

Inteligencia artificial en la enseñanza de las ciencias experimentales: herramientas, impactos y tendencias globales

Artificial intelligence in the teaching of experimental sciences: tools, impacts, and global trends

Santiago Torres Barahona¹, Gabriela Campos Mera²

¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador

² Universidad de Granada, España

santiago.torres@espoch.edu.ec , gabcampos@correo.ugr.es

RESUMEN. La inteligencia artificial (IA) transforma la enseñanza de ciencias experimentales en educación secundaria mediante la optimización de recursos, personalización del aprendizaje, evaluación estudiantil e integración de tecnologías como realidad virtual/aumentada. Este estudio realizó una revisión sistemática bajo el modelo de Newman y Gough y las directrices PRISMA, analizando la producción científica sobre IA en esta área. Se exploraron cinco preguntas: herramientas IA más usadas, objetivos, asignaturas, países con mayor investigación y resultados obtenidos. La búsqueda en Scopus, ERIC y WoS identificó 174 artículos, seleccionando 28 que cumplían criterios de inclusión. Los hallazgos destacan a ChatGPT como la herramienta más empleada, la Física como asignatura predominante y Estados Unidos como líder en investigaciones. Las herramientas IA se aplicaron con diversos fines pedagógicos, logrando resultados positivos en la mayoría de los casos, lo que evidencia su potencial para enriquecer y modernizar la enseñanza de las ciencias experimentales.

ABSTRACT. Artificial intelligence (AI) is transforming the teaching of experimental sciences in secondary education by optimizing educational resources, personalizing learning, assessing student progress, and integrating technologies such as virtual/augmented reality. This study conducted a systematic review following the Newman and Gough model and PRISMA guidelines to analyze scientific literature on AI in this field. Five research questions were explored: the most used AI tools, their objectives, relevant subjects, leading countries in research, and outcomes. A search across Scopus, ERIC, and WoS identified 174 articles, with 28 meeting inclusion criteria. Findings highlight ChatGPT as the most utilized tool, Physics as the predominant subject, and the United States as the leading country in research. AI tools were applied for diverse pedagogical purposes, yielding positive outcomes in most cases, demonstrating their potential to enrich and modernize experimental science education.

PALABRAS CLAVE: Inteligencia artificial, Ciencias experimentales, Educación secundaria, ChatGPT, Revisión sistemática.

KEYWORDS: Artificial intelligence, Experimental science, Secondary education, ChatGPT, Systematic review.

1. Introducción

La adopción de la Inteligencia Artificial (IA), definida por Kaplan y Haenlein (2019) como "la capacidad de un sistema para interpretar datos externos correctamente, aprender de dichos datos y usar esos aprendizajes para lograr objetivos y tareas específicas a través de la adaptación flexible" (p.17), está experimentando un crecimiento a nivel global.

Los recientes progresos en este campo han generado un impacto considerable tanto en los individuos como en sus actividades diarias. A medida que la IA y el aprendizaje automático continúan ganando aceptación entre el público general, su integración en diversos dispositivos, aplicaciones y servicios se torna cada vez más común (Quintero y Selwyn, 2018; Schindler et al., 2017). Es así que la IA está teniendo un impacto significativo en casi todos los aspectos de la vida humana, incluyendo la educación.

2. Revisión de la literatura

Los informes publicados por la UNESCO (Miao et al., 2021) y la OECD (2021) presentan evidencia del potencial que posee la IA para optimizar la educación mediante la automatización de diversas facetas del proceso de enseñanza, como tareas administrativas y evaluación; la personalización del aprendizaje y el acceso a nuevas herramientas tecnológicas tales como realidad virtual y realidad aumentada.

Así, Xu y Ouyang (2022) llevaron a cabo una revisión sistemática con el propósito de comprender a fondo las aplicaciones de la IA en la educación STEM. Su enfoque se centró en los elementos clave del sistema AI-STEM, la distribución de categorías de IA en relación con otros componentes, y los impactos de la IA en la educación STEM.

Por otro lado, Martínez-Comesaña et al. (2023) realizaron una revisión sistemática sobre el uso de la IA en la evaluación de estudiantes de educación primaria y secundaria. Su estudio analizó las utilidades principales de la IA en la evaluación educativa, resaltando las contribuciones y mejoras derivadas de su aplicación en este contexto.

Por su parte, Heeg y Avramidou (2023) realizaron una revisión sistemática sobre el uso de la IA en la enseñanza de las ciencias, examinando las aplicaciones de IA, los contenidos abordados y el impacto en la enseñanza y el aprendizaje de la ciencia escolar.

Más allá de los estudios descriptivos, resulta esencial considerar los enfoques pedagógicos que sustentan la integración de la IA en la enseñanza de las ciencias. Entre los más relevantes se encuentran el aprendizaje adaptativo, el aprendizaje basado en datos y el constructivismo digital. El aprendizaje adaptativo se apoya en sistemas que ajustan el ritmo, la secuencia y la dificultad de las actividades según las necesidades del estudiante, ofreciendo itinerarios personalizados que favorecen la autorregulación del aprendizaje. Investigaciones como las de Luckin et al. (2016) y Holmes et al. (2019) señalan que estos sistemas incrementan el compromiso y la motivación de los estudiantes, aunque advierten que la evidencia sobre mejoras sostenidas en comprensión conceptual aún es limitada. Por su parte, el aprendizaje basado en datos (data-driven learning) se sustenta en el uso de analíticas de aprendizaje que permiten identificar patrones de comportamiento, predecir desempeños y diseñar intervenciones pedagógicas más precisas. Según Baker e Inventado (2014), estas herramientas pueden mejorar la toma de decisiones docentes, aunque requieren una formación sólida para interpretar correctamente los resultados y evitar sesgos algorítmicos. Finalmente, el constructivismo digital propone utilizar la IA como medio para promover experiencias de aprendizaje activas, creativas y basadas en la indagación. En el ámbito de las ciencias, los entornos que combinan simuladores, laboratorios virtuales y agentes inteligentes han demostrado ser valiosos para fortalecer la comprensión de conceptos complejos y fomentar el pensamiento científico (Heeg y Avraamidou, 2023; Holmes et al., 2019).

La literatura reciente también evidencia un interés creciente en analizar el papel de la IA en contextos iberoamericanos y latinoamericanos, donde los desafíos estructurales y socioculturales aportan perspectivas



complementarias. Investigaciones como las de Salas-Pilco y Yang (2022) muestran que en América Latina la aplicación de la IA en educación superior y media se concentra principalmente en sistemas de predicción académica, chatbots y analíticas institucionales, pero aún existe una adopción desigual entre países. De igual forma, Fernández-Miranda (2024) y García-Peñalvo (2024) subrayan que la región enfrenta obstáculos vinculados con la brecha digital, la disponibilidad de datos y la necesidad de incorporar enfoques pedagógicos propios, más críticos y contextualizados. Estas investigaciones sostienen que la IA en América Latina debe entenderse como un fenómeno social y educativo, y no solo como una tendencia tecnológica, reconociendo la diversidad cultural y la inequidad educativa que caracterizan al continente. Por tanto, incorporar estudios iberoamericanos en el análisis de la literatura permite ampliar la comprensión sobre la apropiación de la IA y sus implicaciones en entornos educativos con recursos limitados, alta heterogeneidad y desigual acceso a la innovación.

