

Impacto de la Inteligencia Artificial en la enseñanza de la Física¹

Ayax Santos Guevara²

ajax.santos@udem.edu

Oswaldo Aquines Gutiérrez³

oswaldo.aquines@udem.edu

Humberto Martínez Huerta⁴

humberto.martinezhuerta@udem.edu

Resumen

La integración de la inteligencia artificial (IA) en la educación ha abierto nuevas posibilidades para la enseñanza y el aprendizaje de disciplinas complejas como la física. Este trabajo se centrará en una revisión de la literatura sobre el impacto de la IA en la enseñanza de la física, destacando las principales tendencias, innovaciones y desafíos que han surgido en este campo. Se presentarán los resultados de diversos estudios que examinan cómo las tecnologías de IA, como el aprendizaje automático, los sistemas de tutoría inteligentes y las simulaciones virtuales, están transformando la manera en que se enseñan y se aprenden los conceptos físicos. Se analizarán los beneficios y desafíos de estas tecnologías, incluyendo la personalización del aprendizaje, la mejora en la comprensión conceptual y la capacidad de los estudiantes para aplicar teorías físicas a situaciones del mundo real; así como también la necesidad de capacitación docente, la adaptación de los contenidos

1 Fecha de recepción: marzo 2025.Fecha de aceptación: mayo de 2025.

2 Docente de la Universidad de Monterrey, del Departamento de Física y Matemáticas <https://orcid.org/0000-0003-4022-4650>

3 Docente de la Universidad de Monterrey, del Departamento de Física y Matemáticas <https://orcid.org/0000-0002-4475-2808>

4 Docente de la Universidad de Monterrey, del Departamento de Física y Matemáticas <https://orcid.org/0000-0001-7714-0704>

educativos y las preocupaciones éticas relacionadas con el uso de la IA en entornos educativos.

Palabras clave: Inteligencia artificial; Enseñanza de la física; Innovación educativa.

Abstract

Integrating Artificial Intelligence (AI) in education has opened new possibilities for teaching and the learning of complex disciplines such as physics. This paper will focus on a comprehensive review of the literature on the impact of AI on physics education, highlighting the main trends, innovations, and challenges that have emerged in this field. The results of several studies examining how AI technologies, such as machine learning, intelligent tutoring systems, and virtual simulations, are transforming the way physics concepts are taught and learned will be presented. The benefits and challenges of these technologies will be discussed, including personalization of learning, improved conceptual understanding, and the ability of students to apply physical theories to real-world situations; as well as the need for teacher training, adaptation of educational content, and ethical concerns related to the use of AI in academic settings.

Keywords: Artificial intelligence; Physics education; Educational innovation.

Introducción

La inteligencia artificial (IA) ha transformado muchos aspectos de la vida moderna, desde la medicina hasta los deportes y las finanzas, y su impacto en la educación es cada vez más evidente y significativo (Adigüzel, 2023; Lanzagorta-Ortega, 2022; Liu, 2021; Opara, 2023). En particular, la enseñanza y el aprendizaje de la física se enfrentan a desafíos singulares, ya que esta disciplina exige la comprensión de conceptos abstractos, el dominio de

representaciones múltiples (gráficas, matemáticas, simbólicas) y el desarrollo de habilidades de resolución de problemas complejos. En este contexto, la incorporación de herramientas basadas en IA tiene el potencial de revolucionar la forma en que estos conceptos se enseñan, se visualizan y se aplican, especialmente en el desarrollo de competencias científicas fundamentales como la modelación, el razonamiento causal y la solución de problemas (Lo, 2023; Mahligawati, 2023).

Con el avance de tecnologías como el aprendizaje automático (Méndez-Gurrola, 2020), los sistemas de tutoría inteligente (Lin, 2023) y las simulaciones virtuales interactivas (Xu, 2022), se han abierto nuevas posibilidades para crear experiencias de aprendizaje más inmersivas, personalizadas y significativas (Patero, 2023). Estas tecnologías no solo enriquecen la instrucción tradicional, sino que también permiten adaptar el ritmo y el enfoque pedagógico a las necesidades individuales de los estudiantes, proporcionando retroalimentación inmediata, diagnósticos personalizados y trayectorias de aprendizaje ajustadas a su desempeño.

Recientemente, la implementación de estas tecnologías en entornos educativos ha sido recibida con interés creciente por parte de docentes e investigadores, quienes han comenzado a integrar desde asistentes virtuales hasta simulaciones que permiten explorar fenómenos inaccesibles en el aula tradicional. El valor de estas herramientas radica en su capacidad para monitorear el progreso estudiantil, predecir dificultades conceptuales y facilitar intervenciones pedagógicas oportunas mediante el análisis de grandes volúmenes de datos (Kamalov, 2023). Sin embargo, la adopción de la IA en el aula no está exenta de retos: uno de los principales sigue siendo la necesidad de asegurar que estas tecnologías no solo automatizan procesos, sino que verdaderamente contribuyen al desarrollo de un aprendizaje profundo y significativo (Aquines, 2022; Fraser, 2014; Miller, 2021; Fazio, 2020; Hartikainen, 2019; Redish, 1999).

Por otro lado, uno de los mayores retos históricos en la enseñanza de la física ha sido hacer accesibles conceptos complejos como los de la mecánica cuántica, la termodinámica o el electromagnetismo. Tradicionalmente, los estudiantes han dependido de libros de texto, clases magistrales y laboratorios físicos para visualizar y experimentar con estos fenómenos. Sin embargo, la falta de equipamiento adecuado, el acceso desigual a recursos y la dificultad de replicar ciertos procesos en tiempo real han limitado las oportunidades de aprendizaje (Poo, 2023; Potkonjak, 2016). La IA permite mitigar estas limitaciones al ofrecer entornos

virtuales en los que los estudiantes pueden interactuar activamente con modelos, simulaciones y agentes inteligentes que facilitan la exploración autónoma y la visualización de fenómenos abstractos (Domenichini, 2024; Groenewald, 2024; Li, 2017).

El objetivo de este estudio es realizar una revisión sistemática de la literatura actual sobre el uso de la IA en la enseñanza de la física, con el fin de identificar las innovaciones más recientes, evaluar su impacto en el aprendizaje y explorar los retos y limitaciones que aún persisten. A través de este análisis, se busca responder a las siguientes preguntas clave: ¿Cómo se está utilizando la IA en la enseñanza de la física? ¿Qué beneficios ofrece? ¿Qué desafíos deben superarse para su implementación efectiva? ¿Qué condiciones pedagógicas son necesarias para potenciar su impacto?

Desarrollo Materiales y Métodos

Este estudio se llevó a cabo mediante una revisión bibliográfica sistemática de la literatura existente sobre el impacto de la inteligencia artificial en la enseñanza de la física. La revisión se enfocó en analizar las investigaciones más relevantes, considerando los avances recientes en el uso de tecnologías basadas en IA para mejorar la comprensión de conceptos físicos, la resolución de problemas y el aprendizaje activo de los estudiantes. A continuación, se describen los pasos seguidos para la recopilación y análisis de la información.

