

Uso de la realidad aumentada, la realidad virtual y la inteligencia artificial en educación secundaria: una revisión sistemática

Use of augmented reality, virtual reality and artificial intelligence in secondary education: a systematic review

Recibido: octubre 17 de 2023
Aceptado: diciembre 29 de 2023
Publicado: enero 15 de 2024

Cómo citar este artículo: Lancheros-Bohorquez, W. F., & Vesga-Bravo, G. J. (2024). Uso de la realidad aumentada, la realidad virtual y la inteligencia artificial en educación secundaria: una revisión sistemática. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 14 (1), 95-110.

doi: <https://doi.org/10.19053/uptc.20278306.v14.n1.2024.17537>

Wilson Ferney Lancheros-Bohorquez

Universidad Antonio Nariño, Bogotá, Colombia.

E-mail: wlancheros18@uan.edu.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9287-9184>

Grace Judith Vesga-Bravo

Universidad Antonio Nariño, Bogotá, Colombia.

E-mail: gvesga@uan.edu.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9990-360X>

Resumen

El objetivo de esta revisión sistemática es obtener información frente a la implementación de tecnologías disruptivas (TD) como la realidad aumentada (AR), la realidad virtual (VR) y la inteligencia artificial (IA) en educación secundaria. Al aplicar el protocolo prisma (2021) en las bases de datos Scopus y Taylor & Francis, se obtienen 53 documentos. Los hallazgos giran en torno a tres aspectos. Análisis bibliométrico por año y país, implementación de la AR,VR o IA y resultados obtenidos en los diversos campos del conocimiento impactados por las TD. Las intervenciones con estas tecnologías muestran una creciente tendencia en implementar la AR. La eficacia de la implementación de la AR,VR o IA generó mejoras cognitivas, emocionales y en el proceso enseñanza aprendizaje. Por otra parte, se recomienda profundizar la investigación de implementación de estas TD e integrar en los estudios las combinaciones entre tecnologías.

Palabras clave: realidad aumentada, realidad virtual, inteligencia artificial, educación secundaria.

Abstract

The objective of this systematic review was to gather information regarding the implementation of Disruptive Technologies (DT) such as Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR) and Artificial Intelligence (AI) in secondary education. The methodology was based on the PRISMA Statement in the Scopus and Taylor & Francis databases 53 documents were retrieved using the established criteria. The findings focus on three aspects: Bibliometric analysis by year and country, implementation of AR, VR or AI and results obtained in the various fields of knowledge affected by DTs. Interventions with these technologies show a growing trend in the implementation of AR. The effectiveness of the implementation of AR, VR and AI generated cognitive, emotional, and teaching-learning process improvements. On the other hand, it is recommended to deepen the research on the implementation of these DTs and to integrate in the studies the combinations among technologies.

Keywords: augmented reality, virtual reality, artificial intelligence, secondary education.

1. Introducción

Hoy en día, con la llegada de la Cuarta Revolución Industrial (4IR) el proceso de enseñanza aprendizaje está siendo permeado y transformado por el uso de estas nuevas tecnologías, un fenómeno que se ha profundizado (Lorenzo et al., 2021). Este impacto de la 4IR está cambiando la dinámica de la educación además de nuestra interacción con el mundo, impulsado especialmente a través del desarrollo de Tecnologías Disruptivas (TD) (Dai & Ke, 2022).

Los avances tecnológicos en el ámbito de la educación no son nuevos, pero la velocidad y el ritmo de estos, especialmente en lo que respecta a las TD, son notables (Chng et al., 2023). En la educación, el enfoque suele ser reactivo, ya que las TD emergen de las industrias para luego ser adaptadas y aplicadas en los sistemas educativos existentes. (Schmidt & Tang, 2020). Ledo et al. (2019), determinaron que entre las TD que cuentan con un gran potencial para ser integradas a la vida cotidiana y como apoyo en el ámbito educativo, están: la Realidad Aumentada (AR), la Realidad Virtual (VR), la Inteligencia Artificial (IA), la robótica, la impresión 3D, el big data, el internet móvil, la tecnología en la nube y el internet de las cosas (IoT).

Un número significativo de instituciones educativas buscan acoger en sus aulas la TD, con la esperanza de que su intervención motive el interés de los estudiantes por el aprendizaje y facilite la comprensión de los conceptos (Martínez-Villalobos & Ruiz-Rodríguez, 2022). Dicho esto, la implementación de estas nuevas tecnologías puede favorecer el seguimiento, acompañamiento y la retroalimentación eficaz. Por otra parte, se busca que los estudiantes adquieran las competencias

requeridas para ser ciudadanos calificados en el contexto de la sociedad del conocimiento y en línea con los objetivos de desarrollo sostenible (Lizcano-Sánchez et al., 2023).

A pesar del inmenso potencial que poseen las TD para transformar positivamente los procesos de enseñanza aprendizaje, se presentan desafíos que deben ser superados. Estos desafíos abarcan desde asegurar el acceso a herramientas tecnológicas asequibles, proporcionar capacitación efectiva a los docentes, hasta el desarrollo de estrategias innovadoras para su implementación y el estímulo de habilidades tecnológicas en todos los involucrados en el proceso educativo (Dimitriadou & Lanitis, 2023; Villa-Guardiola et al., 2022).

La integración de las TD en la educación tiene como objetivo impulsar y dar forma a lo que se conoce como la educación 4.0 (Patiño et al., 2023). Este nuevo tipo de educación busca impulsar la mitigación de los efectos del cambio climático, la transformación digital y el desarrollo de competencias y habilidades que permitan adaptar, validar, aprender y desaprender conocimientos, ideas y técnicas en constante evolución (Oliveira & Souza, 2020).

El objetivo del presente estudio fue determinar la manera en que se están usando las TD en el proceso de enseñanza aprendizaje en educación secundaria, específicamente la Realidad Aumentada (AR), la Realidad Virtual (VR) y la Inteligencia Artificial (IA) a través de una revisión sistemática entre los años 2019 a 2023.