Finalmente, el debate actual sobre la IA en la educación científica no puede desligarse de una reflexión sobre los desafíos éticos, epistemológicos y formativos que plantea su implementación. En el plano ético, se discuten los riesgos asociados al uso indebido de datos personales, la reproducción de sesgos algorítmicos y la transparencia de los sistemas inteligentes (Miao et al., 2021). Desde el punto de vista epistemológico, la IA introduce nuevas formas de producir y validar conocimiento, lo que puede transformar las prácticas tradicionales de la enseñanza científica, especialmente cuando las decisiones pedagógicas dependen de algoritmos que priorizan respuestas correctas sobre procesos de razonamiento (Heeg y Avraamidou, 2023). En el ámbito formativo, diversos autores insisten en la necesidad de preparar a los docentes para interpretar los resultados generados por sistemas inteligentes y mantener el sentido humano de la enseñanza (Holmes et al., 2019). Si los profesores no cuentan con las competencias necesarias para mediar entre los datos y el aprendizaje, la IA corre el riesgo de ser un recurso instrumental más, sin impacto real en la comprensión científica de los estudiantes.

En síntesis, la literatura revisada ofrece una valiosa visión sobre el panorama actual de la investigación y las oportunidades de aplicación de la IA en la educación. No obstante, es crucial analizar detenidamente la investigación actual sobre el uso de la IA en la enseñanza de las ciencias experimentales, especialmente en la educación secundaria, siendo este el enfoque de la presente revisión, misma que será de gran relevancia al incluir las investigaciones realizadas en los años 2023 y 2024 dónde la utilización de la inteligencia artificial generativa en la educación ha aumentado considerablemente debido a la popularización de los chatbots.

Por consiguiente, el propósito de este artículo de revisión sistemática es caracterizar la producción científica en torno al uso de la IA en la enseñanza de las ciencias experimentales en educación secundaria. Con el fin de abordar este objetivo general, se han planteado las siguientes interrogantes de investigación:

- PI-1.- ¿Cuáles son las aplicaciones de inteligencia artificial más utilizadas en las enseñanzas STEM?
- PI-2.- ¿Cuáles son los contenidos STEM más abordados con la inteligencia artificial?
- PI-3. ¿Con qué objetivos se afronta la enseñanza STEM desde la inteligencia artificial?
- PI-4. ¿En qué países se utiliza la inteligencia artificial para las enseñanzas STEM?
- PI-5. ¿Qué resultados se obtienen en las investigaciones que usan la Inteligencia artificial para las enseñanzas STEM?
- PI-5.1 ¿Qué efectividad demuestran tener los chatbots como tutores virtuales?
- PI-5.2. ¿Qué impacto tienen las aplicaciones de IA en la motivación, el rendimiento académico y en la participación de los estudiantes en las enseñanzas STEM?
- PI-5.3 ¿Qué desafíos destacan de las investigaciones que utilizan aplicaciones de IA en las enseñanzas STEM?
- PI-5.4 ¿Qué limitaciones destacan de las investigaciones que utilizan aplicaciones de IA en las enseñanzas STEM?
- PI-5.5 Otros resultados o hallazgos importantes.

3. Metodología

Se ha realizado una revisión sistemática con el propósito de recopilar y sintetizar los hallazgos de artículos que responden a las preguntas de investigación planteadas. Para lograr este objetivo, se ha seguido el modelo propuesto por Newman y Gough (2020), el cual comprende diversas etapas: formulación de la investigación, definición de criterios de inclusión, desarrollo de estrategias de búsqueda, selección de artículos conforme a los criterios establecidos, codificación, evaluación de las investigaciones, consolidación de los resultados para abordar la investigación e informe de los hallazgos. Asimismo, se ha empleado la guía PRISMA 2020, desarrollada por Page et al. (2021), para respaldar el proceso de revisión sistemática. La revisión de la literatura se llevó a cabo en Noviembre de 2024. Las bases de datos consultadas en esta investigación, que abarcan el campo de la investigación educativa, corresponden a las bases de datos de producción científica más reconocidas a nivel internacional.

- Scopus de Elsevier.
- Educational Resource Information Center (ERIC), del Departamento de Educación de Estados Unidos de América.
- Web of Science (WoS) de Clarivate Analytics.

Las cadenas o ecuaciones de búsqueda utilizadas se detallan en la tabla 1. Inicialmente, se identificaron 174 documentos. Tras eliminar citas duplicadas (15) en la primera etapa, se redujo la cifra a 159 documentos. Posteriormente, de acuerdo con los criterios de inclusión, se filtró por año de publicación (59) y se cribó registros tras leer el título y resumen (26), arrojando 74 artículos. Más adelante se analizaron los 74 documentos a texto completo utilizando los siguientes criterios de inclusión:

1. Artículos publicados entre los años 2016 y 2024 (ambos años inclusive).
2. Artículos escritos en inglés (ámbito internacional) o español (ámbito iberoamericano).
3. Artículos en las bases de datos establecidas, excluyéndose los proceeding papers o documentos de conferencias, ya que se entiende que estos últimos son documentos que no siempre recogen investigaciones finalizadas, además se excluyen libros, capítulos de libros y revisiones sistemáticas y de la literatura.
4. Artículos que incluyan estudios empíricos y/o programas de intervención, propuestas didácticas o innovaciones que utilicen IA.
5. Artículos que impliquen el trabajo con IA en las áreas de Física, Química, Biología y Geología (se excluyen las restantes áreas)
6. Artículos dirigidos a estudiantes de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato.

En base a estos criterios se descartaron 33 documentos de conferencias, tres libros, cinco revisiones de la literatura, tres artículos dirigidos a estudiantes universitarios, dos artículos escritos en chino dando como resultado 28 artículos que se incluyen dentro de la revisión sistemática (ver figura 1)

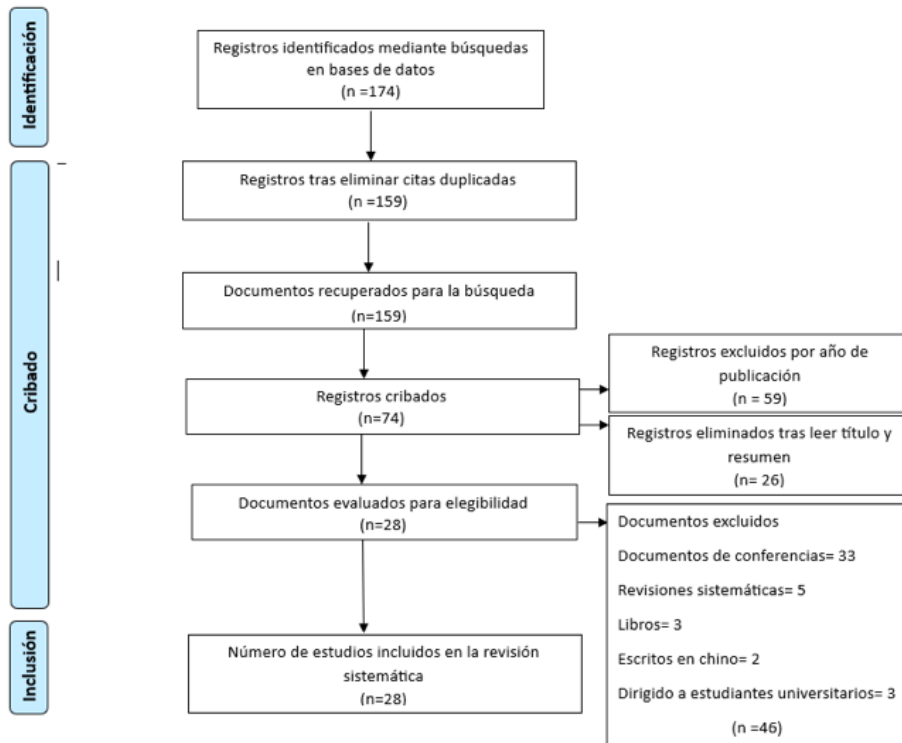


Figura 1. Diagrama de flujo, según Declaración PRISMA. Fuente: Elaboración propia.

