, permite escanear dibujos previamente coloreados para mostrar su animación. Para utilizarla, se descargan plantillas en su página web, se imprimen, se colorean y, finalmente, se escanean los resultados.
- II. Brushwork Studio: Aplicación de RV, permite crear dibujos sobre un lienzo en diferentes entornos virtuales. Estas creaciones también pueden visualizarse en RA desde dispositivos móviles.
- III. Plockle: Aplicación de RV, permite armar puzzles de complejidad gradual utilizando cuerpos geométricos dentro de un entorno virtual.
- IV. ANTON: Aplicación educativa que facilita la creación de cuerpos geométricos con desarrollo plano, caras y palitos.

Implementación de la intervención

La intervención constó de tres sesiones de 90 minutos cada una, teniendo en consideración la siguiente secuencia didáctica:

- I. Inicio: se introduce el objetivo de la sesión, se activan conocimientos previos, se plantean preguntas-guía y se describen las actividades planificadas. A diferencia de la enseñanza tradicional, donde a menudo el profesorado se centra en la explicación de contenidos, la coasociación enfatiza la presentación de preguntas-guía diseñadas para estimular el interés y fomentar la participación del estudiantado desde el inicio (Prensky, 2015).
- II. Parte principal: el estudiantado participa en actividades individuales y/o grupales con uso de tecnologías como realidad aumentada, realidad virtual, videos 360 u otras. A través de estas actividades, se espera que indaguen, formulen hipótesis, recopilen información y encuentren respuestas a las preguntas-guía. El profesorado proporciona retroalimentación sobre los contenidos y fortalece la calidad de las exploraciones.

- III. Cierre: el estudiantado elabora una breve presentación y/o reflexión con el uso de las tecnologías disponibles. La sesión evalúa y examina los trabajos, comparte ideas y construye respuestas colectivas. Asimismo, se proporciona material educativo adicional para que puedan profundizar en los conceptos abordados.

A continuación, se describe la implementación de la sesión 1. El lector podrá solicitar al autor correspondiente la planificación de la intervención educativa.

En el inicio, el estudiantado fue introducido al OA y participó activamente en una discusión sobre la importancia de ese aprendizaje en su vida cotidiana. El estudiantado destacó que dicho conocimiento es útil: para entender cómo están contruidos los objetos que le rodean, comprender los patrones que están en las plantas e insectos, organizar y ordenar sus pertenencias, y distribuir las decoraciones y objetos en eventos. Tras la discusión, la profesora planteó preguntas-guía enfatizando que debían ser resueltas de manera colaborativa al finalizar la sesión: ¿Cuáles son las diferencias entre figuras y cuerpos geométricos? ¿En qué situaciones sería útil conocer las propiedades de las figuras y cuerpos geométricos? ¿Cómo podrían los cuerpos geométricos ser utilizados para resolver problemas matemáticos?

En la parte principal, el estudiantado, distribuido equitativamente en 7 equipos, fue introducido a la primera actividad de aprendizaje con RA. Cada equipo recibió plantillas de cuerpos geométricos para colorear y un iPad con la aplicación QuiverVision. Cada integrante utilizó el dispositivo móvil para escanear su plantilla y acceder a información sobre las figuras geométricas. Enseguida, el equipo registró en una guía el número de caras, vértices, aristas y vistas, utilizando la visualización en RA tantas veces como fuera necesario para completar la actividad. Al finalizar, la guía fue proyectada en la pizarra digital, permitiendo que toda la clase compartiera sus respuestas.

En la segunda actividad de aprendizaje con RV, cada equipo eligió a un integrante para que, utilizando las gafas Meta Quest 2 y los controles, dibujara un cuerpo geométrico e identificara sus características. Todas las acciones del estudiante dentro del entorno virtual fueron visualizadas por la sesión, que también proporcionó retroalimentación sobre los movimientos.

