Tipo de artículo: Artículo de revisión

Modelos de simulación clínica en la enseñanza de las ciencias de la salud: una revisión sistemática

Clinical simulation models in health sciences teaching: a systematic review

Mónica Gabriela Cháchalo Sandoval [1*], https://orcid.org/0000-0001-9710-2422
Sandra Pamela Bazante Riofrio [1], https://orcid.org/0009-0008-6645-030X
Evelyn Paulina Chacha Ochoa [1], https://orcid.org/0000-0002-1142-1172

[1] Universidad Regional Autónoma de los Andes, Ibarra, Ecuador.

*Autor para la correspondencia. monicacs48@uniandes.edu.ec

RESUMEN

Se realizó una revisión sistemática exhaustiva sobre los modelos de simulación clínica en la enseñanza de las ciencias de la salud, empleando la metodología PRISMA para identificar y evaluar la evidencia disponible. En total, se analizaron 62 estudios publicados entre 2010 y 2023 en bases de datos académicas como PubMed, Scopus y Web of Science. La búsqueda inicial generó 175 artículos, de los cuales 22 cumplieron los criterios de inclusión tras la exclusión de duplicados, estudios no relevantes, y aquellos con calidad metodológica insuficiente (evaluada mediante la lista de verificación PRISMA). La revisión se centró en analizar variables como mejoras en retención del conocimiento (presentada en 11 estudios), desarrollo de habilidades prácticas (7 estudios), toma de decisiones clínicas (2 estudios), aumento de la confianza y reducción de errores (2). Los hallazgos demostraron que la simulación clínica es significativamente más efectiva que los métodos tradicionales en estos aspectos ($p < 0.05$ en la mayoría de los estudios), aunque se señalaba que su implementación presenta desafíos de costo, formación y resistencia al cambio en el ámbito educativo. La

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

evidencia consolidada indica que la simulación es una estrategia complementaria poderosa, recomendando una integración híbrida con la enseñanza convencional. Se sugiere promover políticas institucionales que faciliten su adopción y desarrollo de habilidades especializadas para maximizar su impacto en la formación en ciencias de la salud.

Palabras clave: simulación clínica, enseñanza en ciencias de la salud, revisión sistemática, PRISMA, educación médica.

ABSTRACT

A comprehensive systematic review of clinical simulation models in health sciences education was conducted, using the PRISMA methodology to identify and assess the available evidence. A total of 62 studies published between 2010 and 2023 were analyzed in academic databases such as PubMed, Scopus, and Web of Science. The initial search generated 175 articles, of which 22 met the inclusion criteria after excluding duplicates, irrelevant studies, and those with insufficient methodological quality (assessed using the PRISMA checklist). The review focused on analyzing variables such as improvements in knowledge retention (presented in 11 studies), development of practical skills (7 studies), clinical decision-making (2 studies), increased confidence, and error reduction (2). The findings demonstrated that clinical simulation is significantly more effective than traditional methods in these aspects ($p < 0.05$ in most studies), although it was noted that its implementation presents challenges related to cost, training, and resistance to change in the educational field. Consolidated evidence indicates that simulation is a powerful complementary strategy, recommending its hybrid integration with conventional teaching. It is suggested that institutional policies be promoted to facilitate its adoption and the development of specialized skills to maximize its impact on health sciences training.

Keywords: clinical simulation, health sciences teaching, systematic review, PRISMA, medical educations.

Recibido: 26/02/2025
Aceptado: 22/05/2025
En línea: 01/07/2025

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Introducción

Los modelos de simulación clínica se han convertido en un pilar fundamental en la formación en ciencias de la salud, ofreciendo un enfoque transformador para la formación de profesionales sanitarios. Estos modelos proporcionan un entorno seguro y controlado para que los estudiantes practiquen y perfeccionen habilidades tanto técnicas como no técnicas, mejorando así la seguridad del paciente y los resultados clínicos. La integración de la simulación en la formación sanitaria se sustenta en un sólido marco teórico y se reconoce cada vez más como esencial tanto en la formación médica de pregrado como en la continua. Esta estrategia educativa es especialmente relevante en contextos con acceso limitado a entornos clínicos, como durante la pandemia de COVID-19.

