

Simuladores virtuales como estrategia para el desarrollo de competencias en la enseñanza de la física en educación superior: una revisión sistemática de la literatura

Virtual simulators as a strategy for developing skills in teaching physics in higher education: a systematic literature review

Santiago Torres Barahona¹, Fabian Llamuca Llamuca², Erik Zurita Fiallos³, Valeria Flores Lema⁴

Cita:

Torres Barahona, S., Llamuca Llamuca, F., Zurita Fiallos, E., & Flores Lema, V. (2026). Simuladores virtuales como estrategia para el desarrollo de competencias en la enseñanza de la física en educación superior: una revisión sistemática de la literatura. *TESLA Revista Científica*, 6(2), e699.

<https://doi.org/10.55204/trc.v6i2.e699>

Recibido: 01/05/2026

Revisado: 17/05/2026 al 16/06/2026

Corregido: 01/07/2026

Aceptado: 10/07/2026

Publicado: 17/07/2026

Licencia:

Los contenidos de este artículo están bajo una licencia de Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0). Los autores conservan los derechos morales y patrimoniales de sus obras.

The contents of this article are under a Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license. The authors retain the moral and patrimonial rights of their works.

1,2,3,4 Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador

¹santiago.torres@espoch.edu.ec; ²fabyllamu@gmail.com;

³erik.zurita@espoch.edu.ec; ⁴valeriam.flores@espoch.edu.ec

¹0009-0002-4493-6508; ²0009-0005-4536-4865;

³0000-0003-1946-1969; ⁴0009-0007-7366-312X

Resumen: En la actualidad, los simuladores virtuales se han consolidado como una estrategia didáctica para la enseñanza de la física en la educación superior, al permitir visualizar fenómenos abstractos, superar las limitaciones de los laboratorios presenciales y favorecer el desarrollo de competencias en los estudiantes. El objetivo de esta revisión sistemática de la literatura es caracterizar la producción científica sobre los simuladores virtuales como estrategia para el desarrollo de competencias en la enseñanza de la física en educación superior. Para ello, se adoptó el modelo de Newman y Gough (2020), apoyado en la declaración PRISMA 2020, y se aplicaron las ecuaciones de búsqueda en las bases de datos Scopus y Web of Science a documentos publicados entre 2015 y 2026 en inglés y español, lo que dio como resultado 38 artículos incluidos. Los resultados muestran que PhET es el simulador más utilizado; que el contenido más abordado es la electricidad y los circuitos eléctricos; que las competencias más reportadas son las habilidades prácticas de laboratorio, la comprensión conceptual y la resolución de problemas; que predomina el aprendizaje basado en indagación como estrategia didáctica, y que la mayoría de los estudios reportan efectos positivos en el rendimiento académico y las habilidades de los estudiantes, aunque con una tendencia emergente hacia la integración de la inteligencia artificial. Se discuten las implicaciones de estos hallazgos para la enseñanza de la física universitaria.

Palabras clave: simuladores virtuales, laboratorios virtuales, enseñanza de la física, desarrollo de competencias, educación superior, revisión sistemática.

Abstract: At present, virtual simulators have become consolidated as a teaching strategy for physics education in higher education, as they allow abstract phenomena to be visualized, overcome the limitations of face-to-face laboratories and foster the development of competencies in students. The aim of this systematic literature review is to characterize the scientific production on virtual simulators as a strategy for competency development in physics teaching in higher education. To this end, the model of Newman and Gough (2020) was adopted, supported by the PRISMA 2020 statement, and search equations were applied in the Scopus and Web of Science databases to documents published between 2015 and 2026 in English and Spanish, resulting in 38 included articles. The results show that PhET is the most widely used simulator; that the most addressed content is electricity and electric circuits; that the most reported competencies are practical laboratory skills, conceptual understanding and problem solving; that inquiry-based learning predominates as the teaching strategy, and that most studies report positive effects on students' academic achievement and skills, although with an emerging trend towards the integration of artificial intelligence. The implications of these findings for university physics teaching are discussed.

Keywords: virtual simulators, virtual laboratories, physics teaching, competency development, higher education, systematic review.

INTRODUCCIÓN

La física constituye una disciplina nuclear en la formación universitaria de las áreas científicas, tecnológicas e ingenieriles, y su enseñanza se considera prioritaria en numerosos países, cuya prosperidad económica futura está ligada al éxito de los estudiantes en ciencia y tecnología (Ben Ouahi et al., 2025). No obstante, su enseñanza en la educación superior afronta dificultades bien conocidas: el carácter abstracto de muchos de sus conceptos, que exige estrategias y medios didácticos eficaces (Yusuf et al., 2024), y las limitaciones de equipamiento, tiempo y espacio de los laboratorios presenciales (Lakka et al., 2023), que se hicieron especialmente patentes durante la pandemia de COVID-19, cuando las universidades trasladaron la docencia —incluidas las prácticas de laboratorio— a entornos a distancia (Onorato et al., 2023; Halder y Banerjee, 2026). Una de las soluciones que puede contribuir a superar estos obstáculos es el uso de los simuladores virtuales.

En la literatura científica, los términos «simulador», «simulación interactiva» y «laboratorio virtual» se emplean con frecuencia de manera indistinta. Mirçik y Saka (2018) señalan que existe una amplia variedad

de laboratorios virtuales, con diferencias de alcance, diseño y características, lo que plantea dilemas a los docentes a la hora de seleccionarlos y adaptarlos a la materia, mientras que Filanovich y Povzner (2021) los describen como complejos de simulaciones utilizables en clases presenciales, en modalidad remota o integrados en un curso en línea. En el presente estudio, al hablar de simuladores virtuales, se hace referencia a los entornos digitales interactivos que permiten emular fenómenos, experimentos o situaciones propias de la física con fines didácticos, incluyendo las simulaciones y los laboratorios virtuales y remotos que las integran.

El desarrollo tecnológico de estos recursos ha sido notable: de las primeras simulaciones programadas en Java o Flash se pasó a estándares abiertos como HTML5 (Ema et al., 2016); entre los más consolidados destacan las simulaciones PhET, de la Universidad de Colorado Boulder (Saudelli et al., 2021; Taibu et al., 2021), junto a entornos como Algodoo, GeoGebra, MATLAB o el análisis de vídeo (Çelik et al., 2015; Malgieri et al., 2018; Astalini et al., 2023; Hockicko et al., 2015) y, más recientemente, plataformas web y experiencias de realidad virtual y aumentada (Cheng et al., 2025; Lakka et al., 2023; Acevedo et al., 2022). En la enseñanza de la física, estos recursos permiten visualizar fenómenos abstractos no observables directamente (Yusuf y Widyaningsih, 2020), ofrecen flexibilidad de horarios y ubicación (Onorato et al., 2023) y, lejos de sustituir al laboratorio real, actúan como puente y preparación previa a las prácticas presenciales (Hamed y Aljanazrah, 2020; Halder y Banerjee, 2026).