En el cierre, cada equipo respondió las preguntas-guía previamente planteadas, aprovechando los antecedentes y los conocimientos adquiridos en la fase anterior. Se alentó a cada equipo a emplear las tecnologías disponibles, como iPad y *notebook*, para documentar y registrar sus respuestas. Esta fase no solo fomentó la creatividad, sino que también fortaleció la comprensión del contenido a través del diálogo.

El estudiantado expresó una valoración positiva hacia la secuencia didáctica, destacando que la experiencia fue única, ya que no habían empleado la tecnología inmersiva para aprender. Además, señalaron que la clase de matemática se vuelve más divertida cuando se incorporan las tecnologías.

La Figura 2 ilustra la participación del estudiantado en las actividades educativas de la sesión 1.

Figura 2. Participación del estudiantado en las actividades educativas



Fuente. Elaboración propia.

Instrumentos

El aprendizaje es inferido, no se observa directamente, sino a través de sus productos y resultados. En este contexto, las pruebas de contenido son instrumentos de evaluación del aprendizaje. A partir del nivel de dominio evidenciado en las respuestas, el profesorado determina si ha ocurrido un aprendizaje adecuado o si se requiere apoyo adicional (Schunk, 2012).

Se aplicaron pruebas de contenido antes y después de la intervención pedagógica para evaluar el objetivo de aprendizaje. Ambas versiones constaban de tres secciones. En la primera sección, se solicitó al estudiantado identificar el número de caras, vértices y aristas de cuerpos geométricos. En la segunda, debían dibujar las vistas desde arriba, desde abajo y desde el lado. En la tercera, se les pidió reconocer y colorear los cuerpos geométricos en una serie de imágenes.

La puntuación total fue de 17 puntos, con un criterio de exigencia del 60 %, lo cual resultaba en una calificación máxima de 7.0. La escala de calificaciones tenía los siguientes atributos: 1.0 a 2.9 (malo), 3.0 a 3.9 (insuficiente), 4.0 a 4.9 (suficiente), 5.0 a 5.9 (bueno) y 6.0 a 7.0 (excelente).

Las pruebas fueron diseñadas por una profesora de matemática utilizando una tabla de especificaciones que consideraba el contenido, las habilidades de pensamiento, el tipo de ítem, el número de preguntas y la complejidad de los ítems. Posteriormente, fueron validadas por un especialista en evaluación de los aprendizajes mediante una rúbrica que evalúa la coherencia, la pertinencia y el nivel de adecuación de los ítems. Las pruebas presentan una fiabilidad interna de .80 y .82, respectivamente, según alfa de Cronbach.

Para prevenir factores extraños que pudieran afectar el desempeño y entorpecer la evaluación, se tomaron los siguientes resguardos: las instrucciones de las tres secciones fueron leídas en conjunto para despejar dudas y las pruebas se administraron en sus respectivas versiones durante la misma jornada, con igual duración (45 minutos). Además, se garantizó que el entorno de aplicación fuera consistente en ambas ocasiones.

Adicionalmente, se administró el cuestionario de emociones AEQ-ES, durante la sesión 3 (Lichtenfeld *et al.*, 2012). El instrumento fue adaptado al contexto chileno mediante su traducción al español por un hablante nativo. Enseguida, se sometió a una entrevista cognitiva usando la técnica: *pensar en voz alta* con cinco estudiantes de cuarto año, con el fin de evaluar la comprensión de los ítems (Caicedo & Zalazar-Jaime, 2018). La consistencia interna del instrumento fue de .82 según alfa de Cronbach.

El AEQ-ES está compuesto por ocho ítems que tributan a las dimensiones *disfrute*, *ansiedad* y *aburrimiento* en relación con tres tipos de entornos académicos: asistir a clases, realizar tareas y hacer pruebas. Frente a cada afirmación, el estudiante debía encerrar en un círculo la expresión facial que más le representara, en una escala Likert de cinco opciones de respuesta: nada, un poco, algo, bastante y mucho.