Diseño del Estudio

Se realizó una revisión sistemática de la literatura con el objetivo de identificar, analizar y sintetizar las investigaciones más relevantes sobre la implementación de tecnologías basadas en inteligencia artificial en la enseñanza de la física. Esta revisión no solo se limitó a investigaciones empíricas, sino también a artículos conceptuales que proporcionan marcos teóricos sobre la integración de la IA en el contexto educativo. El enfoque principal fue evaluar cómo las herramientas tecnológicas, tales como los sistemas de tutoría inteligente, las simulaciones y el aprendizaje automático, influyen en la enseñanza de conceptos abstractos en física y mejoran el rendimiento de los estudiantes. Para ello, se incluyeron estudios tanto

de nivel preuniversitario como universitario, considerando diversas metodologías y enfoques pedagógicos.

Fuentes de Información

Se consultaron varias bases de datos académicas de reconocido prestigio, asegurando una búsqueda exhaustiva y actualizada. Las fuentes de información utilizadas fueron:

Web of Science

Scopus

IEEE Xplore

Google Scholar

Además de estas bases de datos, se revisaron los repositorios de revistas especializadas en educación en física y tecnología educativa. Entre estas, se destacaron:

Physical Review Physics Education Research: Con artículos sobre las últimas investigaciones en didáctica de la física.

Journal of Educational Technology & Society: Revista centrada en el uso de la tecnología en la educación.

Estas fuentes permitieron acceder a artículos revisados por pares, tesis doctorales y actas de conferencias internacionales relevantes.

Criterios de Inclusión y Exclusión

Se establecieron criterios estrictos para la selección de los estudios, con el fin de garantizar la calidad y relevancia de la información recopilada. Los estudios seleccionados debían cumplir con los siguientes criterios de inclusión:

Idioma: Publicaciones en inglés o español.

Fecha de publicación: Estudios publicados entre 2010 y 2024, para asegurar la relevancia de las investigaciones recientes.

Tipo de estudio: Solo se incluyeron estudios empíricos que evaluaran el impacto de la inteligencia artificial en la enseñanza de la física. Esto incluye investigaciones que presentaran resultados sobre la implementación de IA en entornos educativos, ya sea en la enseñanza básica, secundaria o universitaria.

Tecnología específica: Artículos que discutieran el uso de modelos, simulaciones o sistemas de tutoría inteligente orientados a la enseñanza de la física, permitiendo un análisis directo de sus efectos en el aprendizaje.

Se excluyeron aquellos estudios que no abordaron directamente el impacto de la IA en el aprendizaje de la física, como aquellos que trataban temas más generales de IA en educación sin aplicación explícita a la ciencia física.

Estrategia de Búsqueda

La búsqueda se realizó utilizando una combinación de términos clave relevantes para el tema de estudio, utilizando operadores booleanos para refinar los resultados. Los términos de búsqueda utilizados fueron:

OR (“inteligencia artificial” OR “machine learning”)

AND (“enseñanza de la física” OR “educación en física”)

AND (“simulaciones” OR “sistemas de tutoría”)

Estos términos fueron buscados en los títulos, resúmenes y palabras clave de los artículos, lo que permitió obtener un panorama amplio de las publicaciones relevantes. Además, se realizaron búsquedas adicionales utilizando términos sinónimos y variantes lingüísticas de los conceptos clave para asegurar la inclusión de artículos que utilizaran diferentes terminologías.

Proceso de Selección de Estudios

La selección de los estudios fue un proceso detallado y riguroso, llevado a cabo en dos etapas:

Primera etapa: Se filtraron los artículos por título y resumen para excluir aquellos que claramente no cumplieran con los criterios de inclusión, como los estudios que no se enfocaban en la enseñanza de la física o que no utilizaban herramientas tecnológicas relacionadas con la inteligencia artificial.

Segunda etapa: Los estudios preseleccionados fueron sometidos a una revisión exhaustiva de su texto completo. En esta fase, se evaluaron los artículos en función de su pertinencia y calidad metodológica, asegurando que cumplieran con todos los requisitos establecidos en los criterios de inclusión.

En esta etapa también se revisaron las referencias de los artículos seleccionados para identificar estudios adicionales que pudieran haber sido pasados por alto en la búsqueda inicial.

Análisis de la Información

Una vez seleccionados los estudios, se llevó a cabo un análisis cualitativo para identificar los temas recurrentes, tendencias y hallazgos clave. El análisis se centró en tres aspectos principales:

Tipo de tecnología utilizada: Se clasificaron los estudios según las herramientas y tecnologías de IA implementadas, tales como sistemas de tutoría inteligente (ITS), simulaciones, algoritmos de aprendizaje automático, y asistentes virtuales.

Enfoque pedagógico implementado: Se evaluaron los enfoques pedagógicos utilizados en cada estudio, tales como el aprendizaje basado en problemas, el aprendizaje activo, y la enseñanza personalizada. Además, se analizó la manera en que estas herramientas tecnológicas fueron integradas en el aula y cómo afectaron la interacción docente-estudiante.

Resultados reportados: Finalmente, se examinaron los resultados obtenidos en términos de rendimiento académico, comprensión conceptual y habilidades de resolución de problemas. Se prestó especial atención a la forma en que los estudiantes interactuaron con las tecnologías de IA y cómo estas influenciaron su comprensión de conceptos físicos complejos. Los hallazgos de esta revisión se sintetizaron en un marco de análisis que permite identificar tanto las ventajas como los desafíos de la implementación de la IA en la enseñanza de la física.

Resultados y discusión

Innovaciones en la Enseñanza de la Física mediante IA
Sistemas de Tutoría Inteligente

Una de las innovaciones más prometedoras en el uso de la inteligencia artificial (IA) en la enseñanza de la física es el desarrollo de sistemas de tutoría inteligente (ITS, por sus siglas en inglés) (Lei, 2023; Lin C.C., 2023; Pataranutaporn, 2021). Estos sistemas están diseñados para simular la experiencia de un tutor humano, proporcionando orientación personalizada a los estudiantes (Mejbri, 2017; Verdú, 2014). Los ITS utilizan algoritmos de IA para analizar el progreso del estudiante en tiempo real (Lin R.Z., 2022; Singh, 2022; Wan, 2024), adaptando explicaciones y ejercicios a sus necesidades específicas (Ukoh, 2022). Por ejemplo, si un estudiante tiene dificultades con las leyes de Newton, el sistema puede ofrecer explicaciones más detalladas, ajustando el nivel de dificultad en función de las respuestas del estudiante (Carvalho, 2022; YouTube, 2023; Riabko, 2024; Shetye, 2024).

Una de las herramientas de IA que puede actuar como un ITS es ChatGPT (OpenAI, 2024). Al imitar una conversación humana, ChatGPT puede proporcionar asistencia personalizada en física, explicando conceptos de manera accesible, guiando a los estudiantes en la resolución de problemas, utilizando simulaciones y visualizaciones para mejorar la comprensión, y ofreciendo retroalimentación inmediata para corregir errores y concepciones erróneas antes de que se conviertan en barreras para el aprendizaje (Kulshreshtha, 2022; Zawacki-Richter, 2019; Zollman, 2024).

Además de personalizar la enseñanza, los ITS también ofrecen datos valiosos en la identificación de patrones en el aprendizaje de los estudiantes permitiendo la posibilidad de ajustar la estrategia de enseñanza en consecuencia (Santillán-Aguirre, 2024; Shivaanivarsa, 2021). Por ejemplo, Tulasi (2024) encontraron que las intervenciones educativas con IA mejoran el rendimiento académico, el pensamiento crítico y la capacidad para resolver problemas. Sin embargo, Tong (2023) analiza las limitaciones de ChatGPT-3.5 y ChatGPT-4 en cuanto a su capacidad para analizar y resolver problemas.