Más allá de estas ventajas, su interés reside en su potencial como estrategia para el desarrollo de competencias: se ha constatado su efecto positivo sobre el rendimiento académico (Alsalhi et al., 2024; Hamed y Aljanazrah, 2020), la capacidad de resolución de problemas (Ceberio et al., 2016; Gunawan et al., 2017), las habilidades científicas y las actitudes de los estudiantes (Taibu et al., 2021), el cambio conceptual y la superación de concepciones erróneas (Hermita et al., 2017; Bozkurt y Yıldırım, 2022), las habilidades metacognitivas (Yusuf y Widyaningsih, 2020), el aprendizaje de orden superior y el pensamiento crítico (Simon, 2015), las habilidades investigativas (Nazira et al., 2025) y la motivación hacia la física (Kahyaoğlu y Çelik, 2016), además de líneas emergentes vinculadas a la inteligencia artificial (Kregear et al., 2025; Coban et al., 2025).

Con respecto a las síntesis de la literatura, Chen y Singh (2025) analizaron las oportunidades y los retos del aprovechamiento de la tecnología digital —incluidas las simulaciones— en la educación superior; Folkers et al. (2026) realizaron una revisión exploratoria de 302 publicaciones sobre materiales de demostración en la enseñanza de la física cuántica, entre ellos simulaciones y visualizaciones digitales, y Pena-Molina y Larrondo-Petrie (2025) revisaron la seguridad de los sistemas de gestión de laboratorios en línea usados en la universidad.

Si bien se reconoce el avance que suponen estas aportaciones, queda pendiente un análisis sistemático centrado específicamente en los simuladores virtuales como estrategia para el desarrollo de competencias en la enseñanza de la física en la educación superior, vacío que se pretende abordar en el presente artículo.

El objetivo de esta investigación es caracterizar la producción científica sobre los simuladores virtuales como estrategia para el desarrollo de competencias en la enseñanza de la física en la educación superior. Para dar respuesta a este objetivo general, se han planteado las siguientes preguntas de investigación:

- PI-1. ¿Cuáles son los simuladores virtuales más utilizados en la enseñanza de la física en educación superior?
- PI-2. ¿Qué contenidos de la física se abordan en las investigaciones sobre simuladores virtuales?
- PI-3. ¿Qué competencias se reportan desarrolladas tras el uso de simuladores virtuales?
- PI-4. ¿Qué estrategias didácticas acompañan la implementación de los simuladores virtuales?
- PI-5. ¿Qué resultados se han obtenido al aplicar los simuladores virtuales para el desarrollo de competencias?

MÉTODO

Se desarrolló una revisión sistemática para recopilar y sintetizar los hallazgos de los estudios individuales y responder a las preguntas de investigación. Para ello, se adoptó el modelo de Newman y Gough (2020), que consta de las siguientes etapas: formulación de la pregunta de investigación, definición de un marco conceptual, construcción de los criterios de inclusión, desarrollo de las estrategias de búsqueda, selección de los artículos utilizando los criterios de inclusión, codificación, evaluación de los estudios, síntesis de los

resultados para responder la pregunta de investigación y reporte de hallazgos (Campos Mera y Benarroch Benarroch, 2024).

Para apoyar el proceso de revisión sistemática se utilizó la guía para la publicación de revisiones sistemáticas PRISMA 2020 (Page et al., 2021). La revisión de la literatura se realizó durante los meses de mayo a julio de 2026. Las bases de datos consideradas en este estudio son dos de las bases de datos de producción científica internacional más relevantes en el ámbito de la investigación educativa:

- Scopus, de Elsevier.
- Web of Science (WoS), de Clarivate Analytics.

Las cadenas o ecuaciones de búsqueda utilizadas se muestran en la tabla 1. En las ecuaciones se combinaron tres bloques temáticos mediante el operador booleano AND: el primero, relativo a los simuladores virtuales («virtual simulation*», «interactive simulation*», «computer simulation*», «virtual laborator*», «virtual lab*», «digital simulation*», «simulation-based learning»); el segundo, relativo a la enseñanza de la física («physics education», «physics teaching», «physics instruction», «physics learning»), y el tercero, relativo a la educación superior («higher education», universit*, college*).

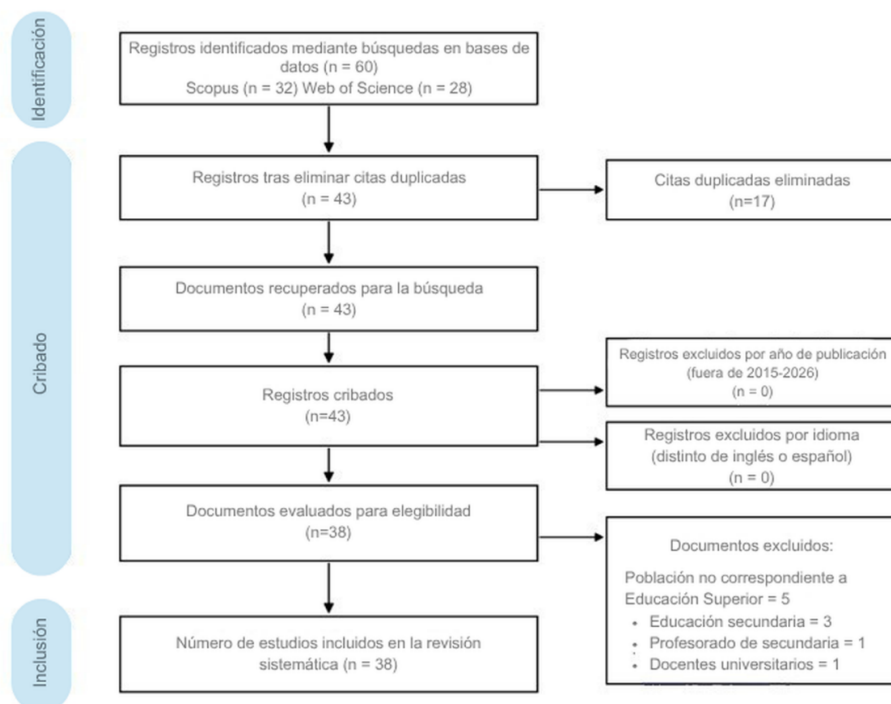
Tabla 1
Protocolo de búsqueda

Base de datos	Ecuación	Resultados
Scopus	TITLE-ABS-KEY ("virtual simulation*.OR interactive simulation*.OR computer simulation*.OR "virtual laborator*.OR "virtual lab*.OR "digital simulation*.OR "simulation-based learning") AND TITLE-ABS-KEY ("physics education.OR "physics teaching.OR "physics instruction.OR "physics learning") AND TITLE-ABS-KEY ("higher education.OR universit* OR college*) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE, "Spanish")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, re")) AND PUBYEAR > 2014 AND PUBYEAR < 2027	32
WoS	TS = ("virtual simulation*.OR interactive simulation*.OR computer simulation*.OR "virtual laborator*.OR "virtual lab*.OR "digital simulation*.OR "simulation-based learning") AND TS = ("physics education.OR "physics teaching.OR "physics instruction.OR "physics learning") AND TS = ("higher education.OR universit* OR college*)	28