Consideraciones éticas

Se estableció contacto con la dirección del establecimiento educativo mediante correo electrónico para informar sobre el objetivo de la investigación y la importancia de contar con su colaboración. Posteriormente, se entregó una carta que detallaba la metodología de trabajo y formalizando la participación.

En coordinación con la profesora de aula, se facilitó la entrega de asentimientos dirigidos al estudiantado y consentimientos informados dirigidos a padres y/o apoderados. Estos documentos comunicaron el objetivo de la investigación, una descripción del trabajo de campo, la confidencialidad de la información, los beneficios para el aprendizaje de contenidos curriculares, los derechos del estudiantado y los datos de contacto del equipo de investigadores.

Los resultados de la investigación fueron entregados a la dirección de la escuela. Todos los documentos éticos fueron sometidos a revisión y aprobación por el Comité Ético Científico de la universidad a la cual pertenece el equipo de investigadores.

Análisis de datos

Se realizó una evaluación de la distribución de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk, necesaria para decidir si se debe aplicar un enfoque paramétrico o no paramétrico en los análisis siguientes. Los resultados de Shapiro-Wilk ($W = .923$, $p = .017$) indicaron un p-valor bajo, evidenciando una violación al supuesto de normalidad. En consecuencia, se optó por el análisis no paramétrico, específicamente la prueba Wilcoxon para la comparación del rendimiento académico antes y después de la intervención, considerando a un único grupo. Enseguida, se utilizó la prueba U de Mann-Whitney para la comparación del rendimiento académico entre dos grupos: niñas y niños. Adicionalmente, se utilizaron estadígrafos descriptivos para las tres emociones de logro. Los análisis se realizaron en Jamovi, un *software* libre, gratuito y basado en el lenguaje estadístico R.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Comparación del rendimiento académico antes y después

La Tabla 1 presenta las medias en el rendimiento académico antes y después de la intervención con tecnologías inmersivas. Los resultados indican una variación con una calificación promedio suficiente, antes de la intervención, que ha experimentado un aumento a una calificación buena después del tratamiento.

Tabla 1

Descriptivos del rendimiento académico antes y después

MEDICIÓN	N	MEDIA	MEDIANA	DE	MÍNIMO	MÁXIMO
Antes	35	4.27	4.10	1.27	1.60	7.00
Después	35	5.24	5.40	1.04	2.50	7.00

Fuente. Elaboración propia.

La Tabla 2 muestra la comparación del rendimiento académico mediante la prueba no paramétrica Wilcoxon. El p-valor es menor que el nivel de significancia (0.05), lo cual indica que existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula de que no hay diferencia entre las puntuaciones antes y después. En otras palabras, la intervención con tecnologías inmersivas tiene un efecto significativo en el rendimiento académico dentro del contexto estudiado. Las puntuaciones después del tratamiento son 0.95 unidades más altas que las puntuaciones antes del tratamiento. Además, la magnitud del cambio observado es de tamaño grande (Cohen, 1992).

Tabla 2

Comparación del rendimiento académico antes y después

<i>W</i>	<i>p</i>	Diferencia de medias	<i>d</i>
55.5	.001	-0.95	0.79

Fuente. Elaboración propia.

Comparación del rendimiento académico por sexo

La Tabla 3 presenta las medias en el rendimiento académico antes y después, desglosadas por sexo. Los resultados indican una variación en el rendimiento de las niñas, con una mejora desde una calificación inicial insuficiente a una calificación final buena. En el caso de los niños, se observa una variación desde una calificación suficiente a una calificación buena después de la intervención.

Tabla 3

Descriptivos del rendimiento académico por sexo

MEDICIÓN	SEXO	N	MEDIA	MEDIANA	DE	MÍNIMO	MÁXIMO
Antes	Niña	14	3.89	3.75	1.27	1.60	6.60
	Niño	21	4.52	4.40	1.22	2.20	7.00
Después	Niña	14	5.19	5.40	0.80	4.20	6.60
	Niño	21	5.27	5.70	1.18	2.50	7.00

Fuente. Elaboración propia.