Base de datos	Ecuación	Resultados
Scopus	TITLE-ABS-KEY ("artificial intelligence") AND TITLE-ABS-KEY ("STEM education" OR "science education" OR "physic" education" OR "chemi" education" OR "bio" education" OR "geo" education" OR "mathematic" education" OR "engineering education" OR "technology" education" OR "STEM learning" OR "science learning" OR "physic" learning" OR "chemi" learning" OR "bio" learning" OR "geo" learning" OR "mathematic" learning" OR "engineering learning" OR "STEM teaching" OR "science teaching" OR "physic" teaching" OR "chemi" teaching" OR "bio" teaching" OR "geo" teaching") AND TITLE-ABS-KEY ("secondary school" OR "secondary education" OR "high school" OR "middle school" OR "upper school")	264
WoS	((TS=("artificial intelligence")) AND TS=("STEM education" OR "science education" OR "physic" education" OR "chemi" education" OR "bio" education" OR "geo" education" OR "mathematic" education" OR "engineering education" OR "technology" education" OR "STEM learning" OR "science learning" OR "physic" learning" OR "chemi" learning" OR "bio" learning" OR "geo" learning" OR "mathematic" learning" OR "engineering learning" OR "STEM teaching" OR "science teaching" OR "physic" teaching" OR "chemi" teaching" OR "bio" teaching" OR "geo" teaching")) AND TS=("secondary school" OR "secondary education" OR "high school" OR "middle school" OR "upper school")	61
ERIC	("artificial intelligence") AND ("STEM education" OR "science education" OR "physic" education" OR "chemi" education" OR "bio" education" OR "geo" education" OR "mathematic" education" OR "engineering education" OR "technology" education" OR "STEM learning" OR "science learning" OR "physic" learning" OR "chemi" learning" OR "bio" learning" OR "geo" learning" OR "mathematic" learning" OR "engineering learning" OR "STEM teaching" OR "science teaching" OR "physic" teaching" OR "chemi" teaching" OR "bio" teaching" OR "geo" teaching") AND ("secondary school" OR "secondary education" OR "high school" OR "middle school" OR "upper school")	

Tabla 1. Protocolo de búsqueda. Fuente: Elaboración propia.

4. Resultados

Se presentarán los resultados por cada pregunta de investigación.

PI-1.- ¿Cuáles son las herramientas con IA más utilizadas en la investigación relacionada con la enseñanza de las Ciencias Experimentales?

La herramienta más utilizada en las investigaciones correspondientes a esta revisión sistemática son los chatbots: Chat GPT y Bing AI, examinado por siete referencias. Otra de las herramientas más utilizadas son los Modelos de aprendizaje automático (ML) utilizados por cuatro autores. Asimismo, cuatro autores exploraron diversas aplicaciones de realidad aumentada (RA).

Además, se emplearon herramientas como sistemas de aprendizaje en línea autorregulado, sistemas de diálogo tutorial (TDS) como Rimac, software de comprensión de bocetos como CogSketch, modelos de aprendizaje automático, bibliotecas de código abierto para aprendizaje automático como Google TensorFlow, algoritmos genéticos, asistentes virtuales inteligentes como Siri de Apple, agentes conversacionales basados en texto, entornos de desarrollo integrado como PyCharm, herramientas para desarrollo de aplicaciones de IA y análisis de datos como Google Colab, generadores de videos con IA como Synthesia, mapas de expresiones matemáticas dinámicas e interactivas, redes neuronales artificiales, y modelos de red neuronal híbrida como CNN-BiLSTM.

En la tabla 2 se muestran a detalle las referencias correspondientes a cada una de las herramientas con IA.

Nombre de la herramienta de IA	Referencias	Número
Chatbot: ChatGPT	Bitzenbauer (2023); Küchemann et al. (2023); Talanquer (2023); Araújo y Saúde (2024); Polverini y Gregoric (2024); Yeadon y Hardy (2024)	6
Modelos de aprendizaje automático (ML)	Jiang et al. (2023); Lee et al. (2023); Burke et al. (2024); Kim et al. (2024)	4
Chatbot: Bing AI	De Souza et al. (2024)	1
App de RA de circuito eléctrico unidireccional	Derlina et al. (2020)	1
App de RA: Mirage AR9	Gregorić y Torkar (2022)	1
Sistema de aprendizaje en línea autorregulado	Ingkavara et al. (2022)	1
TDS (sistemas de diálogo tutorial): Rimac	Katz et al. (2021)	1
Software de comprensión de bocetos: CogSketch	Forbus et al. (2017)	1
Biblioteca de código abierto para aprendizaje automático: Google TensorFlow	Manikandan y Chinnadurai (2020)	1
Algoritmos genéticos (evolutivos)	Mokshin et al. (2020)	1
Asistente virtual inteligente: Siri de Apple	Nasri et al. (2021)	1
Agentes conversacionales eficaces basados en texto (CAs): Kibot menos-conocido-par y Kibot experto	Nguyen (2022)	1
App de RA	Nurhasanah et al. (2019)	1
Entorno de desarrollo integrado (IDE) utilizado para programar en Python: PyCharm	Oh y Seongjoo (2021)	1
Herramienta para el desarrollo de aplicaciones de IA y Análisis de datos: Google Colab	Oskotsky et al.	1
Generador de videos con IA: Synthesia	Hernández-Ramos et al. (2023)	1
App de RA "PUMA: Spannungslabor"	Stolzenberger et al. (2022)	1
Mapas de Expresiones Matemáticas Dinámicas e Interactivas (DIME)	Rugh et al. (2023)	1
Redes artificiales neuronales	Yağcı y Çevik (2019)	1
Modelo de red neuronal híbrida llamado CNN-BiLSTM	Song et al. (2023)	1
	TOTAL	28

Tabla 2. Herramientas con IA más utilizados en las investigaciones. Fuente: Elaboración propia.



PI-2.- ¿Cuáles son las asignaturas más abordadas mediante IA en la investigación relacionada con la enseñanza de las ciencias experimentales?

En el análisis de las investigaciones recopiladas, la Física destaca como la disciplina más abordada, con 15 artículos representando el 45,45% del total revisado. Le sigue la asignatura de Química con 10 artículos que representan el 30,30% de las investigaciones consideradas en esta revisión sistemática. Luego tenemos a la asignatura de Biología, abordada en 7 artículos, que representan el 21,21%. La Geociencia ocupa el último puesto con un único artículo investigado, representando un 3,03%. Es importante mencionar que en los estudios de Yağci y Çevik (2019) y de Manikandan y Chinnadurai (2020), se abordaron conjuntamente las disciplinas de Física, Química y Biología. Asimismo, en la investigación de Forbus et al. (2017), se analizaron de manera conjunta Biología y Geociencia.

La tabla 3 muestra los trabajos que investigaron las herramientas con IA en cada una de las asignaturas mencionadas. Se abreviaron las abreviaturas y acrónimos la primera vez que se usan en el texto, incluso después de que se hayan definido en el resumen. No use abreviaturas en el título o encabezados a menos que sean inevitables.

Asignatura	Autores	Número	Porcentaje
Física	Yağci y Çevik (2019); Derlina et al. (2020); Manikandan y Chinnadurai (2020); Mokshin et al. (2020); Katz et al. (2021); Nasri et al. (2021); Ingkavara et al. (2022); Stolzenberger et al. (2022); Bitzenbauer (2023); Küchemann et al. (2023); Rugh et al. (2023); Song et al. (2023); De Souza et al. (2024); Polverini y Gregorcic (2024); Yeadon y Hardy (2024).	15	45,45%
Química	Yağci y Çevik (2019); Manikandan y Chinnadurai (2020); Oh y Seongjoo (2021); Jiang et al. (2023); Lee et al. (2023); Hernández-Ramos et al. (2023); Talanquer (2023); Araújo y Saúde (2024); Burke et al. (2024); Kim et al. (2024).	10	30,30%
Biología	Forbus et al. (2017); Nurhasanah et al. (2019); Yağci y Çevik (2019); Manikandan y Chinnadurai (2020); Gregorčič y Torkar (2022); Nguyen (2022); Oskotsky et al. (2022)	7	21,21%
Geociencia	Forbus et al. (2017)	1	3,03%

Tabla 3. Asignaturas abordadas en las investigaciones sobre uso de IA para la enseñanza de las ciencias. Fuente: Elaboración propia.