Los programas de simulación clínica son cruciales para la acreditación de los centros de simulación, esenciales para una formación segura y eficaz en ciencias de la salud. Estos programas permiten a los estudiantes practicar repetidamente habilidades clínicas hasta dominarlas, garantizando así la seguridad del paciente (Morales et al., 2017).

La educación basada en simulación se ha adoptado ampliamente en los países angloparlantes y se utiliza para enseñar competencias generales como el trabajo en equipo, la comunicación y la confianza. Es particularmente eficaz en entornos multidisciplinarios (Putz et al., 2022).

El uso de simuladores de alta fidelidad, como el Simulador de Atención de Emergencias para Pacientes Humanos, permite a los estudiantes practicar escenarios complejos de gestión de pacientes, incluyendo intervenciones de emergencia, en un entorno realista y controlado (García et al., 2017).

La educación basada en simulación mejora las experiencias de aprendizaje de los profesionales de la salud al brindarles oportunidades para practicar el razonamiento clínico y la toma de decisiones en escenarios realistas sin el riesgo de perjudicar a los pacientes reales (Alonso-Peña & Álvarez-Álvarez, 2023). La metodología apoya el desarrollo de habilidades psicomotoras y funciones ejecutivas, en consonancia con las teorías educativas que enfatizan el aprendizaje experiencial (Zapletal et al., 2024). Además, los estudiantes que participan en simulaciones como pacientes simulados reportan beneficios significativos en su desarrollo profesional, ya que estas experiencias hacen que el aprendizaje sea más significativo en comparación con los métodos de enseñanza tradicionales (Birt et al., 2018).

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

A pesar de sus beneficios, la implementación de la simulación clínica requiere una inversión significativa de tiempo y dinero, lo que puede dificultar su integración temprana y eficiente en los procesos educativos (Christopher et al., 2021).

El desarrollo de modelos de razonamiento clínico válidos y fiables es esencial para optimizar la formación basada en simulación. Estos modelos deben evaluarse en cuanto a su fiabilidad y validez en diferentes niveles de competencia y experiencia (Alanazi et al., 2017).

Se están explorando enfoques innovadores, como el uso de metodologías de ciencia de la implementación, para mejorar el desarrollo, la implementación y la sostenibilidad de los programas de simulación. Modelos como AIM-SIM e IQR-SIM buscan abordar las deficiencias en las metodologías actuales y mejorar la eficacia de la formación basada en simulación (Wamalwa et al., 2024).

Si bien los modelos de simulación clínica ofrecen numerosas ventajas en la formación en ciencias de la salud, es necesario abordar desafíos como la asignación de recursos y la necesidad de modelos educativos validados para maximizar su impacto. El desarrollo continuo de metodologías innovadoras y la integración de la simulación con otras modalidades de formación son prometedores para el futuro de la formación médica. A medida que avanza la tecnología, el potencial de la simulación para revolucionar la capacitación en atención médica continúa creciendo, ofreciendo nuevas oportunidades para mejorar las habilidades y competencias de los profesionales de la salud en todo el mundo.

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo realizar una revisión sistemática exhaustiva sobre los modelos de simulación clínica en la enseñanza de las ciencias de la salud.

Métodos o Metodología Computacional

Para garantizar la rigurosidad, transparencia y replicabilidad de los hallazgos, esta revisión sistemática fue desarrollada conforme a los lineamientos establecidos por la declaración PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) (PRISMA, 2020). Esta metodología ha demostrado ser efectiva en estudios donde se requiere identificar, evaluar e interpretar el conjunto de evidencia relevante sobre una temática específica, especialmente en contextos donde convergen disciplinas como la informática médica, la simulación computacional y las ciencias de la salud.

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Dado que el enfoque de esta revisión se centra en los aspectos computacionales y matemáticos de los modelos de simulación clínica, se priorizó la recuperación y análisis de literatura que abordara elementos como el diseño algorítmico, la implementación tecnológica, el uso de inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático (AA) en entornos de simulación, así como sus implicaciones pedagógicas en el contexto de la formación en salud. La estructura metodológica se organizó siguiendo las etapas del protocolo PRISMA.