De esta forma, la búsqueda inicial proporcionó 60 documentos (32 de Scopus y 28 de WoS). En la primera etapa se eliminaron 17 citas duplicadas, y quedaron como resultado 43 documentos; posteriormente, se comprobó el cumplimiento de los criterios de año de publicación e idioma, sin que fuera necesario excluir ningún registro, y los 43 documentos fueron cribados tras leer el título y el resumen. Finalmente, se analizaron los 38 documentos a texto completo utilizando los siguientes criterios de inclusión:

1. Artículos publicados entre el año 2015 y el año 2026 (ambos años inclusive).
2. Artículos escritos en inglés (ámbito internacional) o español (ámbito iberoamericano).
3. Artículos publicados 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.
4. Artículos que incluyan estudios empíricos, programas de intervención, propuestas didácticas o innovaciones que utilicen simuladores virtuales.
5. Artículos centrados en la enseñanza de la física y en el desarrollo de competencias.
6. Artículos dirigidos a estudiantes de educación superior.

Sobre la base de estos criterios se descartaron cinco documentos cuya población no correspondía a la educación superior (tres dirigidos a estudiantes de educación secundaria, uno a profesorado de secundaria y uno a docentes universitarios), lo que dio como resultado 38 artículos que se incluyen dentro de la revisión sistemática (figura 1).

Figura 1**Diagrama de flujo, según la declaración PRISMA**

Una vez seleccionados los artículos, se procedió a la codificación y evaluación de los estudios, registrando para cada uno de ellos los datos bibliográficos (autores, año, revista o fuente, tipo de documento y DOI), así como las variables vinculadas a las preguntas de investigación. Seguidamente, se sintetizaron los resultados para responder a las preguntas planteadas y se reportaron los hallazgos, conforme a las etapas del modelo de Newman y Gough (2020).

RESULTADOS

Se presentarán los resultados por cada pregunta de investigación.

PI-1. ¿Cuáles son los simuladores virtuales más utilizados en la enseñanza de la física en educación superior?

El simulador virtual más utilizado en las investigaciones correspondientes a esta revisión sistemática es PhET (Physics Education Technology), desarrollado por la Universidad de Colorado Boulder, el cual fue investigado en cuatro trabajos: Taibu et al. (2021), Saudelli et al. (2021), Alsalmi et al. (2024) y Hockicko et al. (2015), quienes combinaron sus simulaciones con el análisis de vídeo mediante el programa Tracker. A continuación, los demás simuladores fueron investigados por un único estudio cada uno. Entre ellos se encuentran Algodo, aplicado al principio de Arquímedes (Çelik et al., 2015); GeoGebra, empleado en la indagación sobre el péndulo (Ballesta-Claver et al., 2021); MATLAB, para el estudio de la onda senoidal (Astalini et al., 2023), y Tracker, para el análisis de vídeo en universidades técnicas (Hockicko et al., 2015).

Otros trabajos utilizaron entornos de nueva generación, como el laboratorio de realidad virtual de la Hellenic Open University (Lakka et al., 2023), el simulador de realidad aumentada móvil desarrollado por Acevedo et al. (2022) y la experiencia de criptografía cuántica con realidad aumentada y retroalimentación mediante ChatGPT de Coban et al. (2025), así como el videojuego Portal (Adams et al., 2016). Asimismo, varios estudios emplearon plataformas o laboratorios virtuales desarrollados por sus propios autores: el laboratorio virtual de la Universidad Federal de los Urales (Filanovich y Povzner, 2021), la aplicación Physics Fun (Yusuf et al., 2024), la plataforma web interactiva del St. Xavier's College de Calcuta (Halder y Banerjee, 2026), la plataforma de enseñanza basada en escenarios de experimentos virtuales (Cheng et al., 2025), el sistema de enseñanza por inmersión física (Du, 2022) y los laboratorios de simulación concretos empleados por Hamed y Aljanazrah (2020), Gunawan et al. (2017), Hermita et al. (2017), Yusuf y Widyaningsih (2020) y Simon (2015). También se encontraron entornos basados en inteligencia artificial, como el asistente de

laboratorio con GPT-4 (Kregear et al., 2025) y las redes neuronales informadas por la física para la resolución de ecuaciones diferenciales (Navarro et al., 2024), junto a simulaciones interactivas en HTML5 (Ema et al., 2016). Por último, el 21 % de los trabajos (8 de 38) utilizó simulaciones computacionales o recursos digitales sin especificar su nombre concreto (Kahyaoğlu y Çelik, 2016; Shemwell et al., 2015; Ceberio et al., 2016; Bozkurt y Yıldırım, 2022; Park, 2020; Bertacchini et al., 2019; Liang, 2024; Myrzagereikyzy et al., 2026). En la tabla 2 se muestran los simuladores virtuales investigados y los autores que los analizaron.

Tabla 2**Simuladores virtuales utilizados en las investigaciones**

Nombre del simulador virtual	Autores que lo investigaron	Número
PhET (Physics Education Technology)	Taibu et al. (2021); Saudelli et al. (2021); Alsalhi et al. (2024); Hockicko et al. (2015)	4
Algodoo	Çelik et al. (2015)	1
GeoGebra	Ballesta-Claver et al. (2021)	1
MATLAB	Astalini et al. (2023)	1
Tracker (Open Source Physics)	Hockicko et al. (2015)	1
Laboratorio de realidad virtual (Hellenic Open University)	Lakka et al. (2023)	1
Simulador de realidad aumentada móvil	Acevedo et al. (2022)	1
Realidad aumentada con retroalimentación de ChatGPT	Coban et al. (2025)	1
Portal (videojuego)	Adams et al. (2016)	1
Laboratorio virtual propio (Ural Federal University)	Filanovich y Povzner (2021)	1
Physics Fun (aplicación de laboratorio virtual)	Yusuf et al. (2024)	1
Plataforma web interactiva de laboratorio	Halder y Banerjee (2026)	1
Plataforma de enseñanza con escenarios de experimentos virtuales	Cheng et al. (2025)	1
Sistema de enseñanza por inmersión física	Du (2022)	1
Laboratorios virtuales desarrollados por los autores	Hamed y Aljanazrah (2020); Gunawan et al. (2017); Hermita et al. (2017); Yusuf y Widyarningsih (2020); Simon (2015)	5
Asistente de laboratorio con GPT-4 (LLM)	Kregear et al. (2025)	1
Redes neuronales informadas por la física (PINNs)	Navarro et al. (2024)	1
Simulaciones interactivas en HTML5	Ema et al. (2016)	1
Simulaciones computacionales / recursos digitales sin especificar	Kahyaoğlu y Çelik (2016); Shemwell et al. (2015); Ceberio et al. (2016); Bozkurt y Yıldırım (2022); Park (2020); Bertacchini et al. (2019); Liang (2024); Myrzagereikyzy et al. (2026)	8

PI-2. ¿Qué contenidos de la física se abordan en las investigaciones sobre simuladores virtuales?