PI-3.- ¿Con qué objetivos se usan las herramientas de IA en la investigación relacionada con la enseñanza de las ciencias experimentales?

Con base en los artículos revisados, se ha investigado el uso de herramientas con IA para alcanzar diversos objetivos que contribuyen a enriquecer y transformar la enseñanza de las ciencias experimentales en el contexto educativo actual. A continuación, se detallan estos objetivos clasificados por categorías:

- Mejorar los resultados y experiencias de aprendizaje de los estudiantes en ciencias, IA y sus interacciones (Forbus et al., 2017; Nurhasanah et al., 2019; Derlina et al., 2020; Katz et al., 2021; Nasri et al., 2021; Oh y Seongjoo, 2021; Gregorčič y Torkar, 2022; Nguyen, 2022; Stolzenberger et al., 2022; Rugh et al., 2023; Jiang et al., 2023; Hernández-Ramos et al., 2023).
- Analizar, clasificar, evaluar y predecir datos (Yağci y Çevik, 2019; Manikandan y Chinnadurai, 2020; Mokshin et al., 2020; Ingkavara et al., 2022; Lee et al., 2023; Song et al., 2023; Burke et al., 2024; Kim et al., 2024).
- Mejorar la opinión de los estudiantes sobre la IA y el aprendizaje en línea autorregulado con el enfoque de aprendizaje personalizado (Bitzenbauer, 2023; Ingkavara et al., 2022; Oskotsky et al., 2022).
- Obtener información sobre el alcance y limitaciones de los chatbots (Küchemann et al., 2023; Talanquer, 2023; Araújo y Saúde, 2024; Polverini y Gregorcic, 2024; Yeadon y Hardy, 2024).

- Ilustrar la conceptualización y las habilidades de interacción de los estudiantes con la IA en el contexto de conceptos complejos (De Souza et al., 2024)

PI-4.- ¿En qué países es más frecuente el uso de la IA en la investigación relacionada con la enseñanza de las ciencias experimentales?

Según las investigaciones revisadas, se ha determinado que Estados Unidos es el país donde se llevan a cabo la mayoría de las investigaciones sobre la aplicación de la IA para mejorar la enseñanza de las ciencias, con un total de 8 estudios realizados, lo que representa un 27,59% de todos los artículos analizados en esta revisión sistemática. En segundo lugar, se encuentra Alemania, con tres estudios representando el 10,34%. En tercer lugar, se encuentran en empate Indonesia, Malasia y la República de Corea con dos investigaciones cada una, representando el 6,90% de los artículos revisados en cada caso.

Además de los países mencionados, se están llevando a cabo investigaciones sobre las aplicaciones de la IA en la enseñanza de las ciencias en países asiáticos como Turquía, India, Tailandia, Corea del Sur y China, así como en países europeos como Rusia y Eslovenia. También se incluye en las investigaciones a dos países sudamericanos, Chile y Brasil. Es relevante destacar que el estudio realizado por Yağcı y Çevik (2019) se llevó a cabo en dos países, Turquía y Malasia.

En la tabla 4 se detallan los países donde se han realizado las investigaciones, junto con sus respectivos autores.

Asignatura	Autores	Número	Porcentaje
Estados Unidos	Forbus et al. (2017); Katz et al. (2021); Nguyen (2022); Oskotsky et al. (2022); Jiang et al. (2023); Rugh et al. (2023); Talanquer (2023), Burke et al. (2024)	8	27,59%
Alemania	Stolzenberger et al. (2022); Bitzenbauer (2023); Küchemann et al. (2023)	3	10,34%
Indonesia	Nurhasanah et al. (2019); Derlina et al. (2020).	2	6,90%
Malasia	Yağcı y Çevik (2019); Nasri et al. (2021).	2	6,90%
República de Corea	Oh y Seongjoo (2021), Kim et al. (2024)	2	6,90%
Turquía	Yağcı y Çevik (2019)	1	3,45%
India	Manikandan y Chinnadurai (2020)	1	3,45%
Rusia	Mokshin et al. (2020)	1	3,45%
Eslovenia	Gregorčič y Torkar (2022)	1	3,45%
Tailandia	Ingvavara et al. (2022)	1	3,45%
Corea del Sur	Lee et al. (2023)	1	3,45%
Chile	Hernández-Ramos et al. (2023)	1	3,45%
China	Song et al. (2023)	1	3,45%
Portugal	Araújo y Saúde (2024)	1	3,45%
Brasil	De Souza et al. (2024)	1	3,45%
Suecia	Polverini y Gregorcic (2024)	1	3,45%
Reino Unido	Yeadon y Hardy (2024)	1	3,45%

Tabla 4. Países en los que se han realizado las investigaciones sobre IA para la enseñanza de las ciencias. Fuente: Elaboración propia.

PI-5.- ¿Qué resultados se han obtenido en las investigaciones que utilizan la IA para la enseñanza de las ciencias experimentales?

Tras analizar todos los artículos, se constató el impacto positivo en el uso de la IA en la enseñanza de las ciencias. Las herramientas empleadas lograron cumplir satisfactoriamente sus propósitos. A continuación, se detallan los resultados obtenidos en cada artículo revisado, clasificados según sus respectivos objetivos:

Torres Barahona, S., & Campos Mera, G. (2026). Inteligencia artificial en la enseñanza de las ciencias experimentales: herramientas, impactos y tendencias globales. *Campus Virtuales*, 15(2), 31-45. <https://doi.org/10.54988/cv.2026.2.1698>

Mejora de los resultados y experiencias de aprendizaje de los estudiantes en ciencias, IA y sus interacciones

Los resultados en esta categoría han sido positivos.

1. Nurhasanah et al. (2019) concluyeron que la aplicación de RA tiene un impacto positivo en la comprensión de los conceptos del sistema nervioso por parte de los alumnos.
2. Derlina et al. (2020) también destacaron que el modelo de aprendizaje combinado con RA mejora significativamente los resultados de aprendizaje y fomenta la participación activa de los estudiantes.
3. En el estudio de Gregorčič y Torkar (2022), se evidenció que el uso de RA puede ayudar a los estudiantes de primer ciclo de secundaria a comprender la complejidad del sistema circulatorio, ya que esta tecnología brinda un soporte eficaz para el aprendizaje tridimensional de sistemas complejos.
4. Asimismo, Stolzenberger et al. (2022) concluyeron que la aplicación de la RA permite a los estudiantes realizar observaciones experimentales y explicarlas con analogías teóricas superpuestas sobre la configuración experimental, lo que facilita una comprensión más profunda e interrelacionada de los temas tratados en las clases de Física.
5. Por otro lado, Rugh et al. (2023) destacaron los efectos positivos de los mapas Mapas de Expresiones Matemáticas Dinámicas e Interactivas DIME en los resultados cognitivos y afectivos del aprendizaje de los estudiantes, promoviendo el crecimiento de la autoeficacia y las conexiones en el conocimiento al aliviar la carga cognitiva y permitir una comprensión más sólida de la semántica y la sintaxis de los términos matemáticos en Física.
6. En un estudio distinto, Oh y Seongjoo (2021) determinaron que la utilización de reconocimiento de voz por IA facilita una comprensión más profunda de los conceptos científicos, al brindar mayor flexibilidad en el ajuste del dispositivo experimental.
7. De igual forma, Jiang et al. (2023) concluyeron que el plan de estudios integrado con IA aumentó el interés de los estudiantes en la Química y el aprendizaje automático, demostrando la relevancia de la ciencia en la vida cotidiana y en la comprensión de problemas globales.
8. Finalmente, Hernández-Ramos et al. (2023) reportó que el uso de la IA en la generación de videos apoyó de forma positiva la creación de un curso e-learning de Química Computacional Educativa en el que se evidenciaron resultados positivos de los docentes que participaron del curso quienes proyectaron los conocimientos, habilidades informáticas y aprendizajes adquiridos en su labor profesional como docentes de Química, demostrando así la practicidad en el uso de la IA para la generación de recursos visuales educativos para las clases de ciencias.