La Tabla 4 muestra la comparación del rendimiento académico entre niñas y niños después de la intervención, mediante la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney. El p-valor es mayor que el nivel de significancia, lo cual indica que no existe evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula. En este sentido, no hay diferencias significativas en el rendimiento académico entre niñas y niños después de la intervención. Las puntuaciones de rendimiento académico son 0.20 unidades más bajas para un grupo en comparación con el otro.

Tabla 4

Comparación del rendimiento académico por sexo

U	p	Diferencia de medias	d
132	.625	-0.20	0.10

Fuente. Elaboración propia.

Descripción de las emociones de logro

La Tabla 5 muestra los resultados descriptivos de los ítems del cuestionario AEQ-ES. Se observa que el estudiantado disfrutó bastante de las clases de matemática ($M = 4.51$) y mostró un buen humor al utilizar las tecnologías ($M = 4.31$). Además, hubo ausencia de ansiedad tanto al pensar en las clases ($M = 1.63$) como al realizar las actividades con tecnologías ($M = 1.46$). Aunque se registró cierta cantidad de nervios durante las pruebas ($M = 2.26$). El estudiantado no experimentó aburrimiento durante las actividades ($M = 1.57$).

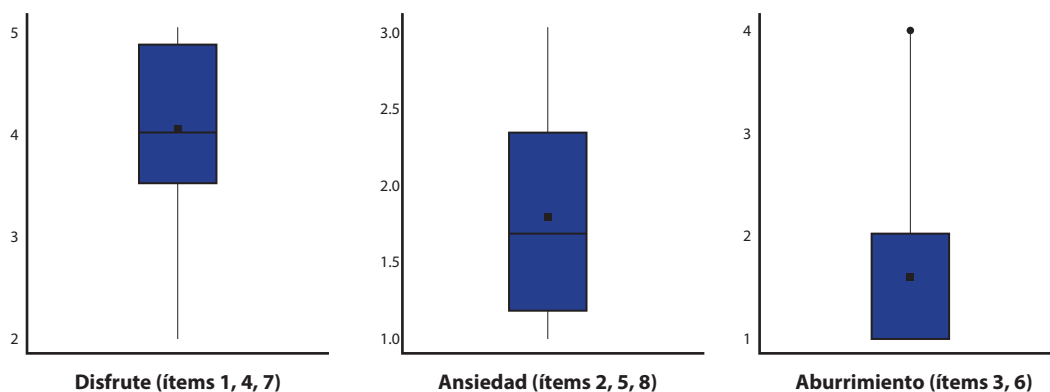
Tabla 5

Estadísticos descriptivos de las emociones de logro

ÍTEM	M	DE	MÍNIMO	MÁXIMO
1. Disfruté de las clases de matemática	4.51	0.818	2	5
2. Cuando pensaba en las clases, sentía nervios	1.63	0.808	1	4
3. Las clases me parecían tan aburridas que prefería hacer otra cosa	1.63	1.003	1	5
4. Cuando realizaba las actividades con tecnologías, estuve de buen humor	4.31	0.832	2	5
5. Cuando realizaba las actividades con tecnologías, sentí estrés por entender el contenido	1.46	0.611	1	3
6. Las actividades con tecnologías me parecían aburridas	1.57	0.884	1	4
7. Disfruté haciendo pruebas de matemática	3.26	1.482	1	5
8. Sentí nervios durante las pruebas de matemática	2.26	1.197	1	4

Fuente. Elaboración propia.

La Figura 3 muestra el diagrama de caja correspondiente a cada emoción. Las puntuaciones medias de ansiedad ($M = 1.78$) y aburrimiento ($M = 1.60$) están asociadas principalmente con la opción de respuesta nada, indicando que la mayoría del estudiantado no experimentó emociones negativas. En contraste, la puntuación media de disfrute ($M = 4.03$) se asocia con la opción bastante, indicando que el estudiantado experimentó una emoción positiva al realizar las actividades con tecnologías.