2. Metodología

Para explorar las investigaciones que utilizaron TD como la AR, la VR o la IA aplicadas a la enseñanza aprendizaje en educación secun-

daria, se realizó una revisión sistemática. El método para la revisión fue PRISMA (Page et al., 2021), que consiste identificar y seleccionar los documentos científicos, llevar a cabo su depuración eliminando los duplicados y aplicando los criterios inclusión y exclusión. Se eligieron las bases de datos Scopus y Taylor & Francis para realizar la búsqueda y selección de la información.

La revisión sistemática fue realizada en julio del 2023, donde se utilizaron los siguientes descriptores y operadores booleanos en la ecuación de búsqueda: (“augmented reality” OR “virtual reality” OR “artificial intelligence”) AND (“secondary school”). Se incluyeron artículos de investigación en donde se hubieran aplicado las TD en el ámbito educativo y publicados en inglés o español entre los años 2019 y 2023. Inicialmente, se identificaron un total de 1711 artículos, como se detalla en la Figura 1.

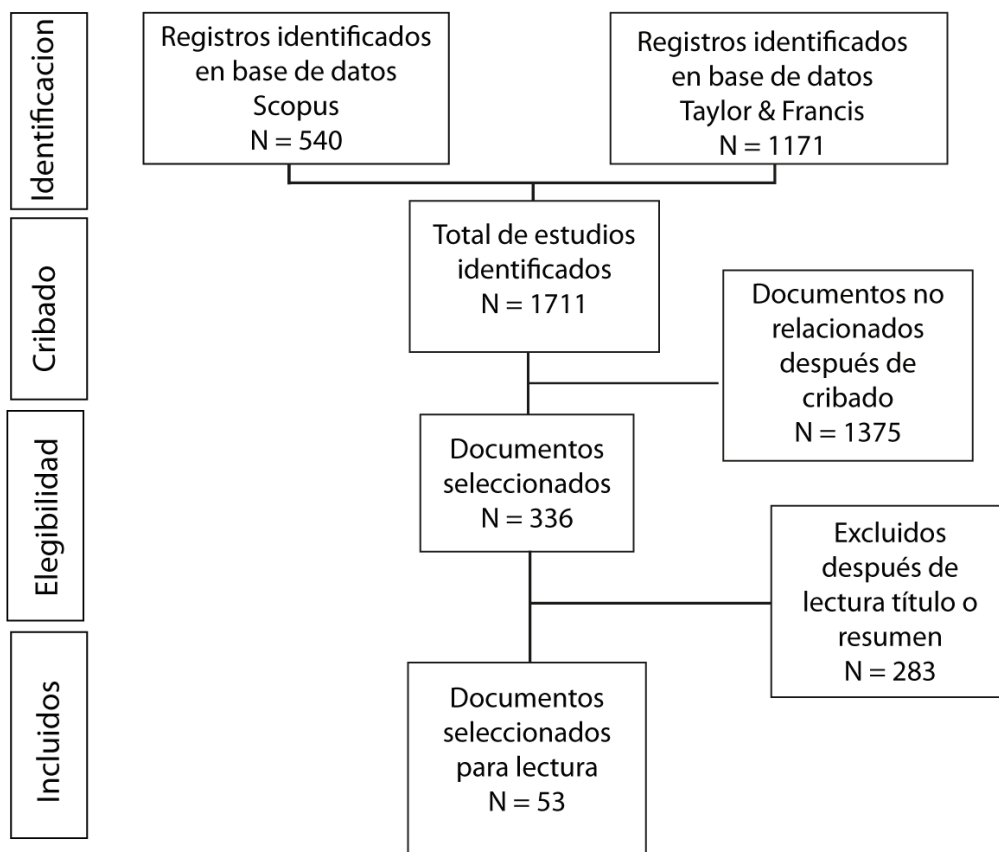


Figura 1. Diagrama de flujo para la selección de investigaciones.

De esta cifra inicial, se excluyeron 1375 artículos debido a que se trataban de revisiones sistemáticas, duplicados o investigaciones que no estaban relacionadas con la educación secundaria, lo que dejó un conjunto de 336 artículos. Posteriormente, tras una revisión

detallada de los títulos y resúmenes, se excluyeron otros 283 artículos que trataban temas referentes a medicina, ingeniería, finanzas o educación militar. Finalmente, se seleccionaron 53 artículos para el desarrollo de la revisión sistemática.

3. Resultados y discusión

En la tabla 1 se describen los 53 artículos en relación con los autores, año de publicación,

país de origen, el tipo de TD empleada, el campo disciplinario de la intervención, número de participantes y el enfoque metodológico utilizado.

Tabla 1. Análisis de los estudios incluidos en la revisión sistemática.