Asimismo, las investigaciones donde existió interacción entre estudiantes y los agentes inteligentes generaron resultados positivos, como evidencian investigaciones analizadas en esta revisión sistemática. Es así que, Forbus et al. (2017) destacan que las representaciones visuales específicas de CogSketch resultan beneficiosas para la comprensión y creación de bocetos en diversos campos de la educación STEM. Katz et al. (2021) concluyen que tanto estudiantes con un nivel elevado como bajo de conocimientos previos logran un aprendizaje más eficaz al interactuar con el tutor RIMAC dinámico. Asimismo, Nasri et al. (2021) determinaron que Siri de Apple contribuye positivamente al aprendizaje al brindar un andamiaje oportuno, mejorando las habilidades de indagación científica en estudiantes de Física. Por otro lado, Nguyen (2022) señala que la interacción con agentes inteligentes fomenta el cuestionamiento y la construcción colectiva, promoviendo el debate, la reflexión y la generación de ideas. Además, esta interacción facilita el razonamiento, la transactividad y la receptividad de los estudiantes hacia dichos agentes.

Análisis, clasificación, evaluación y predicción de datos

La aplicación de la IA fue exitosa para el cumplimiento de este objetivo. Por ejemplo, Yağci y Çevik (2019) señalaron que el modelo de redes neuronales implementado logró predicciones altamente precisas en relación al rendimiento académico de los estudiantes. De igual modo, Manikandan y Chinnadurai (2020) destacaron que TensorFlow facilitó el análisis, clasificación y predicción del desempeño estudiantil, ofreciendo datos fundamentales para las decisiones académicas y profesionales de los alumnos. Asimismo, Mokshin et al. (2020)

determinaron que los modelos de regresión generados a través de algoritmos genéticos suministran información valiosa acerca del proceso educativo en el área de Física, lo que permite proponer mejoras para el rendimiento académico. En un contexto similar, Ingkavara et al. (2022) observaron que los sistemas de enseñanza en línea contribuyeron al progreso del aprendizaje de los estudiantes del grupo experimental, promoviendo sus habilidades de aprendizaje autorregulado. Lee et al. (2023) informaron que el modelo de IA desarrollado tuvo éxito en clasificar y evaluar las representaciones visuales de conceptos científicos dibujadas a mano por los alumnos en respuestas libres, evidenciando la viabilidad de la IA para automatizar evaluaciones de representaciones de conceptos científicos, especialmente aquellas realizadas en papel y lápiz. Por otra parte, Song et al. (2023) concluyeron que el modelo de aprendizaje automático (CNN-BiLSTM) desarrollado logró clasificar con éxito el contenido semántico del diálogo en el aula, alcanzando un nivel de desempeño aceptable comparable a la codificación humana. Gracias a esto, se pudo identificar rápidamente la calidad del diálogo en el aula, lo que permitirá gestionar las interacciones en clase con mayor eficacia, fomentando un diálogo más productivo. De igual manera, Kim et al. (2024) reportaron que el modelo de aprendizaje automático creado predijo con precisión el tipo de compuesto químico en el conjunto de datos desconocido, además predijo los puntos de ebullición de algunos compuestos arbitrarios dentro del rango de error promedio de 4.49K. Finalmente, Burke et al. (2024) reportaron que su modelo de aprendizaje automático permitió predecir la mejor manera de fabricar nuevas moléculas con propiedades biológicas y materiales deseables, acelerando, promoviendo y democratizando la innovación molecular.

Mejora de la opinión y conocimiento de los estudiantes sobre la IA y el aprendizaje en línea autorregulado con el enfoque de aprendizaje personalizado

Los tres artículos incluidos en esta categoría, demostraron éxito en el cumplimiento de los objetivos con los que usaron la IA para la enseñanza de las ciencias. Bitzebauer (2023) concluyó que la interacción con el chatbot generó un impacto positivo en las percepciones de los estudiantes sobre ChatGPT, evidenciando un aumento en la aceptación de afirmaciones relacionadas con sus beneficios y su integración en la vida diaria. Por otro lado, Ingkavara et al. (2022) informaron que la utilización de sistemas de aprendizaje en línea con IA mejoró la percepción de los estudiantes acerca del aprendizaje en línea autorregulado. Del mismo modo, Oskotsky et al. (2022) destacaron que tras completar un programa educativo que abordaba conceptos de IA en el campo de la biomedicina, los estudiantes adquirieron habilidades en programación, manipulación de datos e IA. Además, lograron comprender cómo la IA puede contribuir a la investigación científica.

Obtención de información sobre el alcance y limitaciones de los chatbots

Las investigaciones incluidas dentro de esta categoría trataban de identificar las ventajas e inconvenientes de los chatbots, logrando su objetivo al obtener información valiosa sobre el comportamiento de los chatbots, específicamente de ChatGPT. Según Küchemann et al. (2023), ChatGPT fue eficiente en la creación de tareas de Física, creando las actividades con la frecuencia, dificultad y calidad adecuada. Sin embargo, existió deficiencias en la especificidad de las tareas creadas. Por su parte, Araújo y Saúde (2024) informaron que ChatGPT fue eficiente interpretando y reproduciendo el lenguaje simbólico especializado de la Química, conceptualizando eficazmente los problemas y las actividades de laboratorio de forma clara y comprensible para los estudiantes de Química. Sin embargo, tuvo limitaciones científico-pedagógicas relativas a la precisión y adecuación de las actividades de laboratorio propuestas, especialmente en términos de seguridad y sostenibilidad.

Asimismo, según Talanquer (2023), a pesar de la notable capacidad de estos chatbots para interpretar y abordar problemas químicos, ofreciendo respuestas bien estructuradas, los actuales sistemas de IA pueden incurrir en errores de procedimiento, omitir información relevante y dar respuestas con conceptos equivocados. Este análisis revela fascinantes similitudes entre las respuestas generadas por los chatbots de IA y las respuestas de estudiantes de Química al participar en actividades explicativas. Por consiguiente, las respuestas de los chatbots podrían anticipar los errores que los estudiantes cometen en este tipo de actividades, proporcionando así datos de gran valor para profesores de Química al momento diseñar actividades de evaluación formativa



que impulsen y desafíen el razonamiento de los estudiantes.