Los contenidos abordados en las investigaciones con simuladores virtuales se muestran en la tabla 3. El contenido más frecuente es la electricidad y los circuitos eléctricos, trabajado en dos estudios (Hermita et al., 2017; Gunawan et al., 2017). En el ámbito de la mecánica y los fluidos se encuentran el principio de Arquímedes (Çelik et al., 2015), la fuerza de empuje (Bozkurt y Yıldırım, 2022), el péndulo (Ballesta-Claver et al., 2021), la mecánica analítica y la teoría del caos (Bertacchini et al., 2019) y el momento de inercia (Kregear et al., 2025). Otros contenidos son las ondas, en concreto la onda senoidal (Astalini et al., 2023), y la criptografía cuántica (Coban et al., 2025). No obstante, la mayoría de los trabajos (29 de 38) abordan contenidos diversos del curso de física general universitaria o no especifican un contenido concreto, al centrarse en el diseño de plataformas, entornos o metodologías de carácter general.

Tabla 3**Contenidos de la física abordados en las investigaciones**

Contenido	Autores	Número
Electricidad y circuitos eléctricos	Hermita et al. (2017); Gunawan et al. (2017)	2
Principio de Arquímedes	Çelik et al. (2015)	1
Fuerza de empuje (flotación)	Bozkurt y Yıldırım (2022)	1
Péndulo	Ballesta-Claver et al. (2021)	1
Mecánica analítica y teoría del caos	Bertacchini et al. (2019)	1
Momento de inercia	Kregear et al. (2025)	1
Ondas (onda senoidal)	Astalini et al. (2023)	1
Criptografía cuántica	Coban et al. (2025)	1

Continúa en la página siguiente

Tabla 3. Continuación

Contenido	Autores	Número
Contenidos diversos de física general / no especificados	Taibu et al. (2021); Onorato et al. (2023); Kahyaoğlu y Çelik (2016); Yusuf y Widyaningsih (2020); Shemwell et al. (2015); Ceberio et al. (2016); Lakka et al. (2023); Hamed y Aljanazrah (2020); Adams et al. (2016); Park (2020); Filanovich y Povzner (2021); Nungu et al. (2023); Halder y Banerjee (2026); Acevedo et al. (2022); Cheng et al. (2025); Hockicko et al. (2015); Yusuf et al. (2024); Alsalihi et al. (2024); Myrzagereikyzy et al. (2026); Navarro et al. (2024); Nazira et al. (2025); Simon (2015); Liang (2024); Mirçik y Saka (2018); Mehra (2018); Alcivar et al. (2017); Du (2022); Saudelli et al. (2021); Ema et al. (2016)	29

PI-3. ¿Qué competencias se reportan desarrolladas tras el uso de simuladores virtuales?

Las competencias reportadas en los trabajos revisados se muestran en la tabla 4. La más frecuente es el desarrollo de habilidades prácticas y de laboratorio, presente en diez estudios, seguida de la comprensión conceptual y el cambio conceptual, con ocho trabajos. En tercer lugar se sitúan la resolución de problemas y el pensamiento crítico, con siete trabajos, y el rendimiento académico, con cinco. A continuación se encuentran las competencias digitales, tecnológicas y de programación, con cinco trabajos, las habilidades metacognitivas y autorreguladoras, con cuatro, las habilidades científicas y de indagación, con tres, las habilidades investigativas, con dos, y, con un trabajo cada una, la alfabetización funcional, la presencia cognitiva y la actitud y motivación hacia la física. Cabe señalar que un mismo estudio puede reportar varias competencias, por lo que la suma de las frecuencias supera el número de artículos revisados.

Tabla 4

Competencias reportadas en las investigaciones sobre simuladores virtuales

Competencia	Autores	Frecuencia
Habilidades prácticas y de laboratorio	Taibu et al. (2021); Hamed y Aljanazrah (2020); Onorato et al. (2023); Lakka et al. (2023); Halder y Banerjee (2026); Filanovich y Povzner (2021); Yusuf et al. (2024); Cheng et al. (2025); Acevedo et al. (2022); Simon (2015)	10
Comprensión conceptual y cambio conceptual	Hermita et al. (2017); Bozkurt y Yıldırım (2022); Ballesta-Claver et al. (2021); Hockicko et al. (2015); Çelik et al. (2015); Hamed y Aljanazrah (2020); Halder y Banerjee (2026); Du (2022)	8
Resolución de problemas y pensamiento crítico	Ceberio et al. (2016); Gunawan et al. (2017); Park (2020); Simon (2015); Hockicko et al. (2015); Shemwell et al. (2015); Navarro et al. (2024)	7
Rendimiento académico	Alsalihi et al. (2024); Hamed y Aljanazrah (2020); Bertacchini et al. (2019); Cheng et al. (2025); Yusuf et al. (2024)	5
Competencias digitales, tecnológicas y de programación	Kregear et al. (2025); Coban et al. (2025); Navarro et al. (2024); Astalini et al. (2023); Ema et al. (2016)	5
Habilidades metacognitivas y autorreguladoras	Yusuf y Widyaningsih (2020); Kahyaoğlu y Çelik (2016); Shemwell et al. (2015); Simon (2015)	4
Habilidades científicas y de indagación	Taibu et al. (2021); Shemwell et al. (2015); Ballesta-Claver et al. (2021)	3
Habilidades investigativas	Nazira et al. (2025); Myrzagereikyzy et al. (2026)	2
Alfabetización funcional	Myrzagereikyzy et al. (2026)	1
Presencia cognitiva en aprendizaje en línea	Nungu et al. (2023)	1
Actitud y motivación hacia la física	Kahyaoğlu y Çelik (2016)	1

PI-4. ¿Qué estrategias didácticas acompañan la implementación de los simuladores virtuales?

Las estrategias didácticas que acompañan el uso de los simuladores virtuales se muestran en la tabla 5. La más empleada es el aprendizaje basado en indagación e investigación, presente en ocho trabajos, entre ellos la estrategia POGIL (process-oriented guided-inquiry learning) implementada por Yusuf et al. (2024) y la metodología IBSE (inquiry-based science education) de Ballesta-Claver et al. (2021). Le siguen el aprendizaje activo y el aprendizaje basado en problemas, con cinco trabajos, y el aprendizaje en línea, a distancia y semipresencial, con cuatro. Otras estrategias son el aprendizaje colaborativo en línea, con tres trabajos; el uso de simuladores como preparación previa al laboratorio físico, con dos; la evaluación formativa y la investigación-acción, con un trabajo cada una, y la instrucción fundamentada en teorías del aprendizaje (constructivismo y teoría neurodidáctica) y la enseñanza asistida por inteligencia artificial, con dos trabajos cada una. Nueve estudios no especifican la estrategia didáctica empleada.