#	Autor(es). Año	País	TD	Disciplina	N	Metodología
1	Malakul & Park. (2023)	Tailandia	IA	Idiomas	79	Cuantitativo
2	Christopoulos et al. (2023)	Finlandia	VR	Biología	70	Cuantitativo
3	Zhang et al. (2023)	China	IA	Multidisciplinar	28808	Cuantitativo
4	Suhaimi et al. (2023)	Malasia	AR	Historia	400	Cuantitativo
5	Amores-Valencia et al. (2023)	España	AR	TIC	32	Mixto
6	Bosmos et al. (2023)	Grecia	VR	Historia	52	Cualitativo
7	Şimşek & Direkçi. (2023)	Turquía	AR	Lectura	120	Cualitativo
8	(Lee et al. 2023)	Corea Del Sur	IA	Inglés	3	Cualitativo
9	Koparan et al. (2023)	Turquía	AR	Geometría	98	Cualitativo
10	Peeters et al. (2023)	Alemania	AR	Química	104	Cualitativo
11	Toktamysov et al. (2023)	Kazajstán	VR	Historia	308	Cuantitativo
12	Poçan et al. (2023)	Turquía	AR	Álgebra	73	Mixto
13	Papakostas et al. (2023)	Grecia	AR	Ciencias De La Computación	200	Cuantitativo
14	Stojanović et al. (2023)	Serbia	AR	Economía	37	Cualitativo
15	Stojšić et al. (2022)	Serbia	AR	Biología	188	Cuantitativo
16	Gregorčič & Torkar. (2022)	Eslovenia	AR	Biología	85	Cuantitativo
#	Autor(s). Año	País	TD	Disciplina	N	Metodología
17	Volioti et al. (2022)	Grecia	AR	Física	314	Cuantitativo
18	Stolzenberger et al. (2022)	Alemania	AR	Física	14	Cualitativo
19	Daniele. (2022)	Italia	VR	Geografía	150	Cuantitativo
20	Majeed & Alrikabi. (2022)	Irak	AR	Matemáticas	60	Cuantitativo
21	Ingkavara et al. (2022)	Tailandia	IA	Física	292	Cuantitativo
22	Almelweth. (2022)	Arabia Saudita	IA	Geografía	60	Cuantitativo
23	Feng & Zhang. (2022)	China	VR	Arte	n/a	Cualitativo
24	Bai. (2022)	China	IA	Música	n/a	Cualitativo
25	Habiddin et al. (2022)	Indonesia	AR	C y T	20	Cualitativo
26	Webb et al. (2022)	Inglaterra	VR	Biología	64	Cuantitativo
27	Arici et al. (2021)	Turquía	AR	Astronomía	40	Cualitativo
28	Remolar et al. (2021)	España	3TD	Historia	50	Cuantitativo
29	Rasheed et al. (2021)	Pakistán	VR	Física	184	Cuantitativo
30	Deveci-Topal et al. (2021)	Turquía	IA	Ciencias	41	Mixto
31	Kececi et al. (2021)	Turquía	AR	C y T	143	Mixto
32	Mahanan et al. (2021)	Malasia	AR	Química	5	Cualitativo
33	Gamboa-Ramos et al. (2021)	Perú	AR	C y T, Geometría	30	Cuantitativo
34	Pratama et al. (2021)	Kazajstán	AR	Geografía	10	Mixto
35	Álvarez-Herrero & Hernández-Ortega (2021)	España	AR	Ed ambiental	447	Mixto
36	Mat Zain et al. (2021)	Malasia	VR	Biología	35	Cuantitativo
37	Gnidovec et al. (2020)	Eslovenia	AR	Biología	460	Cuantitativo
38	Jong et al. (2020)	China	VR	Geografía	566	Cuantitativo
39	Daineko et al. (2020)	Kazajstán	AR-VR	Física	50	Cuantitativo
40	Jesionkowska et al. (2020)	Inglaterra	AR	Física y Geometría	19	Cualitativo
41	Petrov & Atanasova. (2020)	Bulgaria	AR	Biología	80	Cuantitativo
42	Ibili et al. (2020)	Turquía	AR	Geometría	460	Cuantitativo
43	Saundarajan et al. (2020)	Malasia	AR	Algebra	33	Cuantitativo
44	Xiao et al. (2020)	China	AR	Geografía	36	Cualitativo
45	Bursali & Yilmaz. (2019)	Turquía	AR	Lectura	89	Cuantitativo
46	Özerbaş. (2019)	Turquía	AR	Física	45	Cuantitativo
47	Özyalçın & Avci. (2022)	Turquía	AR	Ciencias y Química	n/a	Cualitativo
48	Cai et al. (2020)	China	AR	Matemáticas	68	Mixto
49	Cheng et al. (2019)	Taiwán	AR	Matemáticas	24	Mixto
#	Autor(s). Año	País	TD	Disciplina	N	Metodología
50	Shu & Huang. (2021)	Taiwán	VR	Steam	120	Cuantitativo
51	Lin & Sumardani. (2023)	Taiwán	VR	Física	35	Cualitativo
52	Priya et al. (2022)	India	AR	Informática	41	Cualitativo
53	Wallgrün et al. (2022)	Estados Unidos	VR	Biología	400	Cuantitativo

C y T Ciencias y tecnología; TIC Tecnologías de la información y Comunicación; 3TD: AV-VR-IA

La Figura 2 muestra el número de investigaciones publicadas por año. Se observa un aumento de casi cinco veces en los estudios publicados que involucran TD aplicadas a diversos campos del conocimiento, esto al comparar los datos de 2019 con el 2022. Es posible que a causa de la pandemia de COVID-19 y la necesidad de implementar estrategias acordes para el aprendizaje en línea de los estudiantes, se halla generado un incremento significativo en la investigación

relacionada con las TD (Saura et al., 2022). Aunque la revisión sistemática se realiza en el primer semestre del 2023, se observa que el número de artículos publicados en lo que va del año supera a los publicados en el año 2019 e iguala a los del año 2020. En consecuencia, se puede esperar que, si se conserva la tendencia de crecimiento, la cantidad de investigaciones publicadas al finalizar el año 2023 sea mayor en comparación con los años anteriores.

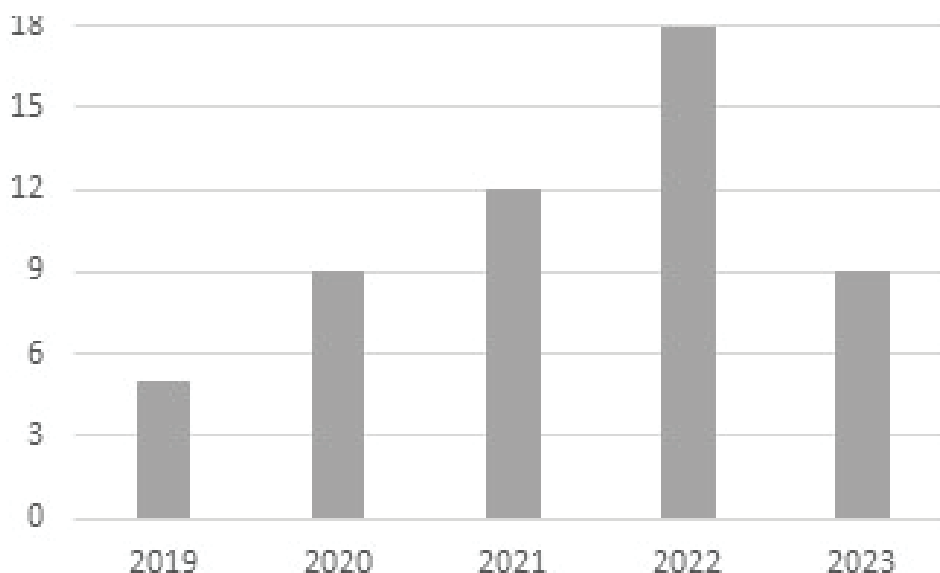


Figura 2. Distribución por año de las publicaciones seleccionadas.