West (2023) y Polverini (2024) también investigaron el desempeño de ChatGPT en la enseñanza de la física, coincidiendo con Tong (2023) en que presenta limitaciones. Ambos autores destacan la diferencia entre la capacidad de resolver problemas y una comprensión conceptual profunda. En sus estudios, West (2023) utilizó el *Force Concept Inventory* (FCI) (Hestenes, 1992), una herramienta ampliamente aceptada en la comunidad académica, mientras que Polverini (2024) empleó el *Test of Understanding Graphs in Kinematics* (TUG-K) (Klein, 2021). En ambos casos, concluyeron que ChatGPT aún no alcanza el nivel de un experto en la materia. Estos resultados son de interés porque si se pretende que esta herramienta guíe al estudiante en su proceso de aprendizaje debe realizarse con cautela y cuidado.

Kortemeyer (2023) coincide con West (2023) al analizar las limitaciones de ChatGPT en la comprensión de conceptos de física y la resolución de problemas, comparando su desempeño con el de estudiantes principiantes de física. El instrumento utilizado fue el mismo: el FCI. El FCI solamente toma en cuenta la mecánica clásica, sin embargo, también se incluyó en este trabajo de investigación otras actividades en las que la termodinámica y electricidad y magnetismo, también formaron parte. Su hallazgo principal es que el comportamiento de esta herramienta es similar al de algunos alumnos que adivinan repetidamente sin reflexionar sobre sus errores.

Por su parte, Kumar (2023) evaluó el desempeño de ChatGPT en la resolución de problemas de electromagnetismo a nivel introductorio, utilizando la escritura de código de programación como método de evaluación. Aunque los resultados fueron satisfactorios, los autores observaron que es necesario interactuar con ChatGPT varias veces para obtener la solución correcta.

Simulaciones Virtuales

En el aprendizaje basado en simulaciones, los estudiantes pueden interactuar con fenómenos físicos en un entorno digital que refleja el contexto teórico (Aquines, 2014). Estas simulaciones, accesibles a través de páginas web con animaciones gráficas, permiten manipular variables, predecir resultados y realizar mediciones, facilitando el análisis de las consecuencias de distintos cambios (Alzugaray, 2014). Este enfoque fomenta diversas estrategias de aprendizaje activo (Trujillo Yaipen, 2023).

La realidad virtual (RV) y la realidad aumentada (RA) han ampliado estas oportunidades al ofrecer entornos inmersivos donde los estudiantes pueden experimentar fenómenos físicos de manera más realista e interactiva (Mitrakas, 2024; Pratama, 2023). Con la RV, los estudiantes pueden sumergirse completamente en un entorno digital que simula experimentos de física, lo que les permite observar fenómenos desde múltiples perspectivas y en escenarios que serían difíciles o imposibles de recrear físicamente (Chang, 2024, Santos, 2013). La RA, por su parte, superpone elementos digitales interactivos sobre el mundo real, facilitando la comprensión de conceptos abstractos al visualizarlos directamente en el entorno del estudiante (Vidak, 2022).

La inteligencia artificial (IA) juega un papel crucial en estas tecnologías, personalizando la experiencia de aprendizaje y adaptándola a las necesidades individuales de cada estudiante (Mejbri, 2017). La IA puede analizar el rendimiento del estudiante en tiempo real, ofrecer retroalimentación inmediata y ajustar las simulaciones para enfocarse en áreas donde el estudiante necesita más práctica o comprensión. Además, la IA contribuye a la creación de simulaciones más realistas y precisas mediante la modelización avanzada de fenómenos físicos.

Las simulaciones virtuales, junto con las tecnologías de RV y RA, son herramientas cognitivas altamente efectivas y atractivas que ayudan a los estudiantes a visualizar y comprender los fenómenos físicos de manera más profunda (Aquines, 2022; Dai, 2022; Moore, 2013). Ejemplos destacados de estas iniciativas incluyen Open Source Physics (Christian y Esquembre, 2007), Conceptual Learning of Science (Härtel, 1994) y PhET Interactive Simulations, que es ampliamente utilizada en la educación (PhET, 2023). En la universidad también se han desarrollado simulaciones y herramientas de análisis de video que comple-

mentan estas tecnologías (Newtondreams Simulaciones Interactivas Multiplataforma, 2019).

La literatura sugiere que las simulaciones virtuales, junto con las aplicaciones de RV y RA, pueden mejorar significativamente la retención del conocimiento y la capacidad de aplicar teorías físicas en situaciones del mundo real (Banda, 2023; King, 2022; Pirker, 2020). Jiang (2023) encontró que los estudiantes que utilizaron estas herramientas innovadoras lograron una mayor retención del conocimiento a largo plazo en comparación con aquellos que participaron en experimentos de laboratorio tradicionales. Además, estas tecnologías son más inclusivas, permitiendo la participación plena de estudiantes con discapacidades físicas o limitaciones de recursos en el proceso de aprendizaje (Salas-Pilco, 2022; Sharma, 2023).

Mejbri N. E. (2017) investigó el impacto de combinar simulaciones con agentes conversacionales en el aprendizaje de física, específicamente en los fundamentos de la fuerza electrostática. Se desarrolló una secuencia didáctica que integraba ambas herramientas para evaluar si su uso conjunto mejoraba los resultados de aprendizaje en comparación con su utilización individual.

El experimento incluyó una muestra pequeña de 24 estudiantes de secundaria, distribuidos en dos grupos. El primer grupo utilizó primero la simulación y luego el sistema completo, mientras que el segundo grupo comenzó con el agente conversacional y luego empleó el sistema completo. Se aplicaron pruebas antes y después de cada intervención para medir la ganancia de aprendizaje.

Los resultados revelaron que los estudiantes que usaron el sistema completo lograron una mejora significativa en sus resultados en comparación con aquellos que solo utilizaron la simulación o el agente conversacional. Estos hallazgos sugieren que la combinación de simulaciones y agentes conversacionales puede enriquecer el aprendizaje de conceptos científicos al ofrecer una experiencia más interactiva y personalizada. En esta investigación, se combina lo que es un ITS y simulaciones virtuales.

Las simulaciones interactivas, combinadas con tecnologías como la realidad aumentada (RA) y la realidad virtual (RV), están demostrando ser herramientas que favorecen la comprensión de conceptos complejos en física. Estas tecnologías permiten que los estudiantes experimenten fenómenos que de otro modo serían difíciles de visualizar o realizar en un entorno de laboratorio tradicional. El uso de RA y RV en la enseñanza de la física facilita el aprendizaje activo, donde los estudiantes no solo observan los fenómenos, sino que in-

teractúan directamente con ellos, realizando predicciones, manipulando variables y observando los efectos en tiempo real (Mitrakas, 2024; Pratama, 2023). Al experimentar estos fenómenos de manera inmersiva, los estudiantes desarrollan una comprensión más intuitiva de conceptos abstractos, como las fuerzas, el movimiento o los campos electromagnéticos. Además, estas herramientas tienen el potencial de nivelar el acceso al aprendizaje de física, permitiendo que los estudiantes con limitaciones de recursos o discapacidades participen activamente en las lecciones.