Tabla 5**Estrategias didácticas de implementación de los simuladores virtuales**

Estrategia didáctica	Autores	Frecuencia
Aprendizaje basado en indagación / investigación (incluidos POGIL e IBSE)	Yusuf et al. (2024); Ballesta-Claver et al. (2021); Taibu et al. (2021); Shemwell et al. (2015); Lakka et al. (2023); Gunawan et al. (2017); Yusuf y Widyaningsih (2020); Nazira et al. (2025)	8
Aprendizaje activo / aprendizaje basado en problemas	Ceberio et al. (2016); Gunawan et al. (2017); Hockicko et al. (2015); Onorato et al. (2023); Simon (2015)	5
Aprendizaje en línea, a distancia y semipresencial	Onorato et al. (2023); Lakka et al. (2023); Filanovich y Povzner (2021); Astalini et al. (2023)	4
Aprendizaje colaborativo en línea	Nungu et al. (2023); Onorato et al. (2023); Taibu et al. (2021)	3
Simuladores como preparación previa al laboratorio físico (pre-laboratorio)	Halder y Banerjee (2026); Hamed y Aljanazrah (2020)	2
Evaluación formativa basada en simulación	Park (2020)	1
Instrucción fundamentada en teorías del aprendizaje (constructivismo, neurodidáctica)	Saudelli et al. (2021); Ballesta-Claver et al. (2021)	2
Investigación-acción en entornos digitales de aprendizaje	Myrzagereikyzy et al. (2026)	1
Enseñanza asistida por inteligencia artificial	Kregear et al. (2025); Coban et al. (2025)	2

PI-5. ¿Qué resultados se han obtenido al aplicar los simuladores virtuales para el desarrollo de competencias?

En la mayoría de los estudios analizados se obtuvieron resultados positivos al aplicar simuladores virtuales. En la tabla 6 se clasifican los trabajos según el tipo de resultado reportado. Así, los estudiantes de los grupos que utilizaron simuladores obtuvieron mejores resultados académicos que sus compañeros que no los utilizaron (Alsalihi et al., 2024; Lakka et al., 2023; Hockicko et al., 2015; Bertacchini et al., 2019). Otros resultados positivos fueron que:

- Mejoraron las habilidades de laboratorio y la satisfacción de los estudiantes, con un tamaño del efecto grande (d de Cohen $> 0,8$) y un 88 % de valoraciones positivas (Taibu et al., 2021).
- Resultaron altamente eficaces para reducir las concepciones erróneas sobre los circuitos de corriente continua (Hermita et al., 2017).
- Mejoraron la calidad del aprendizaje y las habilidades metacognitivas de los estudiantes en los cursos de experimentación física (Yusuf y Widyaningsih, 2020).
- Incrementaron la capacidad de resolución de problemas en el concepto de electricidad, especialmente en la planificación y ejecución de soluciones (Gunawan et al., 2017).
- Mejoraron la comprensión conceptual y la confianza de los estudiantes para realizar experimentos físicos, con el 100 % de los encuestados valorando la plataforma como beneficiosa (Halder y Banerjee, 2026).
- Mejoraron la comprensión del contenido y la capacidad de realizar experimentos previamente limitados por los recursos disponibles (Yusuf et al., 2024).
- Contribuyeron al aprendizaje autorregulado y a la reducción de la carga cognitiva (Simon, 2015).
- Facilitaron el desarrollo de las habilidades investigativas y la alfabetización funcional de los futuros docentes de física (Nazira et al., 2025; Myrzagereikyzy et al., 2026).

Sin embargo, no todos los trabajos reportaron resultados significativos. Adams et al. (2016) encontraron que jugar al videojuego Portal no produjo diferencias significativas en el razonamiento físico ingenuo ni en las habilidades espaciales, ni tampoco en el aprendizaje formal posterior de las leyes de Newton. De igual manera, Kahyaoğlu y Çelik (2016) determinaron que la enseñanza apoyada en simulaciones solo produjo una diferencia significativa en la dimensión de valor de la tarea de la motivación, sin efectos en las demás dimensiones de la motivación ni en las estrategias de aprendizaje de los futuros docentes. Por último, un estudio (Du, 2022) fue retractado por la revista que lo publicó, por lo que sus resultados deben interpretarse con cautela.

Tabla 6**Resultados obtenidos tras la aplicación de los simuladores virtuales**

Tipo de resultado	Autores	Frecuencia
Mejora del rendimiento académico	Alsalmi et al. (2024); Lakka et al. (2023); Hockicko et al. (2015); Bertacchini et al. (2019)	4
Mejora de habilidades de laboratorio y satisfacción	Taibu et al. (2021); Halder y Banerjee (2026); Yusuf et al. (2024); Onorato et al. (2023); Hamed y Aljanazrah (2020)	5
Reducción de concepciones erróneas / cambio conceptual	Hermita et al. (2017); Du (2022)	2
Mejora de habilidades metacognitivas	Yusuf y Widyaningsih (2020)	1
Mejora de la resolución de problemas	Gunawan et al. (2017); Ceberio et al. (2016)	2
Aprendizaje autorregulado y reducción de la carga cognitiva	Simon (2015)	1
Desarrollo de habilidades investigativas y alfabetización funcional	Nazira et al. (2025); Myrzagereikyzy et al. (2026)	2
Sin diferencias significativas	Adams et al. (2016); Kahyaoglu y Çelik (2016)	2
Estudio retractado (interpretar con cautela)	Du (2022)	1

Cabe señalar que un mismo estudio puede reportar varios tipos de resultados, por lo que las frecuencias de la tabla 6 no son excluyentes entre sí.

DISCUSIÓN

En la presente investigación se determinó que el simulador virtual más utilizado en la enseñanza de la física en educación superior es PhET, investigado en cuatro de los 38 trabajos revisados (Taibu et al., 2021; Saudelli et al., 2021; Alsalmi et al., 2024; Hockicko et al., 2015). Este resultado coincide con lo reportado por Campos Mera y Benarroch Benarroch (2024) en su revisión sobre laboratorios virtuales en educación secundaria, en la que PhET también fue el recurso más frecuente, lo que sugiere que su predominio se extiende a todos los niveles educativos, probablemente debido a su libre acceso web, su variedad temática y su respaldo institucional (Saudelli et al., 2021). A diferencia de la revisión mencionada, en la que los laboratorios se concentraban en unas pocas plataformas consolidadas, en la educación superior se observa una notable dispersión: junto a PhET conviven entornos de modelado como Algodoo o GeoGebra, herramientas de análisis como Tracker, plataformas institucionales desarrolladas por los propios autores y, de manera creciente, experiencias de realidad virtual y aumentada (Lakka et al., 2023; Acevedo et al., 2022; Coban et al., 2025) y entornos basados en inteligencia artificial (Kregear et al., 2025; Navarro et al., 2024). Esta diversidad evidencia un campo en expansión tecnológica, aunque también una fragmentación que dificulta la comparación entre estudios, tal como ya advertían Mirçik y Saka (2018) al señalar los dilemas que plantea a los docentes la selección y adaptación de estos programas.