La distribución de investigaciones por país relacionadas con TD en educación secundaria y agrupadas por zonas geográficas, se presenta en la Figura 3. Es notable que en Europa, España y Grecia lideran el número de investigaciones con tres (3) cada una. En Asia, China destaca con seis (6), mientras que, en la región de Eurasia, Turquía contribuye con diez (10) y Kazajistán con tres (3)

investigaciones. Esta significativa cantidad de investigaciones en diversos campos del conocimiento puede estar relacionado con políticas educativas adoptadas por estos países en busca de cumplir los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) propuestos por las Naciones Unidas para el año 2030 (Husamah et al., 2022).



Figura 3. Distribución de investigaciones por continente.

No obstante, se han encontrado pocas investigaciones en el continente americano. Llama la atención que, en América del sur, únicamente se ha identificado una investigación realizada por Gamboa-Ramos et al. (2021) en Perú, que utiliza la AR con el fin de desarrollar una aplicación destinada a mejorar el aprendizaje en ciencia y tecnología. Este bajo número de investigaciones puede explicarse en parte por el bajo porcentaje del Producto Interno Bruto (PIB) destinado a la educación en países en vías de desarrollo, en contraste con las naciones denominadas como países desarrollados (Brotherhood & Delalibera, 2020).

Otro aspecto a tener en cuenta en el análisis de esta revisión es la identificación de los enfoques metodológicos empleados en los estudios. En la Tabla 2 se proporciona un resumen de los tres (3) tipos de metodologías utilizadas. Se encontró que el 56,6% de las investigaciones se enmarcan en el enfoque cuantitativo, la metodología cuasi experimental fue la predominante en este enfoque. En esta misma línea, el 28,3% de los estudios tienen enfoque cuantitativo y optan por el estudio de caso.

Tabla 2. Distribución de las investigaciones por diseño metodológico y TD.

Diseño metodológico	f	Tecnología disruptiva		
		AR	VR	AI
Cuantitativo	30	17	11	5
Cualitativo	15	10	3	2
Mixto	8	7	0	1

En un menor porcentaje se ubica el enfoque mixto con un 15,1% del total de investigaciones. Cabe mencionar que en el estudio de Remolar et al., (2021) implementaron las tres

(3) TD en un enfoque cuantitativo. Además, en la investigación desarrollada por Daineko et al. (2020) usaron dos TD, la AR y la VR también en un enfoque cuantitativo.

3.1 Descripción sobre usos de las TD

Las TD han impactado varios campos del conocimiento en la educación secundaria. La aplicación de las TD en cada asignatura se encuentra relacionada en la tabla 3. De un total de 53 estudios, las ciencias (física, quími-

ca, biología, ciencias ambientales, ciencias y tecnología y astronomía) y las matemáticas (álgebra, geometría) presentan la mayor cantidad de estudios realizados con un 62%. En segundo lugar, se encuentran los estudios correspondientes a historia, geografía y economía con un 17%.

Tabla 3. Relación de áreas del conocimiento con las TD implementadas en cada estudio.

Campos del conocimiento	f	Tecnología disruptiva		
		AR	RV	IA
Ciencias y matemáticas	33	24	8	3
Historia, Geografía y Economía	10	5	5	3
Idiomas, Literatura y lectura	5	2	3	1
Informática y comunicaciones	3	3	n/a	n/a
Artes y Música	2	n/a	1	1

También se observa con base en las tablas 1 y 3, que la AR ha sido la TD más implementada con un 60.4% (n=32) de investigaciones realizadas, seguida por la VR con un 22.6% (n=12), y la IA con un 13.2% (n=7). Algunos estudios combinan el uso de diferentes TD como AR-VR y AR-VR-IA, cada una con valor cercano al 2% (n=1). La tabla 3 muestra que en áreas como: ciencias, matemáticas, historia y geografía, la AR es una tecnología implementada en cerca del 70% de las investigaciones. El alto porcentaje de intervenciones en AR en asignaturas de ciencias exactas puede deberse a los beneficios que presenta la herramienta ya que para el caso de las ciencias permite la interacción segura por parte de los estudiantes en comparación con la práctica real (Daineko et al., 2020). También, brinda la oportunidad de observar objetos de estudio de dimensiones del orden de 10^{-6} m tanto en química como en biología (Peeters et al., 2023).

De las 32 investigaciones que utilizaron las AR, seis (6) tuvieron como principal objetivo el diseño, construcción e implementación de aplicaciones. En el estudio de Koparan

et al. (2023) desarrollaron una aplicación para mejorar el modelado mental y el pensamiento geométrico; Volioti et al. (2022) buscaron mejorar la resolución de problemas, la motivación, la creatividad y el rendimiento académico en física; Pratama et al. (2021) diseñaron su herramienta para que los estudiantes comprendieran los conceptos sobre las capas de la tierra; Papakostas et al. (2023) crearon una aplicación de código abierto para el aprendizaje de las ciencias de la computación a través del juego; Özyalçın & Avci. (2022) abordaron temáticas de ciencias y química teniendo como eje central el trabajo colaborativo; y Şimşek & Direkçi. (2023) utilizaron la AR con imágenes de los libros para mejorar la comprensión inferencial en los procesos de lectura.

Se destaca el estudio de Zhang et al. (2023) con uso de la IA, en el que involucraron a 28808 estudiantes y tuvieron dos objetivos: el primero, cumplir con una política educativa orientada a disminuir las actividades extraescolares; y segundo, establecer acompañamiento, seguimiento y retroalimentación de forma personalizada. Para ello diseñaron

una estrategia denominada tarea inteligente, que consistió en establecer un protocolo de asignación de tareas permanentes con retroalimentación personalizada para cada estudiante. Esta podía ser aplicada a teléfonos móviles, tabletas o computadoras estableciendo un cambio en el paradigma de una educación estática, al permitir que la enseñanza y las retroalimentaciones se lleven a cabo en cualquier lugar y en el tiempo que considere el estudiante.