Aprendizaje Automático y Análisis de Datos

El aprendizaje automático es otra tecnología de IA que está comenzando a tener un impacto significativo en la enseñanza de la física. Esta tecnología permite a los sistemas educativos analizar grandes volúmenes de datos sobre el rendimiento de los estudiantes, identificando patrones y tendencias que pueden no ser evidentes para los educadores humanos. Por ejemplo, el aprendizaje automático puede identificar a los estudiantes que tienen dificultades con ciertos conceptos antes de que estas dificultades se reflejen en sus calificaciones, permitiendo intervenciones tempranas y personalizadas (Harma, 2024).

Uno de los usos más prometedores del aprendizaje automático en la enseñanza de la física es el desarrollo de modelos predictivos que pueden anticipar las áreas de dificultad para los estudiantes (Yeadon W, 2024). Estos modelos se basan en datos históricos y en el rendimiento actual de los estudiantes para predecir qué conceptos pueden representar un desafío. Esta información permite a los educadores adaptar sus lecciones y recursos a las necesidades individuales de sus estudiantes, mejorando la efectividad del proceso de enseñanza (Bolaño-García, 2024).

Además, el aprendizaje automático también está siendo utilizado para desarrollar nuevas formas de evaluar el aprendizaje de los estudiantes (Sharma, 2024). Por ejemplo, algunos sistemas de IA pueden analizar las respuestas de los estudiantes a problemas abiertos o ensayos, evaluando no solo la corrección de la respuesta, sino también la calidad del razonamiento y la comprensión conceptual subyacente. Estos sistemas pueden proporcionar una evaluación más holística y detallada del aprendizaje de los estudiantes, lo que es especial-

mente valioso en la enseñanza de la física, donde la comprensión profunda de los conceptos es tan importante como la capacidad de resolver problemas numéricos.

Zabriskie (2019) investigó sobre las variables importantes que predicen las calificaciones de los estudiantes en los cursos introductorios de física en distintos momentos, concretamente antes del inicio de la clase y al final de las semanas 1 a 5. El estudio se centró en dos clases de física, Física 1 (física introductoria) y Física 2 (electricidad y magnetismo), y pretendía mejorar la precisión de la predicción mediante técnicas de aprendizaje automático (Kumar, 2023). El estudio concluye que, si bien los modelos de aprendizaje automático pueden predecir eficazmente el rendimiento de los estudiantes, es fundamental tener en cuenta cuidadosamente las variables utilizadas y la interpretabilidad de los modelos para obtener información significativa en contextos educativos.

Prates (2023) presenta un enfoque innovador en la enseñanza de la física al integrar el aprendizaje automático en el estudio clásico del péndulo simple. En su investigación, se introducen conceptos clave de las técnicas de aprendizaje automático y se recopila un extenso conjunto de datos mediante la observación precisa del movimiento del péndulo en diversas condiciones iniciales. A partir de estos datos, se utiliza un algoritmo de regresión para desarrollar un modelo del sistema pendular que muestra índices estadísticos satisfactorios. Este modelo pedagógico se contrapone a los métodos tradicionales de enseñanza de la física y ofrece una nueva perspectiva sobre cómo enseñar física en la era de la información.

Pace (2024) explora el uso de la minería de datos educativos como método para analizar los datos de los estudiantes, lo que puede informar el rediseño del curso y predecir el rendimiento y la persistencia de los estudiantes. Inicialmente, el modelo era deficiente a la hora de predecir si los estudiantes obtendrían bajas calificaciones, sin embargo, realizó ajustes al modelo mediante la modificación del umbral de decisión y mejoró significativamente el rendimiento, al grado que sus resultados sugieren que los modelos desarrollados pueden reutilizarse en futuros semestres, siempre que el entorno de enseñanza se mantenga constante, ofreciendo así un enfoque sostenible para identificar a los estudiantes en situación de riesgo (Ramírez, 2023). Cabe señalar que la relevancia de investigaciones de este tipo se debe a que los cursos de física y matemáticas suelen ser señalados como factores principales en la deserción de estudiantes de ciencias e ingeniería.

En la siguiente tabla se resume la tecnología, innovación en la enseñanza, resultados clave y limitaciones y desafíos reportados por los diversos autores.

Tabla 1. Resumen de los hallazgos reportados por los autores consultados

Tecnología/Enfoque	Innovación en Enseñanza	Resultados Clave	Limitaciones y Desafíos
Sistemas de Tutoría Inteligente (ITS)	Simula la experiencia de un tutor humano adaptando la enseñanza a las necesidades del estudiante (Lei, 2023; Lin C.C., 2023).	Mejora el rendimiento académico y el pensamiento crítico (Tulasi, 2024). Proporciona retroalimentación personalizada e intervenciones adaptativas (Santillán-Aguirre, 2024; Shivaanivarsha, 2021).	Limitada comprensión conceptual profunda. Presenta diferencias entre resolución de problemas y comprensión profunda (West, 2023; Polverini, 2024).
ChatGPT como ITS	Herramienta de IA que imita la conversación humana para asistir en la enseñanza de la física (OpenAI, 2024).	Ofrece explicaciones accesibles, guía en resolución de problemas y proporciona retroalimentación inmediata (Kulshreshtha, 2022; Zawacki-Richter, 2019).	Limitado en resolver problemas complejos, especialmente en mecánica y comprensión conceptual profunda (West, 2023; Kortemeyer, 2023).
Simulaciones Virtuales	Permiten a los estudiantes interactuar con fenómenos físicos en un entorno digital, facilitando la comprensión a través de la manipulación de variables (Aquines, 2014).	Mejora la retención de conocimientos y la comprensión de teorías físicas aplicadas (Banda, 2023; Jiang, 2023). Fomenta estrategias de aprendizaje activo (Trujillo Yaipen, 2023).	Limitación en la simulación de fenómenos complejos y la falta de interacción física real en ciertos experimentos.
Realidad Virtual (RV) y Aumentada (RA)	Creación de entornos inmersivos donde los estudiantes pueden experimentar fenómenos físicos más realistas (Mittrakas, 2024; Prata-ma, 2023).	Mejora la visualización y comprensión de conceptos abstractos (Vidak, 2022). Ofrece experiencias más interactivas y realistas (Chang, 2024; Santos, 2013).	Requiere tecnología avanzada que no siempre está disponible en todas las instituciones. Además, puede resultar costoso.

Aprendizaje Automático	Utiliza algoritmos para analizar grandes volúmenes de datos sobre el rendimiento de los estudiantes, adaptando las lecciones (Harma, 2024; Yeadon W, 2024).	Mejora la precisión de la predicción de dificultades y permite intervenciones personalizadas (Bolaño-García, 2024). Desarrolla modelos predictivos para áreas de dificultad (Yeadon W, 2024).	La interpretación de los modelos debe ser cuidadosa para obtener conclusiones significativas (Zabriskie, 2019).
Minería de Datos Educativos	Análisis de datos de estudiantes para rediseñar cursos y predecir rendimiento (Pace, 2024).	Mejora el rediseño de cursos y predicción de desempeño y persistencia de estudiantes en física (Ramírez, 2023).	Dependencia de grandes volúmenes de datos y la necesidad de ajustes constantes para mejorar la precisión de las predicciones.

Fuente: elaboración propia.