Al hablar de la capacidad de los chatbots en la resolución de preguntas, Yeadon y Hardy (2024) informaron que estas herramientas pueden obtener buenos resultados en la resolución de preguntas de Física en etapas educativas tempranas, pero su eficacia disminuye con contenidos avanzados y cálculos complejos. Además, la resolución de evaluaciones con IA suele mostrar métodos novedosos que no figuran en el plan de estudios, verborrea excesiva y errores de cálculo en aritmética básica. Esto sugiere que, en la universidad, los chatbots y otros modelos de lenguaje natural (LLM) no suponen una amenaza sustancial para los exámenes de Física no vigilados. Sin embargo, dada la considerable competencia de los LLM en la redacción de ensayos de Física y en habilidades de codificación, los exámenes no vigilados de estas habilidades en Física son muy vulnerables a la realización automatizada por parte de los LLM. Esta vulnerabilidad también se extiende a las preguntas de Física planteadas en niveles académicos inferiores. En esta misma línea, la investigación de Polverini y Gregorcic (2024) reportó que ChatGPT, en promedio, tuvo un rendimiento similar al de los estudiantes que toman un curso de Física de nivel preparatoria en la resolución de evaluaciones, pero con diferencias importantes en la distribución de la corrección de sus respuestas, así como en las habilidades de "razonamiento" y "visuales". Estos autores concluyeron que, aunque ChatGPT tuvo mucho éxito al proponer estrategias productivas para resolver las tareas de la prueba y expresó un razonamiento correcto en la mayoría de sus respuestas, tuvo dificultades para "ver" correctamente los gráficos. En base a estas conclusiones, los autores sugirieron que, se necesita precaución y un enfoque crítico si se tiene la intención de usarlo en el papel de tutor, modelo de estudiante o herramienta para ayudar a personas con discapacidad visual en el contexto de gráficos cinemáticos.

Ilustración de la conceptualización y las habilidades de interacción de los estudiantes con la IA en el contexto de conceptos complejos

El estudio incluido dentro de esta categoría subraya el potencial de utilizar imágenes generadas por IA para evaluar y fomentar las habilidades comunicativas de los estudiantes en la interpretación y transmisión de conceptos científicos, una metodología que se puede extender a otros temas complejos como la Física Cuántica (De Souza et al., 2024).

5. Discusión y conclusiones

El presente estudio ha identificado diversas herramientas de IA ampliamente exploradas en la enseñanza de las ciencias experimentales, entre las que destacan los chatbots como ChatGPT y Binga AI, los modelos de aprendizaje automático y las aplicaciones de RA. Además, se está investigando el uso de software de minería de datos, sistemas de tutoría inteligente, herramientas de comprensión de bocetos, asistentes virtuales inteligentes, generadores de videos con IA, mapas de expresiones matemáticas dinámicas e interactivas, y redes neuronales artificiales. Estos resultados presentan similitudes con los hallazgos de Xu y Ouyang (2022), quienes identificaron seis tipos de aplicaciones de IA en las disciplinas STEM, como predictores de aprendizaje, sistemas de tutoría inteligente, detectores de comportamiento estudiantil, herramientas de automatización, robots educativos, libros de texto de IA y algoritmos genéticos para formar grupos de estudiantes. No obstante, estos autores no mencionaron investigaciones que involucraran chatbots, posiblemente porque estos adquirieron popularidad en noviembre de 2022 cuando OpenAI presentó un chatbot conversacional denominado ChatGPT (Diego Olite et al., 2023). Este hecho se ve reflejado en investigaciones sobre el impacto de este y otros chatbots en la educación, cuyos resultados se publicaron en el año 2023, como evidencian los estudios de Bitzenbauer (2023) y Talanquer (2023) analizados en esta revisión sistemática. Asimismo, los resultados de este estudio en relación con las herramientas de IA empleadas en la enseñanza de las ciencias concuerdan con los hallazgos de Heeg y Avraamidou (2023), quienes demostraron que las herramientas de IA utilizadas en sus investigaciones abarcan evaluadores automatizados, retroalimentadores automatizados, analizadores de aprendizaje, sistemas de aprendizaje adaptativo, sistemas de tutoría inteligente, clasificadores de texto multietiqueta, chatbots, sistemas expertos y detectores de bloqueos mentales. Es importante destacar que, ambas revisiones sistemáticas (Xu y Ouyang, 2022; Heeg y Avraamidou,

2023) no incorporan estudios que empleen herramientas de RA, posiblemente debido a que la investigación sobre IA en el ámbito educativo se ha enfocado principalmente en aspectos como la tutoría inteligente, la evaluación automática y el análisis de datos.

Otro hallazgo de esta investigación revela que, entre los artículos analizados, la asignatura más abordada es la Física, seguida por la Química, en tercer lugar, la Biología y el último lugar, la Geociencia. Estos hallazgos guardan cierta similitud con los informados por Heeg y Avraamidou (2023), quienes también identificaron a la Física como la asignatura más estudiada en investigaciones. Esto sugiere un mayor interés en explorar el uso de la IA en la enseñanza de la Física en comparación con otras disciplinas científicas.

No obstante, Heeg y Avraamidou (2023) informaron que la Geociencia era la segunda asignatura más investigada, lo que difiere de nuestros resultados, donde esta disciplina fue la menos abordada. Estas discrepancias podrían atribuirse a las variadas estrategias de búsqueda empleadas, dado que nuestro estudio se focalizó en la implementación de la IA en la enseñanza de las ciencias en la educación secundaria, mientras que la investigación de Heeg y Avraamidou (2023) incluyó también la educación primaria.

En relación a los objetivos que respaldaron la implementación de herramientas de IA en las investigaciones revisadas, se clasificaron en cinco categorías distintas: mejorar los resultados y la experiencia de aprendizaje de los estudiantes en ciencias, IA y sus interacciones; analizar, clasificar, evaluar y predecir datos; mejorar la percepción de los estudiantes sobre la y IA el aprendizaje en línea autorregulado con un enfoque de aprendizaje personalizado; obtener información sobre el alcance y las limitaciones de los chatbots; e ilustrar la conceptualización y las habilidades de interacción de los estudiantes con la IA en el contexto de conceptos complejos. Estos objetivos guardan similitud con los identificados por Heeg y Avraamidou (2023), quienes agruparon los objetivos de aprendizaje relacionados con las aplicaciones de IA en cuatro categorías: enseñanza de conocimientos específicos del dominio a los estudiantes, desarrollo de habilidades de argumentación científica, transferencia de conocimientos y digitalización o automatización de los materiales didácticos existentes. La convergencia en los objetivos de las investigaciones sobre herramientas de IA en la enseñanza de las ciencias sugiere un enfoque compartido entre los investigadores para la integración de la IA en la educación científica escolar.

En cuanto a los países en los que se concentran la mayoría de las investigaciones sobre el uso de la IA en la enseñanza de las ciencias experimentales, se observa que Estados Unidos lidera, seguido por Alemania, en tercer lugar, se encuentran Malasia, Indonesia y la República de Corea. Asimismo, se destaca que la mayoría de las investigaciones se llevan a cabo en países asiáticos. Estos resultados son consistentes con los reportados por Heeg y Avraamidou (2023), quienes determinaron que la mayor parte de los estudios se desarrollaron en Estados Unidos y Asia. Esta tendencia subraya la escasez de investigaciones en torno a la implementación de la IA en la enseñanza de las ciencias en países latinoamericanos, dado que en la presente revisión sistemática solo se identificó dos investigaciones desarrolladas en esta región, señalando la necesidad de un mayor desarrollo en la producción científica latinoamericana en este campo. Estos resultados pueden deberse a que la mayoría de las investigaciones realizadas en el contexto latinoamericano no son publicadas en revistas de alto impacto, por lo que no se encuentran en la bases de datos de Scopus, ERIC o WOS, siendo excluidas de esta revisión sistemática.

Finalmente, al analizar las investigaciones recopiladas en este artículo, se evidencia un impacto positivo al integrar la IA en la enseñanza de las ciencias, reflejado en la mejora de los resultados de aprendizaje y experiencias educativas de los estudiantes, la efectiva clasificación, evaluación y predicción de datos escolares, así como en la mejora de la percepción de los estudiantes sobre la IA y en la obtención de información relevante sobre los alcances y limitaciones de los chatbots. Estos hallazgos coinciden con los informes de Xu y Ouyang (2022) y Heeg y Avraamidou (2023), quienes comunicaron que las aplicaciones de IA generaron efectos positivos en el rendimiento académico, la capacidad argumentativa y la experiencia de aprendizaje de los estudiantes, contribuyendo al desarrollo del pensamiento de alto nivel y facilitando a los docentes la automatización de sus tareas educativas, la identificación de patrones de aprendizaje y el análisis de los

comportamientos de los estudiantes. Asimismo, los resultados obtenidos en este estudio concuerdan con los informes de Martínez-Comesaña et al. (2023) respecto al impacto positivo de la IA en las predicciones del rendimiento estudiantil, la identificación de factores significativos que hacen atractivas las clases para los alumnos y la evaluación más automatizada y objetiva de sus tareas. Instituciones que prestaron instalaciones o recursos.