En general, los resultados obtenidos en las investigaciones después de implementar las TD en el proceso de enseñanza, arrojan que 23 investigaciones (43%,) obtuvieron un impacto estadísticamente positivo en cuanto a mejorar el rendimiento académico o aumentar el nivel de conocimiento. Además, 20 estudios encontraron que la implementación de TD en los campos del conocimiento en los que fueron incluidas, generaron buena percepción de las TD, motivación frente al aprendizaje, interés y curiosidad por utilizar las herramientas.

Ejemplo de ello se encuentra en los estudios realizados por Suhaimi et al. (2023) quienes buscaron subsanar una dificultad presentada por el mal uso de teléfonos móviles, convirtiéndolos en una herramienta para el desarrollo de la asignatura de historia aprovechando la AR; esto incidió en motivación para desarrollar el programa académico por parte de los estudiantes. Por su parte, Poçan et al. (2023) decidieron integrar la AR con WhatsApp para abordar conceptos de álgebra, lo cual aumentó el trabajo colaborativo y facilitó el aprendizaje. Stojanović et al. (2023) enfocaron su investigación al campo de la biología y bajo un análisis cualitativo encontraron que los estudiantes disfrutaban el uso de la AR en dispositivos móviles con fines de aprendizaje, además, generar en ellos la

sensación de eficiencia y productividad. Por su parte, Feng & Zhang, (2022) aplicaron VR al campo de las artes, encontrando un nuevo enfoque al permitir que la enseñanza de las artes deje de estar limitada a un tiempo y espacio predeterminados, lo que mejoró en gran medida los resultados de aprendizaje y la utilización de diferentes recursos. Por último, la investigación de (Bai, 2022) implementó hardware y software con IA para la enseñanza, la evaluación y retroalimentación de los estudiantes en el campo de la música.

No obstante, de los 53 estudios analizados, el 19% señalaron alguna dificultad o propusieron ajustes para futuras investigaciones. Estudios como los de Şimşek & Direkçi. (2023), Peeters et al. (2023), Volioti et al. (2022), Majeed & Alrikabi. (2022), Habiddin et al. (2022), Arici et al. (2021) y Rasheed et al. (2021) encontraron dificultades tales como acceso a computadores, celulares o tabletas, conectividad bien sea por falta de red internet o ancho de banda insuficiente, falta de experiencia por parte de los estudiantes o docentes en la manipulación de los equipos utilizados, número limitado de aplicaciones de software libre para integrar a las clases, necesidad de implementación de un modelo pedagógico acorde a la implementación de TD.

Además, la investigación de (Özerbaş. 2019) evidenció que la permanencia de los logros de aprendizaje alcanzados fue disminuyendo en el tiempo. Como lo indican Bai (2022), y Christopoulos et al. (2023), existe la necesidad de continuar investigando y perfeccionando el uso de las diferentes TD debido a su constante evolución. En este sentido, la implementación de las TD para generar un cambio significativo en el rendimiento académico, aumentar el nivel de conocimiento y disminuir la carga cognitiva, requieren de di-

dácticas y pedagogías propias para este tipo de metodologías de enseñanza aprendizaje y no integrar tecnologías nuevas a estrategias tradicionales (Amores-Valencia et al., 2023).

4. Conclusiones

Esta revisión identificó que entre los años 2019 y 2023 se presenta una tendencia de crecimiento en el número de investigaciones que utilizan TD en diversos campos de conocimiento. Al mismo tiempo se evidenció que países como China, Turquía, Taiwán, España, Malasia y Grecia son referentes en investigaciones en este campo y llevan el liderazgo en implementación de estas tecnologías en proceso de enseñanza. En este mismo sentido, no se encuentra un número representativo de investigaciones en América del sur, creando un nicho de estudio para futuras investigaciones.

Asimismo, se muestra una marcada tendencia al uso de la AR como tecnología predilecta para el desarrollo de temáticas tanto en ciencias, matemáticas y ciencias sociales. Siguiendo esta línea, la segunda TD más utilizada es la VR. También encontramos estudios donde se combinan dos y tres tecnologías.

En cuanto a los resultados en la aplicabilidad de las TD en educación secundaria es significativo destacar el alcance de las implementaciones, ya que abarcan un amplio espectro del campo de conocimiento pasando desde las ciencias exactas hasta las artes. En este sentido, se evidencia que las TD pueden generar cambios positivos en aspectos cognitivos, emocionales y creativos.

En síntesis, las TD pueden ser utilizadas de formas variadas, desde la inmersión en conceptos hasta la interacción con la IA a través de la retroalimentación y el seguimiento

del proceso académico. Sin embargo, es llamativa la ausencia de investigaciones que aborden la integración o combinación entre las TD, en particular entre la IA con la AR o la VR. Lo anterior ofrece oportunidades innovadoras y enriquecedoras para el aprendizaje de los estudiantes. Investigar y comprender esta interacción inexplorada podría arrojar luz sobre nuevas estrategias pedagógicas y enfoques de enseñanza en el futuro.

Contribución de los autores

Wilson Ferney Lancheros-Bohorquez: conceptualización, curaduría de datos, investigación, escritura del borrador original, revisión y edición del manuscrito.

Grace Judith Vesga-Bravo: conceptualización, curaduría de datos, investigación, escritura del borrador original, revisión y edición del manuscrito.

Implicaciones éticas

No existen implicaciones éticas por declarar en la escritura o publicación de este artículo.

Financiación

Los autores no recibieron recursos para la escritura o publicación de este artículo.

Conflictos de interés

No existen conflictos de interés de parte de los autores en la escritura o publicación de este artículo.