Figura 3. Diagramas de caja

Fuente. Elaboración propia

Los resultados obtenidos son consistentes con los hallazgos de estudios previos que han implementado intervenciones con tecnologías inmersivas para mejorar el aprendizaje de matemática (Carlos-Chullo *et al.*, 2021; Gómez *et al.*, 2023; Martínez *et al.*, 2021; Nadzri *et al.*, 2023; Su *et al.*, 2022). Estos estudios concluyen que la enseñanza basada en RA y RV permite obtener una comprensión concreta y profunda de los conceptos matemáticos, especialmente en contenidos relacionados con la geometría.

La investigación reveló diferencias significativas en el rendimiento académico entre las mediciones antes y después, con un tamaño del efecto grande ($d = 0.79$). No obstante, estudios previos no reportan este dato estadístico (Flores-Bascuñana *et al.*, 2020; Gómez *et al.*, 2023; Martínez *et al.*, 2021; Sun & Chen, 2020), lo cual limita la posibilidad de realizar comparaciones adicionales.

En un estudio de metaanálisis, la RV arrojó un efecto positivo moderado en la educación matemática ($d = 0.52$), con efectos negativos en historia y nulos en educación física (Villena-Taranilla *et al.*, 2022). Otro estudio también evidenció un efecto positivo moderado ($d = 0.52$), concluyendo que la RA se asocia a resultados de aprendizaje más altos en comparación a las condiciones de control (Chang *et al.*, 2022).

Ahora bien, en la literatura existen metaanálisis que demuestran resultados contradictorios. Un estudio arrojó un tamaño del efecto pequeño respecto a la RV ($d = 0.38$) (Coban *et al.*, 2022). Estos antecedentes resaltan la necesidad de realizar investigaciones adicionales y considerar diferentes factores: como el nivel educativo, la duración de las intervenciones, la asignatura y el nivel de los sistemas tecnológicos (inmersivo, semi-inmersivo, no inmersivo), así como comprender el valor añadido de las tecnologías en la educación primaria.

Respecto al diseño de la intervención, esta se respaldó en el modelo pedagógico de coasociación (Prensky, 2015), el cual proporciona pautas para la integración de tecnologías en contextos escolares. La consideración del fundamento teórico es un aspecto que estudios experimentales descuidan (Flores-Bascuñana *et al.*, 2020; Gómez *et al.*, 2023; Nadzri *et al.*, 2023). Es esencial reconocer que la tecnología se concibe como un medio para alcanzar un objetivo educativo específico; sin el componente pedagógico adecuado, su uso puede derivar en prácticas inapropiadas o excesivas.

En contraste, aquellos que sí presentan una teoría de aprendizaje o modelo pedagógico se alinean: con la teoría del Conectivismo (Martínez *et al.*, 2021), el Modelo de Diseño Instruccional ADDIE (Akman & Çakır, 2020; León *et al.*, 2020) y el aprendizaje basado en juegos (Volioti *et al.*, 2023). Este hallazgo subraya la diversidad en las bases teóricas de intervenciones con tecnologías inmersivas en matemática y la necesidad de una fundamentación más consistente en futuras investigaciones y prácticas educativas.

La investigación arrojó resultados inesperados respecto a la disparidad en el rendimiento académico. A diferencia de estudios que reportan brechas entre niñas y niños en el aprendizaje de la matemática (Agencia de Calidad de la Educación, 2023), la intervención no evidenció diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos.

Este hallazgo indica la homogeneidad en el efecto positivo de las tecnologías inmersivas para el estudiantado. No obstante, el tamaño reducido de la muestra estudiada es una limitación que invita a la cautela en la interpretación de estos resultados.

Adicionalmente, la investigación se centró en describir tres emociones de logro que son de alta relevancia en los entornos educativos. Los resultados obtenidos son positivos en el contexto de la educación matemática con tecnologías. La literatura enfatiza que cuando el estudiante experimenta el disfrute, es más probable que se involucre activamente, persevere ante los desafíos y encuentre satisfacción personal en el proceso de aprendizaje (Lichtenfeld *et al.*, 2012; Pekrun, 2006).