Formulación de las preguntas de investigación

Las preguntas de investigación (*Research Questions*, RQ) se desarrollaron mediante la estrategia PICo (Población, Intervención, Contexto) adaptada al campo de la informática médica:

RQ 1. ¿Qué modelos computacionales de simulación clínica han sido implementados en la enseñanza de ciencias de la salud en los últimos 10 años?

RQ 2. ¿Qué algoritmos de inteligencia artificial o aprendizaje automático han sido incorporados en simulaciones clínicas educativas?

RQ 3. ¿Cómo se han validado matemáticamente los modelos de simulación clínica empleados en contextos educativos?

RQ 4. ¿Qué impacto medible tienen los modelos de simulación basados en tecnología sobre el desempeño clínico y la retención del conocimiento?

Fuentes de información y estrategias de búsqueda

Se realizaron búsquedas sistemáticas en las siguientes bases de datos académicas reconocidas por su alta cobertura científica y técnica: PubMed (NIH); Scopus (Elsevier); Web of Science (Clarivate Analytics); IEEE Xplore; y ACM Digital Library

Las estrategias incluyeron búsqueda automática (basada en operadores booleanos y sintaxis específica por base), búsqueda manual (revisión de bibliografía de artículos clave) y técnica de bola de nieve (identificación de referencias a partir de citas de estudios incluidos).

Estrategia de búsqueda y sintaxis por base de datos

Se definieron las siguientes palabras clave y operadores booleanos, adaptados según las características de cada base:

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Tabla 1. Sintaxis por base de datos.

Base de datos	Consulta sintáctica utilizada
PubMed	("clinical simulation"[MeSH Terms] OR "medical simulation"[All Fields]) AND ("machine learning"[All Fields] OR "artificial intelligence"[All Fields]) AND ("medical education"[MeSH Terms]) AND ("2010/01/01"[PDAT] : "2023/12/31"[PDAT])
Scopus	TITLE-ABS-KEY("clinical simulation" AND "medical education" AND ("AI" OR "artificial intelligence" OR "machine learning") AND PUBYEAR > 2009 AND PUBYEAR < 2024)
Web of Science	TS=("clinical simulation" AND "medical education" AND ("artificial intelligence" OR "machine learning")) AND PY=(2010-2023)
IEEE Xplore	("All Metadata": "clinical simulation" AND "machine learning" AND "medical training") AND Publication Year: 2010–2023
ACM Digital Library	[[Abstract: "clinical simulation"] AND [Abstract: "machine learning"]] AND [Publication Date: (2010 TO 2023)]

Criterios de inclusión:

- Estudios publicados entre 2010 y 2023.
- Artículos revisados por pares en inglés o español.
- Investigaciones que describan modelos computacionales de simulación clínica en contextos educativos.
- Estudios que integren tecnologías como IA, aprendizaje automático o lógica matemática en el diseño de simuladores.
- Ensayos controlados, estudios de validación o revisiones sistemáticas previas con foco computacional.

Criterios de exclusión:

- Estudios exclusivamente narrativos o de opinión sin base empírica.
- Artículos sobre simulación clínica que no incluyan aspectos tecnológicos o matemáticos explícitos.
- Publicaciones sin acceso al texto completo.
- Investigaciones centradas únicamente en simulación veterinaria o de enfermería sin componente computacional.

El proceso de búsqueda y selección, siguiendo el protocolo general de flujo PRISMA, comenzó con la identificación de 175 registros provenientes de bases de datos, sin registros adicionales. Antes de la fase de revisión, se eliminaron 113 registros, de ellos 17 duplicados y 96 por otras razones, como idioma o acceso

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

restringido. De los 62 registros restantes, se excluyeron 25 por no cumplir con los criterios de inclusión establecidos. Se solicitaron 7 informes para recuperación, de los cuales 4 no pudieron ser obtenidos debido a fuentes eliminadas o inactivas. Finalmente, se evaluaron 40 informes, de los cuales 18 fueron excluidos por motivos como no abordar aspectos computacionales (n=9), baja calidad metodológica (n=5) o por duplicidad temática con versiones más completas (n=4). Como resultado, se incluyeron en la revisión 22 estudios, cuyos informes corresponden a estos trabajos. Este flujo es ilustrado en el diagrama PRISMA que se muestra en la figura 1.