En conclusión, esta investigación identifica una amplia gama de herramientas de IA que han sido exploradas en la enseñanza de las ciencias experimentales, resaltando los chatbots como ChatGPT y Bing AI, los modelos de aprendizaje automático y las aplicaciones de RA como las herramientas más investigadas. La asignatura más abordada en las investigaciones revisadas es la Física, seguida por la Química, en tercer lugar, la Biología, y siendo la Geociencia la menos estudiada. Las investigaciones analizadas han implementado herramientas de IA con diversos objetivos, entre los que se destacan: mejorar los resultados y experiencias de aprendizaje de los estudiantes en ciencias y sus interacciones con la IA, analizar, clasificar, evaluar y predecir datos escolares, mejorar la percepción y conocimiento de los estudiantes sobre la IA y el aprendizaje en línea autorregulado con un enfoque de aprendizaje personalizado, obtener información sobre el alcance y limitaciones de los chatbots e ilustrar la conceptualización y las habilidades de interacción de los estudiantes con la IA en el contexto de conceptos complejos. En cuanto a la ubicación geográfica de las investigaciones, Estados Unidos lidera en la cantidad de estudios realizados, seguido por países asiáticos. Se evidencia una escasez de investigaciones en países latinoamericanos, con solo dos estudios identificado en esta región. De manera general, los resultados de las investigaciones revisadas muestran un impacto positivo al integrar la IA en la enseñanza de las ciencias, reflejado en la mejora de los resultados de aprendizaje y experiencias educativas de los estudiantes, la efectiva clasificación, evaluación y predicción de datos escolares, así como en la mejora de la percepción de los estudiantes sobre la IA y en la obtención de información relevante sobre los alcances y limitaciones de los chatbots.

Los hallazgos de esta revisión sistemática brindan información valiosa para docentes y diseñadores de currículos interesados en integrar herramientas de IA en la enseñanza de las ciencias experimentales en educación secundaria. Además, los resultados positivos obtenidos en las investigaciones respaldan la relevancia de seguir explorando el uso de la IA en este campo, fomentando la innovación y el mejoramiento de los procesos de enseñanza-aprendizaje.

Una limitación importante de este estudio es al enfocarse únicamente en la educación secundaria, se puede estar dejando de lado importantes avances en el uso de la IA en la enseñanza de las ciencias en otros niveles educativos.

Se sugiere continuar investigando sobre el impacto de los chatbots y otras herramientas de IA emergentes en la enseñanza de las ciencias, ya que esta es un área en rápida evolución. Asimismo, sería valioso ampliar el alcance de las investigaciones a otros niveles educativos, como la educación inicial, primaria y universitaria, para obtener una visión más completa del potencial de la IA en la enseñanza de las ciencias. Otra dirección futura podría ser explorar el uso de la IA en la enseñanza de otras disciplinas científicas además de Física, Química, Biología y Geociencia, para identificar posibles aplicaciones y beneficios en campos menos estudiados. Finalmente, es fundamental fomentar más investigaciones en países latinoamericanos, donde se evidencia una escasez de estudios en este campo, con el fin de promover la inclusión y el desarrollo de conocimientos locales sobre el uso de la IA en la enseñanza de las ciencias.

Financiación

Esta investigación no recibió financiación externa.

Cómo citar este artículo / How to cite this paper

Torres Barahona, S., & Campos Mera, G. (2026). Inteligencia artificial en la enseñanza de las ciencias experimentales: herramientas, impactos y tendencias globales. *Campus Virtuales*, 15(2), 31-45. <https://doi.org/10.54988/cv.2026.2.1698>

Referencias

- Araújo, J. L., y Saúde, I. (2024). Can ChatGPT Enhance Chemistry Laboratory Teaching? Using Prompt Engineering to Enable AI in Generating Laboratory Activities. *Journal Of Chemical Education*, 101(5), 1858-1864. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00745>
- Bitzenbauer, P. (2023). ChatGPT in physics education: A pilot study on easy-to-implement activities. *Contemporary Educational Technology*, 15(3), ep430. <https://doi.org/10.30935/cedtech/13176>
- Burke, M. D., Denmark, S. E., Diao, Y., Han, J., Switzky, R., & Zhao, H. (2024). Molecule Maker Lab Institute: Accelerating, advancing, and democratizing molecular innovation. *The æAI Magazine/AI Magazine*, 45(1), 117-123. <https://doi.org/10.1002/aaai.12154>
- De Souza, M. G., Won, M., Treagust, D., & Serrano, A. (2024). Visualising relativity: assessing high school students' understanding of complex physics concepts through AI-generated images. *Physics Education*, 59(2), 025018. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ad1e71>
- Derlina, Aisyah, Nurdin Bukit, Sahyar, y Ahdi Hassan. (2020). Blended Learning in English and English-medium Physics Classes Using Augmented Reality, Edmodo, and Tinkercad Media. *TESOL International Journal*, 15(3), 111-133. <http://digilib.unimed.ac.id/40916/>
- Diego Olite, F., Morales Suárez, I. y Vidal Ledo, M. J. (2023). Chat GPT: origen, evolución, retos e impactos en la educación. *Educación Médica Superior*, 37(2), e3876. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-21412023000200016&lng=es&tlng=es
- Fernández-Miranda, M. (2024). Artificial intelligence in Latin American universities: Emerging challenges. *Computación y Sistemas*. <https://www.cys.cic.ipn.mx/ojs/index.php/CyS/article/view/4822>
- Forbus, K. D., Chang, M., McLure, M. D., y Usher, M. (2017b). The Cognitive Science of Sketch Worksheets. *Topics In Cognitive Science*, 9(4), 921-942. <https://doi.org/10.1111/tops.12262>
- García-Peñalvo, F. J. (2024). Inteligencia artificial generativa y educación: Un análisis desde múltiples perspectivas. *Education in the Knowledge Society*, 25(1), 1-10. <https://doi.org/10.14201/eks.31942>
- Gregorčič, T., y 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>
- Heeg, D. y Avraamidou, L. (2023) The use of Artificial intelligence in school science: a systematic literature review. *Educational Media International*, 60(2), 125-150. DOI: 10.1080/09523987.2023.2264990
- Hernández-Ramos, J., Rodríguez-Becerra, J., Cáceres-Jensen, L., y Aksela, M. (2023). Constructing a Novel E-Learning Course, Educational Computational Chemistry through Instructional Design Approach in the TPASK Framework. *Education Sciences*, 13(7), 648. <https://doi.org/10.3390/educsci13070648>
- Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). Artificial intelligence in education: Promises and implications for teaching and learning. Center for Curriculum Redesign.
- Baker, R.S., Inventado, P.S. (2014). Educational Data Mining and Learning Analytics. In: Larusson, J., White, B. (eds) *Learning Analytics*. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3305-7_4
- Ingkavara, T., Panjaburee, P., Srisawasdi, N., & Sajjanaroj, S. (2022). The use of a personalized learning approach to implementing self-regulated online learning. *Computers & Education: Artificial Intelligence*, 3, 100086. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100086>
- Jiang, S., McClure, J., Mao, H., Chen, J., Liu, Y., y Zhang, Y. (2023). Integrating Machine Learning and Color Chemistry: Developing a High-School Curriculum toward Real-World Problem-Solving. *Journal Of Chemical Education*. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00589>
- Kaplan, A., y Haenlein, M. (2019). Siri, Siri, in my hand: Who's the fairest in the land? On the interpretations, illustrations, and implications of artificial intelligence. *Business Horizons*, 62(1), 15-25. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2018.08.004>
- Katz, S., Albacete, P. L., Chounta, I., Jordan, P. W., McLaren, B. M., y Zapata-Rivera, D. (2021). Linking Dialogue with Student Modelling to Create an Adaptive Tutoring System for Conceptual Physics. *International Journal Of Artificial Intelligence In Education*, 31(3), 397-445. <https://doi.org/10.1007/s40593-020-00226-y>
- Kim, S., Jeon, I., & Kang, S. (2024). Integrating Data Science and Machine Learning to Chemistry Education: Predicting Classification and Boiling Point of Compounds. *Journal Of Chemical Education*, 101(4), 1771-1776. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c01040>
- Küchemann, S., Steinert, S., Revenga, N., Schweinberger, M., Dinc, Y., Avila, K. E., & Kuhn, J. (2023). Can ChatGPT support prospective teachers in physics task development? *Physical Review. Physics Education Research*, 19(2). <https://doi.org/10.1103/physrevphyseducres.19.020128>
- Lee, J. Y., Lee, G., y Hong, H. (2023). Automated Assessment of Student Hand Drawings in Free-Response Items on the Particulate Nature of Matter. *Journal Of Science Education And Technology*, 32(4), 549-566. <https://doi.org/10.1007/s10956-023-10042-3>
- Luckin, R., Holmes, W., Griffiths, M., y Forcier, L. B. (2016). Intelligence unleashed: An argument for AI in education. Pearson.
- Manikandan, S., y Chinnadurai, M. (2020). Evaluation of Students' Performance in Educational Sciences and Prediction of Future Development using TensorFlow. *International Journal Of Engineering Education*, 36(6), 1783-1790.