La importancia de la retroalimentación inmediata en el aprendizaje de la física

La retroalimentación inmediata proporcionada por los sistemas de tutoría inteligente (ITS) y herramientas como ChatGPT es un componente clave en el proceso de aprendizaje de la física. Estos sistemas no solo permiten a los estudiantes corregir sus errores de manera rápida, sino que también promueven un aprendizaje más profundo al ofrecer explicaciones detalladas y adaptadas a las necesidades del alumno (Zawacki-Richter, 2019; Carvalho, 2022). En contraste con métodos tradicionales donde la retroalimentación es más limitada, la inteligencia artificial proporciona a los estudiantes la oportunidad de corregir sus concepciones erróneas antes de que estas afecten el desarrollo de su aprendizaje. Esta interacción inmediata también contribuye a mantener el interés y la motivación de los estudiantes, ya que sienten que sus dudas son atendidas de manera eficiente, lo que mejora la retención de conceptos fundamentales en física (Shivaanivarsha, 2021). De este modo, la IA no solo facilita el aprendizaje de las leyes de la física, sino que también fomenta una mayor autoconfianza en los estudiantes al poder avanzar a su propio ritmo.

El rol del docente en entornos mediados por inteligencia artificial

Uno de los aspectos emergentes en la literatura revisada es la transformación del rol docente ante la incorporación de sistemas de inteligencia artificial en la enseñanza de la física. Lejos de ser reemplazado, el profesorado se posiciona como mediador crítico entre la tecnología y el aprendizaje significativo (Chan y Tsi, 2024). La IA, al automatizar tareas rutinarias o de evaluación, permite que el docente se enfoque en actividades de mayor valor pedagógico como el diseño de experiencias auténticas de indagación, la atención a la diversidad en el aula o la retroalimentación formativa. Este cambio exige, sin embargo, una capacitación específica y un cambio de mentalidad que permita reconocer a la IA no como sustituto, sino como un aliado para enriquecer la práctica docente.

Beneficios y Desafíos del Uso de IA en la Enseñanza de la Física

Beneficios

La IA ofrece una serie de beneficios claros en la enseñanza de la física. Uno de los más importantes es la personalización del aprendizaje (Ketak, 2024). Las tecnologías de IA pueden adaptarse a las necesidades individuales de los estudiantes, ofreciendo explicaciones, ejercicios y retroalimentación que están diseñados específicamente para su nivel de comprensión y estilo de aprendizaje (Alam, 2022; Singh, 2022; Lin, 2022). Esto es especialmente útil en la enseñanza de la física, donde los estudiantes a menudo se enfrentan a conceptos abstractos y difíciles de entender.

Otro beneficio significativo es la capacidad de la IA para mejorar la accesibilidad y la inclusión en la educación. Las simulaciones virtuales y los ITS pueden ser utilizados por estudiantes de diversas capacidades y procedencias, ofreciendo una experiencia de aprendizaje que es adaptable a una amplia gama de necesidades y contextos (Nieto-Chaupis, 2023). Además, estas tecnologías pueden ayudar a cerrar la brecha de recursos entre escuelas ricas y pobres, proporcionando acceso a herramientas educativas avanzadas a estudiantes que de otro modo no tendrían esta oportunidad.

La IA también puede mejorar la motivación y el compromiso de los estudiantes (Alarbi, 2024; Beltozar-Clemente, 2023). Las tecnologías interactivas, como las simulaciones virtuales, pueden hacer que el aprendizaje sea más atractivo y divertido, lo que a su vez puede aumentar la motivación intrínseca de los estudiantes para aprender (Cheah, 2021). Los estudios muestran que los estudiantes que utilizan tecnologías de IA en su aprendizaje tienden a estar más comprometidos y a disfrutar más de la materia que aquellos que siguen métodos tradicionales.

Desafíos

A pesar de los beneficios, la integración de la IA en la enseñanza de la física también enfrenta varios desafíos importantes (Yeadon W. I., 2023). Uno de los principales es la necesidad de capacitación docente (Velander, 2024). Los profesores deben estar familiarizados con las tecnologías de IA y saber cómo integrarlas eficazmente en su enseñanza (Ateeq, 2024). Esto no solo requiere tiempo y recursos, sino también un cambio en la mentalidad pedagógica, ya que los educadores deben aprender a confiar en la tecnología para complementar y mejorar su enseñanza en lugar de verla como una amenaza o un reemplazo.

Otro desafío es la adaptación de los contenidos educativos. Los currículos actuales pueden no estar diseñados para aprovechar al máximo las capacidades de la IA, lo que significa que los educadores y las instituciones deben invertir en el desarrollo de nuevos materiales y recursos educativos. Esto puede ser un proceso costoso y laborioso, que requiere colaboración entre expertos en educación, desarrolladores de tecnología y responsables de políticas educativas.

Las preocupaciones éticas también son un desafío significativo (Gobara, 2024, Manpriso, 2024). La recopilación y el análisis de grandes cantidades de datos de estudiantes plantean cuestiones sobre la privacidad y la seguridad de la información. Además, el uso de algoritmos de IA para tomar decisiones educativas puede introducir sesgos inadvertidos, lo que podría afectar negativamente a ciertos grupos de estudiantes (Abd Rahman, 2023, Duan, 2023). Es crucial que estas preocupaciones se aborden de manera proactiva, estableciendo políticas claras y transparentes para el uso de la IA en la educación.

La implementación de inteligencia artificial en la educación también plantea desafíos éticos y de justicia social que deben ser considerados cuidadosamente. En contextos con limitaciones de infraestructura o conectividad, el acceso desigual a tecnologías avanzadas podría profundizar brechas existentes en el aprendizaje de la física. Asimismo, la opacidad de algunos algoritmos y la posible reproducción de sesgos implícitos en los datos de entrenamiento representan riesgos que deben ser gestionados con políticas educativas claras y con una participación activa del profesorado en el diseño, selección y evaluación de estas herramientas. La alfabetización digital crítica, tanto en docentes como en estudiantes, se vuelve así un componente indispensable en cualquier estrategia de incorporación de IA en el aula.

Finalmente, la dependencia excesiva de la IA podría reducir la interacción humana en el proceso de enseñanza, lo que es un aspecto crítico para el desarrollo de habilidades sociales y emocionales. Es importante encontrar un equilibrio entre el uso de la tecnología y la preservación de la enseñanza personalizada y la interacción humana en el aula.

En la tabla 1 se resumen los beneficios y desafíos mencionados.

Tabla 1. Beneficios y desafíos del uso de IA en la enseñanza de la física.

Beneficios	Desafíos
Personalización del aprendizaje según el ritmo del estudiante	Limitada comprensión conceptual por parte de las herramientas actuales
Mayor motivación y participación gracias a entornos interactivos	Necesidad de retroalimentación repetida para respuestas correctas
Acceso inclusivo a recursos educativos de calidad	Riesgo de sesgos en los algoritmos que perpetúan desigualdades
Apoyo al desarrollo de habilidades analíticas a través de simulaciones	Reducción de la interacción humana en el aula
Facilitación del aprendizaje autónomo y el pensamiento computacional	Dependencia del diseño pedagógico y de la preparación docente
Evaluación en tiempo real y adaptativa del progreso del estudiante	Falta de capacidades metacognitivas en herramientas como ChatGPT
Posibilidad de experimentación segura en entornos virtuales	Dificultad para detectar y corregir errores conceptuales profundos

Soporte constante y asincrónico para el aprendizaje	Preocupaciones éticas sobre privacidad y uso de datos estudiantiles
---	---

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

La integración de la inteligencia artificial en la enseñanza de la física está redefiniendo los métodos tradicionales de aprendizaje al ofrecer experiencias personalizadas, interactivas e inclusivas. Herramientas como los sistemas de tutoría inteligente (ITS), simulaciones virtuales y aplicaciones de aprendizaje automático presentan oportunidades únicas para mejorar la comprensión conceptual, aumentar la motivación estudiantil y cerrar brechas de acceso educativo. No obstante, estas innovaciones vienen acompañadas de desafíos significativos y limitaciones que deben ser abordados de manera estratégica y ética.