Por otro lado, otro de los resultados de esta investigación es que el contenido más abordado es la electricidad y los circuitos eléctricos (Hermita et al., 2017; Gunawan et al., 2017), lo cual coincide con lo encontrado por Campos Mera y Benarroch Benarroch (2024), quienes también identificaron los circuitos eléctricos como el contenido de física más recurrente en secundaria. La explicación puede encontrarse en la naturaleza abstracta de estos contenidos, cuyos fenómenos —la corriente, el voltaje o los campos— no son directamente observables, por lo que la simulación aporta una visualización que facilita la relación entre la teoría y la práctica (Yusuf y Widyaningsih, 2020). Llama la atención, sin embargo, que la mayoría de los trabajos revisados no se centren en un contenido específico, sino en el diseño de plataformas o metodologías de carácter general para el curso de física universitaria, lo que indica que la investigación en este nivel ha priorizado el desarrollo tecnológico y las condiciones de implementación sobre el análisis de contenidos concretos.

En cuanto a las competencias desarrolladas, los resultados muestran que las más reportadas son las habilidades prácticas y de laboratorio, seguidas de la comprensión conceptual y el cambio conceptual, la resolución de problemas y el pensamiento crítico. Estos resultados coinciden con los de Campos Mera y Benarroch Benarroch (2024), quienes concluyeron que el principal beneficio de los laboratorios virtuales es la mejora del rendimiento académico y la comprensión de los estudiantes, así como con los de Chen y Singh (2025), que vincularon el uso de las tecnologías digitales con el aprendizaje autorregulado y los resultados del

estudiante en la educación superior. Asimismo, la frecuente aparición de las habilidades metacognitivas (Yusuf y Widyaningsih, 2020), las habilidades investigativas (Nazira et al., 2025) y la alfabetización funcional (Myrzagereikyzy et al., 2026) evidencia que, en la educación superior, el interés se desplaza desde la mera adquisición de contenidos hacia competencias transversales vinculadas al perfil profesional y a la formación del profesorado.

Con respecto a las estrategias didácticas, destaca el predominio del aprendizaje basado en indagación, presente en ocho trabajos, entre ellos la estrategia POGIL (Yusuf et al., 2024) y la metodología IBSE (Ballesta-Claver et al., 2021). Este resultado es coherente con la naturaleza misma de los simuladores, que permiten a los estudiantes plantear conjeturas, manipular variables y contrastar resultados, actividades propias de la práctica científica (Hamed y Aljanazrah, 2020). También es significativo que dos estudios empleen los simuladores como preparación previa al laboratorio físico (Halder y Banerjee, 2026; Hamed y Aljanazrah, 2020), lo que refuerza la idea, ya señalada en la literatura, de que los entornos virtuales no deben sustituir a los laboratorios reales, sino complementarlos, obteniéndose mejores resultados cuando se combinan ambas prácticas (Campos Mera y Benarroch Benarroch, 2024). Por su parte, la incorporación del constructivismo y de enfoques neurodidácticos como marcos explícitos de implementación (Saudelli et al., 2021; Ballesta-Claver et al., 2021) subraya la necesidad de fundamentar didácticamente el uso de estos recursos para que su potencial se traduzca en aprendizaje efectivo.

En relación con los resultados obtenidos, en la mayoría de los estudios se reportaron efectos positivos tras la aplicación de los simuladores virtuales, tanto en el rendimiento académico (Alsahhi et al., 2024; Lakka et al., 2023) como en las habilidades de laboratorio, la satisfacción de los estudiantes (Taibu et al., 2021; Halder y Banerjee, 2026) y la reducción de concepciones erróneas (Hermita et al., 2017). Estos resultados coinciden con los de Campos Mera y Benarroch Benarroch (2024), quienes igualmente hallaron resultados positivos en la mayor parte de los casos analizados. No obstante, también se identificaron dos estudios sin diferencias significativas (Adams et al., 2016; Kahyaoğlu y Çelik, 2016), lo que recuerda que la mera presencia de la simulación no garantiza el aprendizaje: su eficacia depende del diseño de la actividad, de la duración de la exposición y de la adecuación a los objetivos de aprendizaje. A ello se suma la necesidad de cautela con un estudio retractado (Du, 2022), que invita a extremar la vigilancia sobre la calidad metodológica de las investigaciones en este campo.

Finalmente, cabe destacar como tendencia emergente la irrupción de la inteligencia artificial en los simuladores para la enseñanza de la física, ya sea mediante asistentes de laboratorio basados en grandes modelos de lenguaje (Kregear et al., 2025), la retroalimentación personalizada combinada con realidad aumentada (Coban et al., 2025) o las redes neuronales informadas por la física (Navarro et al., 2024). Esta línea, prácticamente ausente en las revisiones anteriores, abre nuevas posibilidades para la personalización del aprendizaje, aunque también plantea retos sobre el papel del docente, la fiabilidad de las respuestas generadas y la necesidad de investigar su impacto real en el desarrollo de competencias, tal como apuntan Chen y Singh (2025) en su análisis de las oportunidades y desafíos de la tecnología digital en la educación superior.

CONCLUSIONES

El objetivo de esta revisión sistemática fue caracterizar la producción científica sobre los simuladores virtuales como estrategia para el desarrollo de competencias en la enseñanza de la física en la educación superior. Tras el análisis de los 38 artículos incluidos, procedentes de las bases de datos Scopus y Web of Science, se concluye que PhET es el simulador virtual más utilizado en este nivel educativo, investigado en cuatro de los trabajos revisados, seguido de una amplia diversidad de entornos —Algodoo (en uso hasta el 2019 debido a su falta de actualización), GeoGebra, MATLAB, Tracker, plataformas web institucionales, realidad virtual y aumentada y, de manera emergente, entornos basados en inteligencia artificial—, lo que evidencia un campo en expansión tecnológica, aunque también fragmentado y con una quinta parte de los estudios que no especifica el recurso empleado.

En cuanto a los contenidos, la electricidad y los circuitos eléctricos constituyen el tema más abordado con simuladores virtuales, en coherencia con su carácter abstracto, mientras que la mayoría de las investigaciones

se centran en el diseño de plataformas o metodologías de carácter general para el curso de física universitaria. En relación con las competencias, las más reportadas son las habilidades prácticas y de laboratorio, la comprensión conceptual y el cambio conceptual, y la resolución de problemas y el pensamiento crítico, acompañadas de habilidades metacognitivas, investigativas y digitales, lo que refleja un desplazamiento del interés desde la adquisición de contenidos hacia competencias transversales vinculadas al perfil profesional.