Los resultados cobran especial relevancia en el contexto chileno, considerado los datos del Sistema Nacional de Evaluación de Resultados de Aprendizaje (SIMCE). Según la última medición para cuarto grado, se obtuvo un promedio nacional de 250 puntos en matemática, con una disminución de 10 puntos en comparación con la medición de 2018. Además, se observa una brecha, con las niñas experimentando una disminución en sus resultados (Agencia de Calidad de la Educación, 2023). Lo anterior vislumbra la importancia de las intervenciones con tecnologías como herramientas potenciales: para abordar desafíos en el rendimiento académico, promover experiencias positivas y mitigar brechas en el ámbito escolar (UNESCO, 2023).

CONCLUSIONES

La investigación aboga por la integración de tecnologías inmersivas en contextos escolares de forma más consciente y justificada. Un enfoque claro en los objetivos de aprendizaje puede maximizar el efecto positivo de las tecnologías y, al mismo tiempo, reducir las posibles distracciones que puedan presentarse durante su puesta en marcha.

La intervención desarrollada tuvo como objetivo mejorar el aprendizaje de vértices, caras y aristas de modelos 3D, siguiendo las bases curriculares de matemática en Chile. Un contenido complejo para el estudiantado de primaria que, a menudo, presenta dificultades para comprender los objetos tridimensionales del entorno y sus representaciones bidimensionales.

Aunque la investigación proporcionó tecnologías inmersivas para su integración en un aula de matemática, la realidad es que no todas las escuelas chilenas cuentan con una infraestructura digital adecuada y la falta de dispositivos puede afectar la capacidad del profesorado para integrar estas herramientas en su práctica educativa. No obstante, la tecnología no debe ser avanzada para ser efectiva; recursos como videos 360 pueden ser útiles, siempre y cuando estén alineados con los objetivos educativos. La investigación llama a adaptar las intervenciones tecnológicas a las realidades y a los recursos disponibles en los entornos educativos.

En relación con las limitaciones, aunque el diseño de investigación carece de la fuerza suficiente para establecer inferencias causales, se implementaron medidas para mitigar las posibles fuentes de invalidez. La intervención se estructuró con un número adecuado de sesiones (3), para evitar una prolongación excesiva entre las mediciones antes y después. Asimismo, se utilizaron instrumentos válidos para evaluar la variable dependiente. Estas consideraciones refuerzan la confianza en la credibilidad y la validez interna de la investigación.

Sin embargo, se debe emprender futuras investigaciones con diseños más robustos para consolidar las observaciones realizadas. Por ejemplo, se podría incluir un grupo control con otro modelo pedagógico, un mayor número de sesiones, un seguimiento a largo plazo de los participantes y una variedad de mediciones de aprendizaje y emociones.

Si bien la investigación ha proporcionado información sobre las emociones experimentadas por estudiantes durante una sesión con tecnologías, no permite establecer conclusiones definitivas sobre el efecto a largo plazo de estas tecnologías en el disfrute, la ansiedad y el aburrimiento en el contexto del aprendizaje de matemática.

Para abordar esta limitación, se requiere de investigaciones futuras que implementen diseños longitudinales con mediciones de emociones académicas antes, durante y después de un período de intervención con tecnologías inmersivas. De esta manera, se podrá evaluar si estas tecnologías tienen un impacto duradero en las emociones y, en consecuencia, en su rendimiento académico en educación matemática.

AGRADECIMIENTO

Este estudio fue financiado por la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo de Chile (ANID), Programa Beca Doctorado Nacional, [21230310]; y el Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (Fondecyt Regular), [1231136].

CONTRIBUCIÓN DE LAS PERSONAS AUTORA

Francisco Javier Sandoval-Henríquez: conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, recursos, software, supervisión, validación, visualización, redacción - borrador original, redacción - revisión y edición final.