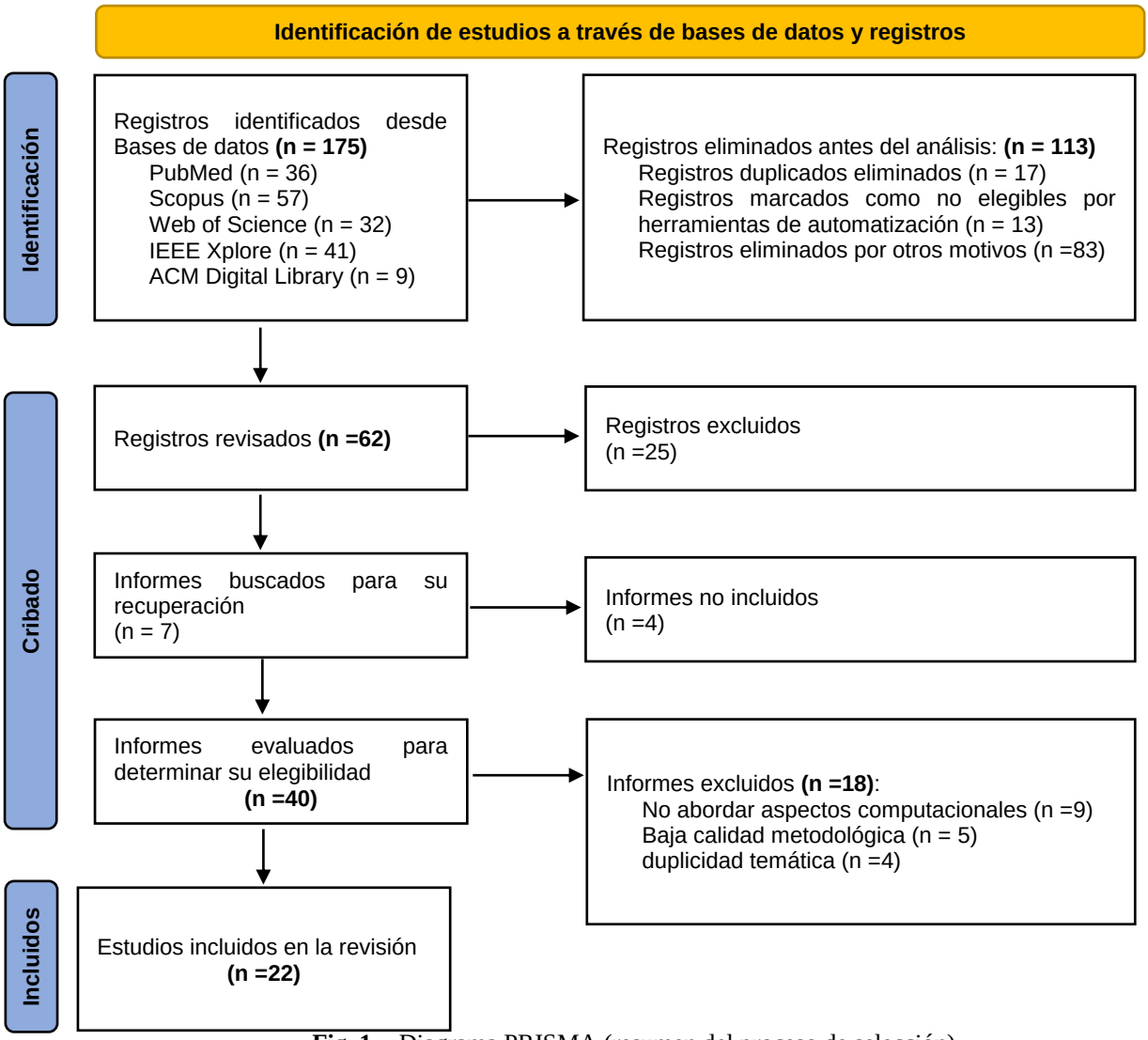

Fig. 1 - Diagrama PRISMA (resumen del proceso de selección).