<https://www.researchgate.net/publication/345131484>

- Martínez-Comesaña, M., Rigueira-Díaz, X., Larrañaga-Janeiro, A., Martínez, J. M., Ocarranza-Prado, I., y Kreibel, D. (2023b). Impact of artificial intelligence on assessment methods in primary and secondary education: Systematic literature review. *Revista de Psicodidáctica* (English Ed.), 28(2), 93-103. <https://doi.org/10.1016/j.psicoe.2023.06.002>
- Miao, F., Holmes, W., Ronghuai, H., & Zhang H. (2021). AI end education: Guidance for policy-makers (UNESCO), 45. <https://doi.org/10.54675/PCSP7350>
- Mokshin, A. B., Mokshin, V., & Mirziyarova, D. A. (2020). Formation of Regression Model for Analysis of Complex Systems Using Methodology of Genetic Algorithms. *Nonlinear Phenomena In Complex Systems*, 23(3), 317-326. <https://doi.org/10.33581/1561-4085-2020-23-3-317-326>
- Nasri, N. M., Nasri, N., Nasri, N. F., y Talib, M. A. A. (2023). The Impact of Integrating an Intelligent Personal Assistant (IPA) on Secondary School Physics Students' Scientific Inquiry Skills. *IEEE Transactions On Learning Technologies*, 16(2), 232-242. <https://doi.org/10.1109/tlt.2023.3241058>
- Nguyen, H. (2022). Let's teach Kibot: Discovering discussion patterns between student groups and two conversational agent designs. *British Journal Of Educational Technology*, 53(6), 1864-1884. <https://doi.org/10.1111/bjet.13219>
- Newman, M., Gough, D. (2020). Systematic Reviews in Educational Research: Methodology, Perspectives and Application. In: Zawacki-Richter, O., Kerres, M., Bedenlier, S., Bond, M., Buntins, K. (eds) *Systematic Reviews in Educational Research*. Springer VS, Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-27602-7_1
- Nurhasanah, Z., Widodo, A., Riandi, R. (2019). Augmented reality to facilitate students' biology mastering concepts and digital literacy. *Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia*, 5(3), 481-488. <https://doi.org/10.22219/jpbi.v5i3.9694>
- Oh, P., y Seongjoo, K. (2021). Integrating Artificial Intelligence to Chemistry Experiment: Carbon Dioxide Fountain. *Journal Of Chemical Education*, 98(7), 2376-2380. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00004>
- OECD. (2021). OECD digital education outlook 2021 : Pushing the frontiers with artificial intelligence, blockchain and robots. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/589b283f-en>
- Oskotsky, T., Bajaj, R., Burchard, J., Cavazos, T. B., Chen, I., Connell, W., Eaneff, S., Grant, T., Kanungo, I., Lindquist, K., Myers-Turnbull, D., Naing, Z. Z. C., Tang, A., Vora, B., Wang, J., Karim, I., Swadling, C., Yang, J. H., Cohort, A. S., . . . Sirota, M. (2022). Nurturing diversity and inclusion in AI in Biomedicine through a virtual summer program for high school students. *PLOS Computational Biology*, 18(1), e1009719. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1009719>
- 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., . . . Alonso-Fernández, S. (2021). Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española De Cardiología*, 74(9), 790-799. <https://doi.org/10.1016/j.recsep.2021.06.016>
- Polverini, G., y Gregoric, B. (2024). Performance of ChatGPT on the test of understanding graphs in kinematics. *Physical Review. Physics Education Research*, 20(1). <https://doi.org/10.1103/physrevphyseducres.20.010109>
- Quintero, L. J. C., y Selwyn, N. (2018c). More than tools? Making sense of the ongoing digitizations of higher education. *International Journal Of Educational Technology In Higher Education*, 15(1). <https://doi.org/10.1186/s41239-018-0109-y>
- Rugh, M. S., Capraro, M. M., y Capraro, R. M. (2023). Improving Self-Efficacy with automatically generated interactive concept maps: DIME maps. *Electronic Journal Of e-Learning*, 21(3), 141-157. <https://doi.org/10.34190/ejel.21.3.2765>
- Salas-Pilco, S. Z., & Yang, Y. (2022). Artificial intelligence applications in Latin American higher education: A systematic review. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 19, 21. <https://doi.org/10.1186/s41239-022-00326-w>
- Schindler, L. A., Burkholder, G. J., Morad, O. A., y Marsh, C. (2017). Computer-based technology and student engagement: a critical review of the literature. *International Journal Of Educational Technology In Higher Education*, 14(1). <https://doi.org/10.1186/s41239-017-0063-0>
- Song, Y., Lei, S., Hao, T., Lan, Z., y Ding, Y. (2020). Automatic Classification of Semantic Content of Classroom Dialogue. *Journal Of Educational Computing Research*, 59(3), 496-521. <https://doi.org/10.1177/0735633120968554>
- Stolzenberger, C., Frank, F., y Trefzger, T. (2022). Experiments for students with built-in theory: 'PUMA: Spannungslabor' – an augmented reality app for studying electricity. *Physics Education*, 57(4), 045024. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ac60ae>
- Talanquer, V. (2023). Interview with the Chatbot: How Does It Reason? *Journal Of Chemical Education*, 100(8), 2821-2824. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00472>
- Xu, W., y Ouyang, F. (2022). The application of AI technologies in STEM education: a systematic review from 2011 to 2021. *International Journal Of STEM Education*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-022-00377-5>
- Yağci, A., y Çevik, M. (2019). Prediction of academic achievements of vocational and technical high school (VTS) students in science courses through artificial neural networks (comparison of Turkey and Malaysia). *Education And Information Technologies*, 24(5), 2741-2761. <https://doi.org/10.1007/s10639-019-09885-4>
- Yeadon, W., & Hardy, T. (2024). The impact of AI in physics education: a comprehensive review from GCSE to university levels. *Physics Education*, 59(2), 025010. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ad1fa2>