5. Referencias

Álvarez-Herrero, J.-F., & Hernández-Ortega, J. (2021). Didactic itineraries with smartphones to

- promote environmental education and digital competence among secondary school students. *Digital Education Review*, 39, 319–335. <https://doi.org/10.1344/DER.2021.39.319-335>
- Amores-Valencia, A., Burgos, D., & Branch-Bedoya, J. W. (2023). The Impact of Augmented Reality (AR) on the Academic Performance of High School Students. *Electronics (Switzerland)*, 12 (10). <https://doi.org/10.3390/electronics12102173>
- Arici, F., Yilmaz, R. M., & Yilmaz, M. (2021). Affordances of augmented reality technology for science education: Views of secondary school students and science teachers. *Human Behavior and Emerging Technologies*, 3 (5), 1153–1171. <https://doi.org/10.1002/hbe2.310>
- Bai, Y. (2022). Strategies for Improving the Quality of Music Teaching in Primary and Secondary Schools in the Context of Artificial Intelligence and Evaluation. *Security and Communication Networks*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/4680905>
- Ban Hassan Majeed, & ALRikabi, H. TH. S. (2022). Effect of Augmented Reality Technology on Spatial Intelligence among High School Students. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*, 17 (24), 131–143. <https://doi.org/10.3991/ijet.v17i24.35977>
- Bosmos, F., Tzallas, A. T., Tsipouras, M. G., Glavas, E., & Giannakeas, N. (2023). Virtual and Augmented Experience in Virtual Learning Tours †. *Information (Switzerland)*, 14 (5). <https://doi.org/10.3390/info14050294>
- Bozkurt, A., Karadeniz, A., Baneres, D., Guerrero-Roldán, A. E., & Rodríguez, M. E. (2021). Artificial Intelligence and Reflections from Educational Landscape: A Review of AI Studies in Half a Century. *Sustainability*, 13 (2), 800. <https://doi.org/10.3390/su13020800>
- Brotherhood, L., & Delalibera, B. R. (2020). Minding the gap between schools and universities. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 120, 104010. <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2020.104010>
- Bursali, H., & Yilmaz, R. M. (2019). Effect of augmented reality applications on secondary school students' reading comprehension and learning permanency. *Computers in Human Behavior*, 95, 126–135. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2019.01.035>
- Cabero-Almenara, J., Barroso-Osuna, J., Llorente-Cejudo, C., & Fernández-Martínez, M. del M. (2019). Educational Uses of Augmented Reality (AR): Experiences in Educational Science. *Sustainability*, 11 (18), 4990. <https://doi.org/10.3390/su11184990>
- Cai, S., Liu, E., Shen, Y., Liu, C., Li, S., & Shen, Y. (2020). Probability learning in mathematics using augmented reality: impact on student's learning gains and attitudes. *Interactive Learning Environments*, 28 (5), 560–573. <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1696839>
- Cheng, Y.-W., Wang, Y., Cheng, I.-L., & Chen, N.-S. (2019). An in-depth analysis of the interaction transitions in a collaborative Augmented Reality-based mathematic game. *Interactive Learning Environments*, 27 (5–6), 782–796. <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1610448>
- Chng, E., Tan, A. L., & Tan, S. C. (2023). Examining the Use of Emerging Technologies in Schools: a Review of Artificial Intelligence and Immersive Technologies in STEM Education. *Journal for STEM Education Research*. <https://doi.org/10.1007/s41979-023-00092-y>
- Christensen, C. M., & Dillon, K. (2020). Disruption 2020: An Interview With Clayton M. Christensen. *MIT Sloan Management Review*, 21–26.
- Christopoulos, A., Pellas, N., Bin Qushem, U., & Laakso, M. (2023). Comparing the effectiveness of video and stereoscopic 360° virtual reality-supported instruction in high school biology courses. *British Journal of Educational Technology*, 54 (4), 987–1005. <https://doi.org/10.1111/bjet.13306>

- Concari, S. (2014). Tecnologías emergentes ¿Cuáles usamos? *Latin American Journal of Physics Education.*, 494–503.
- Dai, C. P., & Ke, F. (2022). Educational applications of artificial intelligence in simulation-based learning: A systematic mapping review. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 3, 100087. <https://doi.org/10.1016/J.CAEAI.2022.100087>
- Daineko, Y., Ipalakova, M., Tsoy, D., Bolatov, Z., Baurzhan, Z., & Yelgondy, Y. (2020). Augmented and virtual reality for physics: Experience of Kazakhstan secondary educational institutions. *Computer Applications in Engineering Education*, 28 (5), 1220–1231. <https://doi.org/10.1002/cae.22297>
- Daniele, M. (2022). Using geo browsers and VR platforms to empower students' awareness of sustainability issues. *J-READING (Journal of Research and Didactics in Geography)*, 1.
- Deveci-Topal, A., Dilek-Eren, C., & Kolburan-Geçer, A. (2021). Chatbot application in a 5th grade science course. *Education and Information Technologies*, 26 (5), 6241–6265. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10627-8>
- Dimitriadou, E., & Lanitis, A. (2023). A critical evaluation, challenges, and future perspectives of using artificial intelligence and emerging technologies in smart classrooms. *Smart Learning Environments*, 10 (1), 12. <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00231-3>
- Feng, L., & Zhang, W. (2022). Design and Implementation of Computer-Aided Art Teaching System based on Virtual Reality. *Computer-Aided Design and Applications*, 20, 56–65. <https://doi.org/10.14733/CADAPS.2023.S1.56-65>
- Gamboa-Ramos, M., Gómez-Noa, R., Iparraguirre-Villanueva, O., Cabanillas-Carbonell, M., & Salazar, J. L. H. (2021). Mobile Application with Augmented Reality to Improve Learning in Science and Technology. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12 (10), 487–492. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2021.0121055>
- Gnidovec, T., Žemlja, M., Dolenc, A., & Torkar, G. (2020). Using Augmented Reality and the Structure–Behavior–Function Model to Teach Lower Secondary School Students about the Human Circulatory System. *Journal of Science Education and Technology*, 29 (6), 774–784. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09850-8>
- Gregorčič, T., & Torkar, G. (2022). Using the structure-behavior-function model in conjunction with augmented reality helps students understand the complexity of the circulatory system. *Advances in Physiology Education*, 46 (3), 367–374. <https://doi.org/10.1152/advan.00015.2022>
- Habiddin, H., Ashar, M., Hamdan, A., & Nasir, K. R. (2022). Digital Comic Media for Teaching Secondary School Science. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 16 (3), 159–166. <https://doi.org/10.3991/IJIM.V16I03.28967>
- Husamah, H., Suwono, H., Nur, H., & Dharmawan, A. (2022). Sustainable development research in Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education: A systematic literature review. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 18 (5). <https://doi.org/10.29333/ejmste/11965>
- İbili, E., Çat, M., Resnyansky, D., Şahin, S., & Billinghurst, M. (2020). An assessment of geometry teaching supported with augmented reality teaching materials to enhance students' 3D geometry thinking skills. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 51 (2), 224–246. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2019.1583382>
- Ingvavara, T., Panjaburee, P., Srisawasdi, N., & Sajjanroj, S. (2022). The use of a personalized learning approach to implementing self-regulated online learning. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 3. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100086>