Entre las principales limitaciones se encuentran las relacionadas con el desempeño de las tecnologías actuales, como la capacidad de los ITS y herramientas como ChatGPT para proporcionar un soporte académico que iguale o supere al de un tutor humano. Estudios recientes que evaluaron a ChatGPT mediante inventarios conceptuales como el Force Concept Inventory (FCI) han revelado que sus respuestas, si bien acertadas en algunos casos, reflejan un entendimiento superficial, comparable al de estudiantes que apenas inician sus estudios en física. En muchos casos, el modelo repite errores sin evidencia de aprendizaje o ajuste, a menos que reciba retroalimentación específica y repetida, lo cual emula el comportamiento de estudiantes que responden al azar sin una reflexión consciente sobre sus errores. Esta limitación evidencia que, pese a sus avances, la IA aún no alcanza una comprensión conceptual profunda ni habilidades metacognitivas fundamentales para el aprendizaje científico.

Los desafíos éticos también son sustanciales, incluyendo la privacidad y seguridad de los datos estudiantiles, así como el riesgo de sesgos en los algoritmos de IA que podrían perpetuar desigualdades educativas. Asimismo, la dependencia excesiva de la IA plantea interrogantes sobre la reducción de la interacción humana en el aula, un elemento crítico para el desarrollo integral de los estudiantes.

A pesar de estas limitaciones, las futuras líneas de investigación ofrecen un panorama prometedor. Es crucial explorar enfoques híbridos que integren la IA con metodologías pedagógicas tradicionales, maximizando los beneficios de ambas. Investigaciones futuras podrían enfocarse en el diseño de ITS y simulaciones más avanzadas que no solo detecten patrones de aprendizaje, sino que también promuevan habilidades metacognitivas y reflexivas. Asimismo, sería valioso desarrollar políticas y marcos regulatorios para garantizar un uso ético y responsable de la IA, priorizando la equidad, transparencia y el acceso inclusivo.

La incorporación de la inteligencia artificial en la enseñanza de la física tiene el potencial de transformar el aprendizaje al hacerlo más personalizado, interactivo e inclusivo. Sin embargo, también se enfrentan desafíos importantes que deben ser abordados. A pesar de los avances en tecnologías como los ITS, las simulaciones virtuales y el aprendizaje automático, las limitaciones de estas herramientas aún son evidentes, particularmente en cuanto a su capacidad para desarrollar una comprensión profunda de los conceptos físicos. La falta de contextualización y la tendencia a seguir patrones sin reflexionar sobre errores pueden obstaculizar el aprendizaje significativo de los estudiantes (West, 2023; Kortemeyer, 2023). Además, aunque la tecnología permite un acceso más amplio a recursos educativos, la integración efectiva de la IA en los sistemas educativos tradicionales requiere una infraestructura adecuada, formación docente y un enfoque pedagógico adaptado a las necesidades de los estudiantes. De cara al futuro, es crucial seguir investigando y refinando estas herramientas para maximizar su potencial y superar las barreras actuales.

Finalmente, se requiere una evaluación más exhaustiva del impacto a largo plazo de estas tecnologías, tanto en el rendimiento académico como en el desarrollo de competencias blandas y habilidades críticas. Con un enfoque equilibrado que combine innovación tecnológica con sensibilidad pedagógica, la IA tiene el potencial de transformar no solo la enseñanza de la física, sino también la manera en que concebimos la educación en la era digital. Para ello, es fundamental avanzar hacia el diseño de herramientas que no solo repliquen patrones de respuesta, sino que integren capacidades metacognitivas y reflexivas, capaces de reconocer sus errores, aprender de ellos y fomentar en los estudiantes un pensamiento más profundo y autónomo.

Referencias

- Abd Rahman, A. B., Rodzi, Z. M., Razali, I. N. B., Mohamad, W. N., Nazri, I. S. B. M., & Al-Sharqi, F. (2023). Breaking the Illusion: The Reality of Artificial Intelligence's (AI) Negative Influence on University Students. *In 2023 4th International Conference on Artificial Intelligence and Data Sciences (AiDAS)* (págs. 194-199). POH, Malaysia: IEEE.
- Adigüzel, T. K. (2023). Revolutionizing education with AI: Exploring the transformative potential of ChatGPT. *Contemporary Educational Technology*, 429.
- Alam, A. (2022). Employing adaptive learning and intelligent tutoring robots for virtual classrooms and smart campuses: reforming education in the age of artificial intelligence. *In Advanced computing and intelligent technologies: Proceedings of ICACIT 2022* (págs. 395-406). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Alarbi, K., Halaweh, M., Tairab, H., Alsalhi, N. R., Annamalai, N., & Aldarmaki, F. (2024). Making a revolution in physics learning in high schools with ChatGPT: A case study in UAE. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 20(9), em2499.
- Alzugaray, G. E. (2014). La potencialidad de las simulaciones de campo eléctrico desde la perspectiva de la teoría de los campos conceptuales de Vergnaud. *Latin-American Journal of Physics Education*, 8(1).
- Aquines G., O. G.-H. (2022). Assisted discovery based learning of the electric force with scaffolding for novice students. *Education Sciences*, 12(4), 269.
- Aquines, O. G. (2014). Simulaciones físicas multiplataforma . *Latin american journal of science education. Lat. Am. J. Sci. Educ*, , 1, 22014.
- Ateeq, A. A. (2024). Empowering Academic Success: Integrating AI Tools in University Teaching for Enhanced Assignment and Thesis Guidance. *In 2024 ASU International Conference in Emerging Technologies for Sustainability and Intelligent Systems (ICETISIS)* (págs. 297-301). Manama, Bahrain: IEEE.