María Graciela Badilla-Quintana: conceptualización, captación de fondos, administración del proyecto, recursos, supervisión, validación, redacción - revisión y edición final.

Catalina Andrea Acuña-Jara: conceptualización, curación de datos, investigación, captación de fondos, administración del proyecto, recursos, supervisión, validación, redacción – borrador original.

REFERENCIAS

- Agencia de Calidad de la Educación. (2023). *Resultados educativos 2022*. Agencia de Calidad de la Educación. <https://www.agenciaeducacion.cl/simce/>
- Akman, E., & Çakır, R. (2020). The effect of educational virtual reality game on primary school students' achievement and engagement in mathematics. *Interactive Learning Environments*, 31(3), 1467-1484. <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1841800>
- Basumatary, D., & Maity, R. (2023). Effects of Augmented Reality in Primary Education: A Literature Review. *Human Behavior and Emerging Technologies*, 4695759. <https://doi.org/10.1155/2023/4695759>
- Bisquerra, R. (2009). *Metodología de la investigación educativa*. Editorial La Muralla.
- Caicedo, E., & Zalazar-Jaime, M. (2018). Entrevistas cognitivas: revisión, directrices de uso y aplicación en investigaciones psicológicas. *Avaliação Psicológica*, 17(3), 362-370. <https://doi.org/10.15689/ap.2018.1703.14883.09>
- Carlos-Chullo, J. D., Vilca-Quispe, M., & Castro-Gutiérrez, E. (2021). Voluminis: An Augmented Reality Mobile System in Geometry Affording Competence to Evaluating Math Comprehension. En M. Auer, D. May (Eds.), *Cross Reality and Data Science in Engineering*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-52575-0_23
- Chang, H. Y., Binali, T., Liang, J. C., Chiou, G. L., Cheng, K. H., Lee, S. W. Y., & Tsai, C. C. (2022). Ten years of augmented reality in education: A meta-analysis of (quasi) experimental studies to investigate the impact. *Computers & Education*, 191, 104641. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104641>
- Coban, M., Bolat, Y. I., & Goksu, I. (2022). The potential of immersive virtual reality to enhance learning: A meta-analysis. *Educational Research Review*, 100452. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2022.100452>
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*, 112(1), 155-159. <https://doi.org/10.1037//0033-2909.112.1.155>
- Criollo-C, S., Guerrero-Arias, A., Guña-Moya, J., Samala, A. D., & Luján-Mora, S. (2024). Towards Sustainable Education with the Use of Mobile Augmented Reality in Early Childhood and Primary Education: A Systematic Mapping. *Sustainability*, 16, 1192. <https://doi.org/10.3390/su16031192>
- Demitriadou, E., Stavroulia, K. E., & Lanitis, A. (2020). Comparative evaluation of virtual and augmented reality for teaching mathematics in primary education. *Education and information technologies*, 25, 381-401. <https://doi.org/10.1007/s10639-019-09973-5>
- Flores-Bascuñana, M., Diago, P. D., Villena-Taranilla, R., & Yáñez, D. F. (2020). On augmented reality for the learning of 3D-geometric contents: A preliminary exploratory study with 6-grade primary students. *Education Sciences*, 10(1), 4. <https://doi.org/10.3390/educsci10010004>
- Gómez, J., Herrera, D., Salas, D., & Oviedo, B. (2023). Aplicación Basada en Realidad Aumentada para Apoyar el Aprendizaje en Matemáticas. *Computer and Electronic Sciences: Theory and Applications*, 4(1). <https://doi.org/10.17981/cesta.04.01.2023.01>
- Herpich, F., Nunes, F. B., Petri, G., & Tarouco, L. M. R. (2019). How mobile augmented reality is applied in education? A systematic literature review. *Creative Education*, 10(07), 1589-1627. <https://doi.org/10.4236/ce.2019.107115>
- Lichtenfeld, S., Pekrun, R., Stupnisky, R. H., Reiss, K., & Murayama, K. (2012). Measuring students' emotions in the early years: the achievement emotions questionnaire-elementary school (AEQ-ES). *Learning and Individual Differences*, 22(2), 190-201. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2011.04.009>