Respecto a las estrategias didácticas, predomina el aprendizaje basado en indagación —incluidas las estrategias POGIL e IBSE—, coherente con la naturaleza exploratoria de los simuladores, seguido del aprendizaje activo, el aprendizaje en línea y el uso de los simuladores como preparación previa al laboratorio físico, lo que confirma su papel complementario y no sustitutivo de la experimentación real. Asimismo, la mayoría de los estudios reportan resultados positivos tras la aplicación de los simuladores virtuales, tanto en el rendimiento académico como en las habilidades de laboratorio, la satisfacción de los estudiantes y la reducción de concepciones erróneas, si bien se identificaron dos trabajos sin diferencias significativas, lo que pone de manifiesto que la eficacia de estos recursos depende del diseño de la actividad y de su adecuación a los objetivos de aprendizaje.

Como tendencia emergente destaca la integración de la inteligencia artificial en los simuladores para la enseñanza de la física, mediante asistentes basados en grandes modelos de lenguaje, retroalimentación personalizada combinada con realidad aumentada y redes neuronales informadas por la física, una línea que abre nuevas posibilidades para la personalización del aprendizaje, pero que requiere investigación sobre su impacto real en el desarrollo de competencias.

Entre las limitaciones de esta revisión cabe señalar la restricción de la búsqueda a dos bases de datos y a documentos en inglés y español, la heterogeneidad metodológica de los estudios incluidos, que dificulta la comparación de sus resultados, y la presencia de un artículo retractado cuyos datos deben interpretarse con cautela. Como líneas futuras se propone ampliar la búsqueda a otras bases de datos, realizar metaanálisis que cuantifiquen el efecto de los simuladores virtuales sobre las distintas competencias y profundizar en el estudio de las nuevas aplicaciones de la inteligencia artificial en la enseñanza universitaria de la física.

REFERENCIAS

- Acevedo, F. A., Cruz, J. A. F., Aguilar, C. A. H., y Bautista, D. P. (2022). Diseño e implementación de un simulador basado en realidad aumentada móvil para la enseñanza de la física en la educación superior. *EduTec. Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, (80), 66-83. <https://doi.org/10.21556/edutec.2022.80.2509>
- Adams, D. M., Pilegard, C., y Mayer, R. E. (2016). Evaluating the cognitive consequences of playing Portal for a short duration. *Journal of Educational Computing Research*, 54(2), 173-195. <https://doi.org/10.1177/0735633115620431>
- Alcivar, B. J. L., Tumbaco, S. L. C., y Merchan, S. M. R. (2017). ICTs in learning physics. *Revista Publicando*, 4(10), 429-438.
- Alsalthi, N. R., Ismail, A. A. K. H., Alqawasmi, A., Abdelkader, A. F. I., Alqatawneh, S., y Salem, O. (2024). The effect of using PhET interactive simulations on academic achievement of physics students in higher education institutions. *Educational Sciences: Theory and Practice*, 24(1), 65-75. <https://doi.org/10.12738/jestp.2024.1.006>
- Astalini, Qizi, K. C. A., San, M. T., Yusifov, S., y Byamba-Ochir, N. (2023). Development of MATLAB-based physics practical media to optimize online learning for students on sine wave material. *Journal of Educational Technology and Learning Creativity*, 1(2), 88-97. <https://doi.org/10.37251/jetlc.v1i2.1396>
- Ballesta-Claver, J., Blanco, M. F. A., y Pérez, I. A. G. (2021). A revisited conceptual change in mathematical-physics education from a neurodidactic approach: A pendulum inquiry. *Mathematics*, 9(15), 1755. <https://doi.org/10.3390/math9151755>
- Ben Ouahi, M., Droui, M., Hida, E., Hassouni, T., y Al Ibrahmi, E. (2025). Students' attitude towards physics: Its influence on their performance before and after the use of interactive simulations. *Knowledge Management & E-Learning*, 17(3), 475-496. <https://doi.org/10.34105/j.kmel.2025.17.022>
- Bertacchini, F., Bilotta, E., Caldarola, F., y Pantano, P. (2019). The role of computer simulations in learning analytic mechanics towards chaos theory: A course experimentation. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 50(1), 100-120. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2018.1478134>
- Bozkurt, E., y Yıldırım, F. S. (2022). Determining the misunderstandings of physics and science teacher candidates about the events related to the buoyancy force. *Pegem Egitim ve Ogretim Dergisi*, 12(1), 222-231. <https://doi.org/10.47750/peggegog.12.01.23>
- Campos Mera, G., y Benarroch Benarroch, A. (2024). Laboratorios virtuales para la enseñanza de las ciencias: una revisión sistemática. *Enseñanza de las Ciencias*, 42(2), 109-129. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.6040>