- Banda, H. J. (2023). Impact of “PHET” Virtual Simulators on Elementary Physics Learning on motivation and academic achievement among malawian physics students. *Journal of Science Education and Technology*, 32(1), 127-141.
- Beltoszar-Clemente, S. y.-V. (2023). Physics XP: Integration of ChatGPT and Gamification to Improve Academic Performance and Motivation in Physics 1 Course. *International Journal of Engineering Pedagogy*, 14(6).
- Bolaño-García, M. y.Duarte-Acosta, N. (2024). Una revisión sistemática del uso de la inteligencia artificial en la educación. *Revista Colombiana de Cirugía*, 39(1), 51-63.
- Carvalho, L. M.-M. (2022). How can we design for learning in an AI world? *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 3, 100053.
- Chan, C. K. Y., & Tsi, L. H. (2024). Will generative AI replace teachers in higher education? A study of teacher and student perceptions. *Studies in Educational Evaluation*, 83, 101395.
- Chan, C. K. Y., & Tsi, L. H. (2024). Will generative AI replace teachers in higher education? A study of teacher and student perceptions. *Studies in Educational Evaluation*, 83, 101395.
- Chang, J. y Liu, D. (2024). Optimising Learning Outcomes: A Comprehensive Approach to Virtual Simulation Experiment Teaching in Higher Education. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 1-21.
- Cheah, C. W. (2021). Developing a gamified AI-enabled online learning application to improve students’ perception of university physics. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2, 100032.
- Christian, W., y Esquembre, F. (2007). Modeling physics with easy java simulations. *The Physics Teacher*, 45(8), 475-480.
- Dai, C. P. (2022). Educational applications of artificial intelligence in simulation-based learning: A systematic mapping review. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 3, 100087.
- Domenichini, D., Bucchiarone, A., Chiarello, F., Schiavo, G., & Fantoni, G. (2024). An AI-Driven Approach for Enhancing Engagement and Conceptual

- Understanding in Physics Education. *IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)* (págs. 1-3). Kos Island, Greece: IEEE.
- Duan, Y. y. (2023). Risks and Countermeasures of Artificial Intelligence for College Students' Growth. In *2023 2nd International Conference on Artificial Intelligence and Computer Information Technology (AICIT)* (págs. 1-4). Yichang, China: IEEE.
- Fazio, C. (2020). *Active learning methods and strategies to improve student conceptual understanding: Some considerations from physics education research*. Cham, Switzerland: Springer.
- Fraser, J. M. (2014). Teaching and physics education research: bridging the gap. *Reports on progress in physics*, 77(3), 032401.
- Gobara, R. E. (2024). Preparing Students for an AI-Enhanced Future. En A. A. Zeinab E. A., *AI-Enhanced Teaching Methods* (págs. 286-304). IGI Global.
- Groenewald, E. S. (2024). Virtual Laboratories Enhanced by AI for hands-on Informatics Learning. *Journal of Informatics Education and Research*, 4(1).
- Harma, S. K. (2024). Artificial Intelligence and Machine Learning in Smart Education. In *Infrastructure Possibilities and Human-Centered Approaches With Industry 5.0* (págs. 86-106). IGI Global.
- Härtel, H. (1994). COLOS: Conceptual learning of science. In *Design and Production of Multimedia and Simulation-Based Learning Material* (pp. 189-217). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Hartikainen, S. R. (2019). The concept of active learning and the measurement of learning outcomes: A review of research in engineering higher education. *Education Sciences*, 9(4), 276.
- Hestenes, D. W. (1992). Force concept inventory. *The physics teacher*, 30(3), 141-158.
- Jiang, Y. B. (2023). Incorporating an engineering context into science learning: The effects of task context and response structuring on science understanding and investigation behaviors in a simulation. *Journal of Research in Science Teaching*, 60(6), 1292-1328.

- Kamalov, F. S. (2023). New era of artificial intelligence in education: Towards a sustainable multifaceted revolution. *Sustainability*, 15(16), 12451.
- Ketak, R. M. (2024). Online Edtech Platform with AI Doubt Assistance. In *2024 2nd International Conference on Disruptive Technologies (ICDT)* (págs. 1395-1399). Greater Noida, India: IEEE.
- King, S. B. (2022). An automated virtual reality training system for teacher-student interaction: a randomized controlled trial. *JMIR serious games*, 10(4), e41097.
- Klein, P. B. (2021). Test of understanding graphs in kinematics: Item objectives confirmed by clustering eye movement transitions. *Physical review physics education research*, 17(1), 013102.
- Kortemeyer, G. (2023). Could an artificial-intelligence agent pass an introductory physics course? *Physical Review Physics Education Research*, 19(1), 010132.
- Kulshreshtha, D. S. (2022). Few-shot question generation for personalized feedback in intelligent tutoring systems. In *PAIS* (págs. 17-30). IOS Press.
- Kumar, T. y. Kats, M.A. (2023). ChatGPT-4 with code interpreter can be used to solve introductory college-level vector calculus and electromagnetism problems. *American Journal of Physics*, 91, 955-956.
- Lanzagorta-Ortega, D. C.-P.-E. (2022). Inteligencia artificial en medicina: presente y futuro. *Gaceta médica de México*, 158, 17-21.
- Lei, L. (2023). Research on personalized education recommendation algorithm based on artificial intelligence. *International Conference on Applied Physics and Computing (ICAPC)* (págs. 531-535). Ottawa, ON, Canada: IEEE.
- Li, Y. y. (2017). The Application of Artificial Intelligence in Virtual Laboratory Teaching Platform. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 12(07), 141-151.
- Lin, R. Z. (2022). Exploring the effectiveness and moderators of artificial intelligence in the classroom: A meta-analysis. In *International Conference on Smart Learning Environments Singapore* (págs. 61-66). Singapore: Springer Nature Singapore.

- Lin, C. C. (2023). Artificial intelligence in intelligent tutoring systems toward sustainable education: a systematic review. *Smart Learning Environments*, 10(1), 41.
- Liu, P. R. (2021). Application of artificial intelligence in medicine: an overview. *Current medical science*, 41(6), 1105-1115.
- Lo, C. K. (2023). What is the impact of ChatGPT on education? A rapid review of the literature. *Education Sciences*, 13(4), 410.
- Mahligawati, F. A. (2023). Artificial intelligence in Physics Education: a comprehensive literature review. *12th International Physics Seminar 2023* (págs. Vol. 2596, No. 1, p. 012080). Jakarta, Indonesia: Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing.
- Manpriso, R. S. (2024). Redefining Learning Paradigms: Integrating Artificial Intelligence into Modern Classrooms. *Ubiquitous Learning*, 17(2), 157.
- McDermott, L. C. (1999). Resource letter: PER-1: Physics education research. *American journal of physics*, 67(9), 755-767.
- Mejbri, N. E. (2017). Educational system based on simulation and intelligent conversation. In *2017 6th International Conference on Information and Communication Technology and Accessibility (ICTA)* (págs. 1-6). Muscat, Oman: IEEE.
- Meltzer, D. E. (2012). Resource letter ALIP-1: active-learning instruction in physics. *American journal of physics*, 80(6), 478-496.
- Méndez-Gurrola, I. I.-R.-G. (2020). Aprendizaje automático aplicado en física: una revisión de literatura científica. *Research in computing science*, , v. 149, n. 8, pp. 803-816.
- Miller, K. C. (2021). Increasing the effectiveness of active learning using deliberate practice: A homework transformation. *Physical Review Physics Education Research*, 17(1), 010129.
- Mitrakas, N. T. (2024). Using Mixed Reality in the Educational Practice: An Inquiry-Based Process of the Fluid Expansion–Contraction Phenomena by Pre-Service Teachers. *Education Sciences*, 14(7), 754.