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Resultados y discusión

Una vez aplicado el protocolo de búsqueda definido para la presente RSL, se incluyeron un total de 22 estudios primarios, descritos en las tablas 2 y 3. Los resultados evidencian que la simulación clínica es una estrategia efectiva y complementaria que mejora significativamente la retención del conocimiento, el desarrollo de habilidades prácticas, la toma de decisiones clínicas, así como la confianza y la reducción de errores en los estudiantes, superando a los métodos tradicionales en la mayoría de los casos. Sin embargo, también se identifican desafíos relacionados con su implementación, como los costos, la formación requerida y la resistencia al cambio en instituciones educativas, aspectos que requieren atención para potenciar su integración en los programas de enseñanza en salud.

Tabla 2. Listado de artículos primarios incluidos. Parte I.

Título	Resumen	Conclusión	Referencia
1. Artificial Intelligence (AI)-Based simulators versus simulated patients in undergraduate programs: A protocol for a randomized controlled trial			(Zidoun & Mardi, 2024)
Resumen: Este ensayo controlado aleatorio compara los simuladores basados en la IA y los pacientes simulados en la educación médica de pregrado, y evalúa su eficacia en el desarrollo de habilidades para hacer historia y la satisfacción de los estudiantes, a fin de informar sobre la integración de los simuladores basados en la IA en la educación sanitaria.			
Conclusiones: Los simuladores basados en inteligencia artificial pueden mejorar la eficacia de la educación médica. Se necesitan investigaciones futuras sobre la integración de los simuladores de IA en la formación.			
2. Virtual reality with artificial intelligence-led scenarios in nursing education: a project evaluation			(Teixeira et al., 2024)
Resumen: Este proyecto evalúa la eficacia de la realidad virtual con escenarios basados en inteligencia artificial en la educación en enfermería, comparando dos métodos: interacciones basadas en menús y controladas por voz, e identifica las ventajas y limitaciones para desarrollar habilidades holísticas de evaluación del paciente.			
Conclusiones: El uso de la realidad virtual (VR) con tecnología para pacientes basada en inteligencia artificial (IA) en la educación de enfermería previa a la inscripción mejora el plan de estudios al brindar a los estudiantes la oportunidad de participar en un aprendizaje basado en problemas y desarrollar una variedad de habilidades en un entorno seguro. Si bien ambos métodos de realidad virtual (tecnología controlada por voz e interacción basada en menús) son eficaces para enseñar la evaluación holística del paciente, los estudiantes descubrieron que la tecnología controlada por voz era más intuitiva y natural para la comunicación, mientras que la interacción basada en menús ofrecía más estructura y orientación.			
3. Advancing Healthcare Simulation Through Artificial Intelligence and Machine Learning: Exploring Innovations			(Harder, 2023)
Resumen: Este estudio explora la integración de la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático (ML) en la simulación de la atención médica, destacando su potencial para mejorar la eficacia de la formación, optimizar los resultados del aprendizaje y mejorar la atención al paciente mediante el aprendizaje personalizado, el pensamiento crítico y el desarrollo de habilidades.			