- Ceberio, M., Almudí, J. M., y Franco, Á. (2016). Design and application of interactive simulations in problem-solving in university-level physics education. *Journal of Science Education and Technology*, 25(4), 590-609. <https://doi.org/10.1007/s10956-016-9615-7>
- Çelik, H., Sari, U., y Harwanto, U. N. (2015). Evaluating and developing physics teaching material with Algodoo in virtual environment: Archimedes' principle. *International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education*, 23(4), 40-50.
- Chen, Z., y Singh, C. (2025). Opportunities and challenges in harnessing digital technology for effective teaching and learning. *Trends in Higher Education*, 4(1), 6. <https://doi.org/10.3390/higheredu4010006>
- Cheng, L., Niu, W.-C., Zhao, X.-G., Xu, C.-L., y Hou, Z.-Y. (2025). Design and implementation of college physics teaching platform based on virtual experiment scene. *International Journal of Electrical Engineering and Education*, 62(1), 73-86. <https://doi.org/10.1177/0020720920984688>
- Coban, A., Dzsotjan, D., Küchemann, S., Durst, J., Kuhn, J., y Hoyer, C. (2025). AI support meets AR visualization for Alice and Bob: Personalized learning based on individual ChatGPT feedback in an AR quantum cryptography experiment for physics lab courses. *EPJ Quantum Technology*, 12(1). <https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-025-00310-z>
- Du, A. H. (2022). Fuzzy intelligence in physical immersion teaching system based on digital simulation technology (artículo retractado). *Journal of Mathematics*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/3741475>
- Ema, A., Diego, R., y Andrea, V. (2016). Physics teaching with simulations in HTML5. *Journal of Computer Science & Technology*, 16(1), 47-51.
- Filanovich, A., y Povzner, A. (2021). Virtual laboratories in physics education. *The Physics Teacher*, 59(8), 582-584. <https://doi.org/10.1119/5.0038803>
- Folkers, B., Castenmiller, C., Brinkman, A., y Stadermann, K. (2026). An analysis of demonstration materials in quantum physics education. *EPJ Quantum Technology*. <https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-025-00460-0>
- Gunawan, Harjono, A., Sahidu, H., y Herayanti, L. (2017). Virtual laboratory to improve students' problem-solving skills on electricity concept. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 6(2), 257-264. <https://doi.org/10.15294/jpii.v6i2.9481>
- Halder, A., y Banerjee, S. (2026). Bridging the gap between virtual and physical laboratories: A web-based interactive platform for undergraduate physics practicals. *Physics Education*, 61(1). <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ae29d5>
- Hamed, G., y Aljanazrah, A. (2020). The effectiveness of using virtual experiments on students' learning in the general physics lab. *Journal of Information Technology Education: Research*, 19, 977-996. <https://doi.org/10.28945/4668>
- Hermita, N., Suhandi, A., Syaodih, E., Samsudin, A., Sopandi, W., Muslim, M., Wibowo, F. C., Maftuh, B., Prasetyo, Z. K., Mustafa, M. N., Isjoni, I., Marhadi, H., Rosa, F., Sumardi, S., y Costu, B. (2017). The effectiveness of using virtual simulation and analogy in the conceptual change oriented-physics learning on direct current circuits. *Turkish Online Journal of Educational Technology*, 2017(December Special Issue), 347-356.
- Hockicko, P., Krišt'ák, L., y Němec, M. (2015). Development of students' conceptual thinking by means of video analysis and interactive simulations at technical universities. *European Journal of Engineering Education*, 40(2), 145-166. <https://doi.org/10.1080/03043797.2014.941337>
- Kahyaoglu, M., y Çelik, V. (2016). Influences of physics education supported by computer simulations on motivation levels and teaching strategies of teacher candidates. *Turkish Online Journal of Educational Technology*, 2016(November Special Issue), 1202-1209.
- Kregear, T., Babayeva, M., y Widenhorn, R. (2025). Analysis of student interactions with a large language model in an introductory physics lab setting. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 35(5), 2993-3016. <https://doi.org/10.1007/s40593-025-00489-3>
- Lakka, I., Zafeiropoulos, V., y Leisos, A. (2023). Online virtual reality-based vs. face-to-face physics laboratory: A case study in distance learning science curriculum. *Education Sciences*, 13(11), 1083. <https://doi.org/10.3390/educsci13111083>
- Liang, J. (2024). A study to analyze the importance of establishing a mathematical model for teaching college physics. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, 9(1). <https://doi.org/10.2478/amns.2023.2.01648>
- Malgieri, M., Onorato, P., y De Ambrosis, A. (2018). GeoGebra simulations for Feynman's sum over paths approach. *Nuovo Cimento della Societa Italiana di Fisica C*, 41(3). <https://doi.org/10.1393/ncc/i2018-18124-6>
- Mehra, S. R. (2018). Digital technologies are increasingly permeating people's daily lives. *Bauphysik*, 40(5), 344-357. <https://doi.org/10.1002/bapi.201800020>
- Mirçik, Ö. K., y Saka, A. Z. (2018). Virtual laboratory applications in physics teaching. *Canadian Journal of Physics*, 96(7), 745-750. <https://doi.org/10.1139/cjp-2017-0748>
- Myrzagereikyzy, G., Yermekova, Z., Nurkassymova, S., Sagyndykova, G., y Tolekenova, L. (2026). Developing functional literacy through digital action research in physics education. *International Journal of Information and Education Technology*, 16(5), 1315-1321. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2026.16.5.2599>
- Navarro, L. M., Martin-Moreno, L., y Rodrigo, S. G. (2024). Solving differential equations with deep learning: A beginner's guide. *European Journal of Physics*, 45(1). <https://doi.org/10.1088/1361-6404/ad0a9f>

- Nazira, A., Sandibaeva, N., y Garnaeva, G. (2025). Formation of students' research skills in digital transformation of physics teaching. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 13(2), 473-488. <https://doi.org/10.21533/pen.v13.i2.344>
- Newman, M., y Gough, D. (2020). Systematic reviews in educational research: Methodology, perspectives and application. En O. Zawacki-Richter, M. Kerres, S. Bedenlier, M. Bond, y K. Buntins (Eds.), *Systematic Reviews in Educational Research* (pp. 3-22). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-27602-7_1
- Nungu, L., Mukama, E., y Nsabayeze, E. (2023). Online collaborative learning and cognitive presence in mathematics and science education. Case study of University of Rwanda, College of Education. *Education and Information Technologies*, 28(9), 10865-10884. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11607-w>
- Onorato, P., Rosi, T., Tufino, E., Ambrosini, V., Toffaletti, S., Caprara, C., Di Mauro, M., Gratton, L. M., y Oss, S. (2023). Bringing the physics laboratory at home: Tools and methodologies for distance learning at the University of Trento. *Nuovo Cimento della Societa Italiana di Fisica C*, 46(6). <https://doi.org/10.1393/ncc/i2023-23204-9>
- 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., et al. (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.recesp.2021.06.016>
- Park, M. (2020). Students' problem-solving strategies in qualitative physics questions in a simulation-based formative assessment. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 2(1). <https://doi.org/10.1186/s43031-019-0019-4>
- Pena-Molina, A. E., y Larrondo-Petrie, M. M. (2025). Safety and security considerations for online laboratory management systems. *Journal of Cybersecurity and Privacy*, 5(2), 24. <https://doi.org/10.3390/jcp5020024>
- Saudelli, M. G., Kleiv, R., Davies, J., Jungmark, M., y Mueller, R. (2021). PhET simulations in undergraduate physics: Constructivist learning theory in practice. *Brock Education: A Journal of Educational Research and Practice*, 31(1), 52-69. <https://doi.org/10.26522/brocked.v31i1.899>
- Shemwell, J. T., Chase, C. C., y Schwartz, D. L. (2015). Seeking the general explanation: A test of inductive activities for learning and transfer. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(1), 58-83. <https://doi.org/10.1002/tea.21185>
- Simon, N. (2015). Improving higher-order learning and critical thinking skills using virtual and simulated science laboratory experiments. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 312, 187-192. https://doi.org/10.1007/978-3-319-06764-3_24
- Taibu, R., Mataka, L., y Shekoyan, V. (2021). Using PhET simulations to improve scientific skills and attitudes of community college students. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 9(3), 353-370. <https://doi.org/10.46328/ijemst.1214>
- Yusuf, I., Setyosari, P., Kuswandi, D., y Ulfa, S. (2024). Development of integrated physics learning tools in virtual laboratory platform: Its implementation through the POGIL strategy in Indonesian frontier areas. *TEM Journal*, 13(3), 2568-2580. <https://doi.org/10.18421/TEM133-82>
- Yusuf, I., y Widyaningsih, S. W. (2020). Implementing e-learning-based virtual laboratory media to students' metacognitive skills. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 15(5), 63-74. <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i05.12029>