- Newtondreams Simulaciones Interactivas Multiplataforma. Universidad de Monterrey, D. d. (26 de 09 de 2019). *Newtondreams Simulaciones Interactivas Multiplataforma*. Obtenido de <https://www.newtondreams.com>
- Nieto-Chaupis, H. (2023). Can artificial intelligence do the job of a theoretical physicist? In *2023 International Conference on Electrical, Communication and Computer Engineering (ICECCE)* (págs. 1-6). Dubai, United Arab Emirates: IEEE.
- Opara, E. M.-E. (2023). ChatGPT for teaching, learning and research: Prospects and challenges. *Global Academic Journal of Humanities and Social Sciences*, 5, 33.
- OpenAI. (2024). **ChatGPT* (Versión 4)* [Modelo de lenguaje]: <https://www.openai.com/chatgpt>
- Otero, V. K. (2016). 100 years of attempts to transform physics education. *The Physics Teacher*, 54(9), 523-527.
- Pace, J. H. (2024). Exploring techniques to improve machine learning's identification of at-risk students in physics classes. *Physical Review Physics Education Research*, 20(1), 010149.
- Páez, A. R. (2022). Modelos predictivos del rendimiento académico a partir de características de estudiantes de ingeniería. *IE Revista de Investigación Educativa de la REDIECH*, 13, 1-18.
- Pataranutaporn, P. D. (2021). AI-generated characters for supporting personalized learning and well-being. *Nature Machine Intelligence*, 3(12), 1013-1022.
- Patero, J. L. (2023). AI in the Classroom: Transforming Physics Instruction for the Digital Age. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology (IJARSCT)*, 802-806.
- Peña, A. (2014). Review: Educational data mining: A survey and a data mining-based analysis of recent works. *Expert Systems with Applications*, 41(4), 1432-1462.
- Pirker, J. H. (2020). Room scale virtual reality physics education: Use cases for the classroom. In *2020 6th International Conference of the Immersive Learning Research Network (iLRN)* (págs. 242-246). San Luis Obispo, CA, USA: IEEE.

- Polverini, G. y. (2024). Performance of ChatGPT on the test of understanding graphs in kinematics. *Physical Review Physics Education Research*, 20(1), 010109.
- Poo, M. C. (2023). Are Virtual Laboratories and Remote Laboratories Enhancing the Quality of Sustainability Education? *Education Sciences*, 13(11), 1110.
- Potkonjak, V. G. (2016). Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review. *Computers & Education*, 95, 309-327.
- Pratama, M. H. (2023). Increasing The Effectiveness of Electronic Physics Learning by Utilizing Extended Reality and Smart Virtual Technology Assistant as Interactive Media. In *2023 International Conference on Networking, Electrical Engineering, Computer Science, and Technology (IConNECT)* (págs. 27-131). Bandar Lampung, Indonesia: IEEE.
- Prates, J. H. (2023). Physics teaching mediated by Machine Learning: The case of the simple pendulum. *ysics teaching mediated by Machine Learning: The case of the simple pendulum*, 45, e20230207.
- Ramírez, J. G. (2023). Análisis de las técnicas de Machine Learning para la predicción de deserción de estudiantes Universitarios. *Investigación y Acción*, 3(2), 17-24.
- Redish, E. F. (1999). Teaching Physics: Figuring Out What Works. *Physics Today*, 52, 24–30.
- Riabko, A. V. (2024). Physics on autopilot: exploring the use of an AI assistant for independent problem-solving practice. . *Educational Technology Quarterly*, 56-75.
- Salas-Pilco, S. Z. (2022). Artificial intelligence and new technologies in inclusive education for minority students: a systematic review. . *ustainability*, 14(20),13572.
- Santillán-Aguirre, P. S.-P.-M.-A. (2024). Innovaciones Pedagógicas: Explorando el Uso de la Inteligencia Artificial en la Dinámica del Aula. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (E70) 13-29.

- Santos, L. y. (2013). Haptic Physics Simulation. *In European Conference on Games Based Learning* (pág. 771). Porto, Portugal: Academic Conferences International Limited.
- Sharma, S. T. (2023). Impact of AI-Based Special Education on Educators and Students. *In AI-Assisted Special Education for Students With Exceptional Needs* (págs. 47-66). IGI Global.
- Shetye, S. (2024). An Evaluation of Khanmigo, a Generative AI Tool, as a Computer-Assisted Language Learning App. *Studies in Applied Linguistics and TESOL*, 24(1).
- Shivaanivarsha, N. y Vigita, S. (2021). Interactive Chatbot for Space Science Using Augmented Reality—An Educational Resource. *International Conference on Futuristic Communication and Network Technologies*, (págs, 411-427). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Singh, S. V. (2022). The impact of AI on teaching and learning in higher education technology. *Journal of Higher Education Theory and Practice*, 22(13).
- Sokoloff, D. R. (1997). Using Interactive Lecture Demonstrations to Create an Active Learning Environment. *The Physics Teacher*, Volume 35, Issue 6, Pages 340-347.
- Tulasi, S.T., yInayath Ahamed, S.B. (2024). Artificial Intelligence Effects on Student Learning Outcomes in Higher Education. *In 2024 Ninth International Conference on Science Technology Engineering and Mathematics (ICON-STEM)* (págs. pp. 1-5). Chennai, India: IEEE.
- Tong, D. T. (2023). Investigating ChatGPT-4's performance in solving physics problems and its potential implications for education. *Asia Pacific Education Review*, 1-11.
- Trujillo Yaipen, W. (2023). The Impact of Virtual Simulators on Quantity Problem-Solving Competence in Fifth-Year High School Students. *Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao*, 265-276.
- Ukoh, E. E. (2022). AI Adoption for Teaching and Learning of Physics . *International Journal for Infonomics (IJI)*, 15(1), 2121-2131.

- Velander, J. T. (2024). Artificial Intelligence in K-12 Education: eliciting and reflecting on Swedish teachers' understanding of AI and its implications for teaching & learning. *Education and Information Technologies*, 29(4), 4085-4105.
- Verdú, E. R.-V. (2014). Intelligent tutoring interface for technology enhanced learning in a course of computer network design. In *2014 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE) Proceedings* (págs. 1-7). Madrid, España: IEEE.
- Vidak, A. Š. (2022). Augmented reality in teaching about physics: first findings from a systematic review. In *Journal of Physics: Conference Series* (págs. Vol. 2415, No. 1, p. 012008). Bosnia & Herzegovina: IOP Publishing.
- Wan, T. y. (2024). Exploring generative AI assisted feedback writing for students' written responses to a physics conceptual question with prompt engineering and few-shot learning. *Physical Review Physics Education Research*, 20(1), 010152.
- West, C. G. (23 de 08 de 2023). *ArXiv*. Recuperado de: ArXiv: <https://arxiv.org/abs/2303.17012>
- Xu, J. y. (2022). The Application of Virtual Simulation Technology and Artificial Intelligence in Network Vocational Course. *IEEE International Conference on Electrical Engineering, Big Data and Algorithms (EEBDA)* (págs. 587-590). Changchun, China: IEEE.
- Yeadon, W. I. (2023). The death of the short-form physics essay in the coming AI revolution. *Physics Education*, 58(3), 035027.
- Yeadon, W. y Hardy, T. (2024). The impact of AI in physics education: a comprehensive review from GCSE to university levels. *Physics Education*, 59(2), 025010.
- YouTube. (2023). *Gemini: explicación de razonamientos matemáticos y físicos* [Video] Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=K4pX1VAXaAI>
- Zabriskie, C. Y. (2019). Using machine learning to predict physics course outcomes. *Physical Review Physics Education Research*, 15(2), 020120.

- Zawacki-Richter, O. M. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education—where are the educators? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16(1), 1-27.
- Zollman, D. S. (2024). Comparing AI and student responses on variations of questions through the lens of sensemaking and mechanistic reasoning. *In Journal of Physics: Conference Series* (págs. Vol. 2693, No. 1, p. 012019). Prague, Czechia: IOP Publishing.