- Jesionkowska, J., Wild, F., & Deval, Y. (2020). Active learning augmented reality for steam education—a case study. *Education Sciences*, 10 (8), 1–15. <https://doi.org/10.3390/educsci10080198>
- Jong, M. S.-Y., Tsai, C.-C., Xie, H., & Kwan-Kit Wong, F. (2020). Integrating interactive learner-immersed video-based virtual reality into learning and teaching of physical geography. *British Journal of Educational Technology*, 51 (6), 2063–2078. <https://doi.org/10.1111/bjjet.12947>
- Kececi, G., Yildirim, P., & Zengin, F. K. (2021). Determining the Effect of Science Teaching Using Mobile Augmented Reality Application on the Secondary School Students' Attitudes of toward Science and Technology and Academic Achievement. *Science Education International*, 32 (2), 137–148. <https://doi.org/10.33828/sei.v32.i2.7>
- Koparan, T., Dinar, H., Koparan, E. T., & Haldan, Z. S. (2023). Integrating augmented reality into mathematics teaching and learning and examining its effectiveness. *Thinking Skills and Creativity*, 47. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2023.101245>
- Lee, D., Kim, H.-H., & Sung, S.-H. (2023). Development research on an AI English learning support system to facilitate learner-generated-context-based learning. *Educational Technology Research and Development*, 71 (2), 629–666. <https://doi.org/10.1007/s11423-022-10172-2>
- Lin, C.-H., & Sumardani, D. (2023). Transitioning to virtual reality learning in 5E learning model: pedagogical practices for science learning. *Interactive Learning Environments*, 1–15. <https://doi.org/10.1080/10494820.2022.2160468>
- Lizcano-Sánchez, M., Gonzáles-Guevara, L. F., & García-Galván, J. (2023). Recursos y herramientas para la innovación del aprendizaje en la era digital. *Revista Ciencia & Sociedad*, 3 (1), 68–76.
- Lorenzo, N., Gallon, R., Palau, R., & Mogas, J. (2021). New Objectives for Smart Classrooms from Industry 4.0. *Technology, Knowledge and Learning*, 26 (4), 719–731. <https://doi.org/10.1007/s10758-021-09527-0>
- Mahanan, M. S., Ibrahim, N. H., Surif, J., & Nee, C. K. (2021). AR Module for Learning Changes of Matter in Chemistry. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 15 (23), 72–88. <https://doi.org/10.3991/ijim.v15i23.27343>
- Malakul, S., & Park, I. (2023). The effects of using an auto-subtitle system in educational videos to facilitate learning for secondary school students: learning comprehension, cognitive load, and satisfaction. *Smart Learning Environments*, 10 (1). <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00224-2>
- Martínez-Villalobos, G., & Ruiz-Rodríguez, D. (2022). Impacto del aula invertida con tecnologías emergentes en un curso del ciclo básico de ingeniería. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 27 (94), 971–997.
- Mat Zain, N. H., Ismail, I., Noh, N. A. M., Yasin, A. M., Othman, Z., & Che Yahaya, S. N. A. (2021). Virtual learning for human respiratory system via non-immersive VR (V-HURESYS): An evaluation. *Annals of Emerging Technologies in Computing*, 5(Special is), 86–93. <https://doi.org/10.33166/AETiC.2021.05.010>
- Ogata, H., Flanagan, B., Takami, K., Dai, Y., Nakamoto, R., & Takii, K. (2024). EXAIT: Educational eXplainable Artificial Intelligent Tools for personalized learning. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 19. <https://doi.org/10.58459/rptel.2024.19019>
- Oliveira, K. K. S., & Souza, R. A. C. (2020). Habilidade da transformação digital em direção à Educação 4.0. *RENOTE*, 18 (1).
- Özerbaş, D. S. (2019). The effect of marker-based augmented reality (MBAR) applications on academic achievement and permanence. *Universal Journal of Educational Research*, 7 (9), 1926–1932. <https://doi.org/10.13189/ujer.2019.070911>
- Özyalçın, B., & Avcı, F. (2022). Let's get to learn the particulate structure of matter with augmented reality!: a jigsaw IV technique lesson plan. *Science Activities*, 59 (2), 68–83. <https://doi.org/10.1080/00368121.2022.2056112>

- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *International Journal of Surgery*, 88, 105906. <https://doi.org/10.1016/j.ijssu.2021.105906>
- Papakostas, C., Troussas, C., Krouska, A., & Sgouropoulou, C. (2023). Exploring Users' Behavioral Intention to Adopt Mobile Augmented Reality in Education through an Extended Technology Acceptance Model. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 39 (6), 1294–1302. <https://doi.org/10.1080/10447318.2022.2062551>
- Patiño, A., Ramírez-Montoya, M. S., & Buenestado-Fernández, M. (2023). Active learning and education 4.0 for complex thinking training: analysis of two case studies in open education. *Smart Learning Environments*, 10 (1), 8. <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00229-x>
- Peeters, H., Habig, S., & Fechner, S. (2023). Does Augmented Reality Help to Understand Chemical Phenomena during Hands-On Experiments?—Implications for Cognitive Load and Learning. *Multimodal Technologies and Interaction*, 7 (2). <https://doi.org/10.3390/mti7020009>
- Petrov, P. D., & Atanasova, T. V. (2020). The Effect of augmented reality on students' learning performance in stem education. *Information (Switzerland)*, 11 (4). <https://doi.org/10.3390/INFO11040209>
- Poçan, S., Altay, B., & Yaşaroğlu, C. (2023). The Effects of Mobile Technology on Learning Performance and Motivation in Mathematics Education. *Education and Information Technologies*, 28 (1), 683–712. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11166-6>
- Popenici, S. A. D., & Kerr, S. (2017). Exploring the impact of artificial intelligence on teaching and learning in higher education. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 12 (1), 22. <https://doi.org/10.1186/s41039-017-0062-8>
- Pratama, H., Azman, M. N. A., Kenzhaliyev, O. B., Wijaya, H., & Kassymova, G. K. (2021). Application of augmented reality technology as an interactive learning medium in geography subjects. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*, 4 (448), 21–29. <https://doi.org/10.32014/2021.2518-170X.77>
- Priya, S., Bhadra, S., Chimalakonda, S., & Venigalla, A. S. M. (2022). ML-Quest : a game for introducing machine learning concepts to K-12 students. *Interactive Learning Environments*, 1–16. <https://doi.org/10.1080/10494820.2022.2084115>
- Rasheed, G., Khan, M., Malik, N., & Akhunzada, A. (2021). Measuring learnability through virtual reality laboratory application: A user study. *Sustainability (Switzerland)*, 13 (19). <https://doi.org/10.3390/su131910812>
- Remolar, I., Rebollo, C., & Fernández-Moyano, J. A. (2021). Learning History Using Virtual and Augmented Reality. *Computers*, 10 (11), 146. <https://doi.org/10.3390/computers10110146>
- Sato, S., & Kageto, M. (2018). The Use of 360-Degree Movies to Facilitate Students' Reflection on Learning Experiences. *2018 International Symposium on Educational Technology (ISET)*, 266–267. <https://doi.org/10.1109/ISET.2018.00066>
- Saundarajan, K., Osman, S., Daud, M. F., Abu, M. S., Pairan, M. R., & Kumar, J. A. (2020). Learning algebra using augmented reality. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 15(16), 123–133. <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i16.10540>
- Saura, G., Cancela, E., & Adell, J. (2022). New Keynesianism or smart austerity? Digital technologies and educational privatization post-COVID-19. *Education Policy Analysis Archives*, 30. <https://doi.org/10.14507/epaa.30.6926>

- Schmidt, J. T., & Tang, M. (2020). Digitalization in Education: Challenges, Trends and Transformative Potential. *In Führen und Managen in der digitalen Transformation*, 287–312. Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-28670-5_16
- Shu, Y., & Huang, T.-C. (2021). Identifying the potential roles of virtual reality and STEM in Maker education. *The Journal of Educational Research*, 114 (2), 108–118. <https://doi.org/10.1080/00220671.2021.1887067>
- Şimşek, B., & Direkçi, B. (2023). The effects of augmented reality storybooks on student's reading comprehension. *British Journal of Educational Technology*, 54 (3), 754–772. <https://doi.org/10.1111/bjet.13293>
- Stojanović, D., Bogdanović, Z., Petrović, L., Mitrović, S., & Labus, A. (2023). Empowering learning process in secondary education using pervasive technologies. *Interactive Learning Environments*, 31 (2), 779–792. <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1806886>
- Stojić, I., Ostojić, N., & Stanisavljević, J. (2022). Students' Acceptance of Mobile Augmented Reality Applications in Primary and Secondary Biology Education. *International Journal of Cognitive Research in Science, Engineering and Education*, 10 (3), 129–138. <https://doi.org/10.23947/2334-8496-2022-10-3-129-138>
- Stolzenberger, C., Frank, F., & Trefzger, T. (2022). Experiments for students with built-in theory: 'PUMA: Spannungslabor'-an augmented reality app for studying electricity. *Physics Education*, 57 (4). <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ac60ae>
- Suhaimi, H., Aziz, N. N., Mior Ibrahim, E. N., & Wan Mohd Isa, W. A. R. (2023). Technology Acceptance in Learning History Subject Using Augmented Reality Towards Smart Mobile Learning Environment: Case in Malaysia. *Journal of Automation, Mobile Robotics and Intelligent Systems*, 16 (2), 20–29. <https://doi.org/10.14313/jamris-2-2022-12>
- Toktamysov, S., Alwaely, S. A., & Gallyamova, Z. (2023). Digital technologies in history training: the impact on students' academic performance. *Education and Information Technologies*, 28 (2), 2173–2186. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11210-5>
- Villa-Guardiola, V. J., Romero-González, Z., & Hernández-Ramírez, S. L. (2022). Evaluación del impacto del Covid-19 en la educación básica de México y Colombia. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 12 (2), 229–238. <https://doi.org/10.19053/20278306.v12.n2.2022.15262>
- Volioti, C., Keramopoulos, E., Sapounidis, T., Melisidis, K., Zafeiropoulou, M., Sotiriou, C., & Spiridis, V. (2022). Using Augmented Reality in K-12 Education: An Indicative Platform for Teaching Physics. *Information (Switzerland)*, 13 (7). <https://doi.org/10.3390/info13070336>
- Wallgrün, J. O., Chang, J. S.-K., Zhao, J., Trenham, P., Sajjadi, P., Simpson, M., & Klippel, A. (2022). Place-based education through immersive virtual experiences — preparing biology students for the field. *Journal of Biological Education*, 1–24. <https://doi.org/10.1080/00219266.2022.2067580>
- Webb, M., Tracey, M., Harwin, W., Tokatli, O., Hwang, F., Johnson, R., Barrett, N., & Jones, C. (2022). Haptic-enabled collaborative learning in virtual reality for schools. *Education and Information Technologies*, 27 (1), 937–960. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10639-4>
- Xiao, J., Cao, M., Li, X., & Hansen, P. (2020). Assessing the effectiveness of the augmented reality courseware for starry sky exploration. *International Journal of Distance Education Technologies*, 18 (1), 19–35. <https://doi.org/10.4018/IJDET.2020010102>
- Zhang, W., Xiao, S., & Fu, W. (2023). Can "Smart Homework" Achieve the Goal of Chinese "Double Reduction" Policy to Reduce Burden and Improve Quality? The Positive and Negative Effects of "Smart Homework" on Students. *Sustainability*, 15 (12), 9759. <https://doi.org/10.3390/su15129759>