- León, M., Mendoza, M., & Martínez, M. (2020). Aplicación con realidad aumentada para el aprendizaje de la división. *Revista de Desarrollo Sustentable, Negocios, Emprendimiento y Educación*, 8. <https://www.eumed.net/rev/rilcoDS/08/aplicacion-realidad-aumentada.html>
- Marougkas, A., Troussas, C., Krouska, A., & Sgouropoulou, C. (2023). Virtual Reality in Education: A Review of Learning Theories, Approaches and Methodologies for the Last Decade. *Electronics*, 12, 2832. <https://doi.org/10.3390/electronics12132832>
- Martínez, O., Mejía, E., Ramírez, W., & Rodríguez, T. (2021). Incidencia de la realidad aumentada en los procesos de aprendizaje de las funciones matemáticas. *Información tecnológica*, 32(3), 3-14. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642021000300003>
- Nadzri, A., Ayub, A., & Zulkifli, N. (2023). The Effect of Using Augmented Reality Module in Learning Geometry on Mathematics Performance among Primary Students. *International Journal of Information and Education Technology*, 13(9), 1478-1486. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2023.13.9.1952>
- Pekrun, R. (2006). The Control-Value Theory of Achievement Emotions: Assumptions, Corollaries, and Implications for Educational Research and Practice. *Educational Psychology Review*, 18, 315-341. <https://doi.org/10.1007/s10648-006-9029-9>
- Prensky, M. (2015). *Enseñar a nativos digitales*. Ediciones SM.
- Sandoval-Henríquez, F. J., Sáez-Delgado, F., & Badilla-Quintana, M. G. (2024). Systematic review on the integration of immersive technologies to improve learning in primary education. *Journal of Computers in Education*. <https://doi.org/10.1007/s40692-024-00318-x>
- Schunk, D. H. (2012). *Teorías del aprendizaje: Una perspectiva educativa*. Pearson.
- Selwyn, N. (2020). *¿Deberían los robots sustituir al profesorado?: La IA y el futuro de la educación*. Ediciones Morata.
- Shaghaghian, Z., Burte, H., Song, D., & Yan, W. (2024). An augmented reality application and experiment for understanding and learning spatial transformation matrices. *Virtual Reality*, 28, 12. <https://doi.org/10.1007/s10055-023-00904-x>
- Skarbez, R., Smith, M., & Whitton, M. C. (2021). Revisiting Milgram and Kishino's Reality-Virtuality Continuum. *Frontiers in Virtual Reality*, 2, 647997. <https://doi.org/10.3389/frvir.2021.647997>
- Su, Y.-S., Cheng, H.-W., & Lai, C.-F. (2022). Study of Virtual Reality Immersive Technology Enhanced Mathematics Geometry Learning. *Frontiers Psychology*, 13, 760418. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.760418>
- Sun, K. T., & Chen, M. H. (2020). Utilizing mar for remedial teaching of compound-cube-surface area at elementary school in Taiwan. *International Journal of Information and Communication Technology Education (IJICTE)*, 16(2), 18-35. <https://doi.org/10.4018/IJICTE.2020040102>
- UNESCO. (2023). *Resumen del Informe de seguimiento de la educación en el mundo 2023: Tecnología en la educación: ¿Una herramienta en los términos de quién?* UNESCO. <https://doi.org/10.54676/BSEH4562>
- Villena-Taranilla, R., Tirado-Olivares, S., Cozar-Gutierrez, R., & González-Calero, J. A. (2022). Effects of virtual reality on learning outcomes in K-6 education: A meta-analysis. *Educational Research Review*, 100434. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2022.100434>
- Volioti, C., Orovas, C., Sapounidis, T., Trachanas, G., & Keramopoulos, E. (2023). Augmented Reality in Primary Education: An Active Learning Approach in Mathematics. *Computers*, 12, 207. <https://doi.org/10.3390/computers12100207>