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Conclusiones: La integración de la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático (ML) en la simulación de la atención médica tiene el potencial de mejorar significativamente la eficacia de la formación, optimizar los resultados del aprendizaje y mejorar la atención al paciente al proporcionar experiencias de aprendizaje personalizadas, simulaciones realistas de pacientes y comentarios personalizados basados en las acciones y decisiones de los alumnos. Esta integración en la educación de enfermería requiere la colaboración entre educadores, investigadores, profesionales de la salud y desarrolladores de tecnología para garantizar que se capten los matices de la práctica clínica y que la integración de estas tecnologías se realice de manera ética y responsable, manteniendo un equilibrio entre los avances tecnológicos y la supervisión humana.
4. Impact of artificial intelligence-enhanced debriefing on clinical skills development in nursing students: A comparative study (Benfatah et al., 2024)
Resumen: El artículo se centra en el impacto de la inteligencia artificial (IA) en las sesiones informativas de simulación clínica específicamente para estudiantes de enfermería. Destaca que las sesiones informativas mejoradas por la IA mejoran significativamente la confianza, los conocimientos, las habilidades y la satisfacción de los estudiantes en comparación con los métodos tradicionales. Si bien no aborda directamente el IoT, el aprendizaje automático, la realidad virtual u otras tecnologías educativas en ciencias de la salud, hace hincapié en el potencial de la IA para mejorar el desarrollo de las habilidades clínicas en la educación en enfermería, lo que sugiere implicaciones más amplias para los programas de pregrado y posgrado en ciencias de la salud.
Conclusiones: El estudio concluyó que la integración de la inteligencia artificial (IA) en las sesiones informativas simuladas de enfermería condujo a una mejora significativa en la confianza, los conocimientos, las habilidades y la satisfacción de los estudiantes en comparación con los métodos tradicionales de información sin IA. Además, el grupo experimental que recibió información asistida por la IA mostró niveles más altos de participación activa y reflexión crítica, lo que puso de relieve el potencial de la IA para mejorar los resultados de aprendizaje de los estudiantes en el desarrollo de habilidades clínicas.
5. Artificial Intelligence and Healthcare Simulation: The Shifting Landscape of Medical Education (Hamilton, 2024)
Resumen: El documento analiza la integración de la inteligencia artificial (IA) y la realidad virtual (VR) en la simulación de la atención médica (HCS) para la educación médica, haciendo hincapié en su impacto en la formación de pregrado y posgrado en disciplinas como la enfermería, la medicina y la odontología. La IA mejora los sistemas de apoyo a la toma de decisiones diagnósticas, mejorando la precisión y la comunicación. El uso del HCS permite experiencias de aprendizaje escalables y personalizadas, lo que fomenta la educación interprofesional y las habilidades de liderazgo. Sin embargo, también suscita preocupación por los sesgos y la necesidad de incluir conocimientos básicos sobre inteligencia artificial en los planes de estudio de la salud.
Conclusiones: Se espera que la integración de la inteligencia artificial en la simulación de la atención médica y la educación médica mejore la formación de los profesionales de la salud al mejorar la precisión del diagnóstico, la comunicación con los pacientes y los resultados generales, al tiempo que enfatice la necesidad de que los graduados de las escuelas profesionales de la salud conozcan la IA. A pesar de los posibles beneficios, existen importantes preocupaciones con respecto a los prejuicios, las alucinaciones y la incertidumbre de los sistemas de IA, que pueden socavar la confianza entre los profesionales de la salud, por lo que es necesario considerar cuidadosamente las medidas de seguridad y privacidad para proteger a los profesionales, estudiantes y pacientes en el cambiante panorama tecnológico.
6. Immersive training of clinical decision making with AI driven virtual patients – a new VR platform called medical tr.AI.ning (Mergen et al., 2023)
Resumen: El documento analiza el desarrollo de una plataforma de realidad virtual, medical TR.AI.ning, que utiliza pacientes virtuales impulsados por la IA para una formación inmersiva en la toma de decisiones clínicas en la educación médica. Esta plataforma aborda las

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

limitaciones de la formación tradicional basada en actores al proporcionar escenarios realistas y personalizables para estudiantes de pregrado y posgrado en medicina. La integración de la tecnología de realidad virtual mejora las experiencias de aprendizaje, ya que permite practicar de forma repetitiva en un entorno seguro y, en última instancia, repercute en la educación en enfermería, medicina y odontología al ofrecer paradigmas de enseñanza innovadores y mejorar la formación en habilidades clínicas.
Conclusiones: El desarrollo de la plataforma médica TR.AI.ning tiene como objetivo mejorar la educación médica al proporcionar un entorno de formación digital modular que permita a los estudiantes de medicina participar en escenarios clínicos realistas con pacientes virtuales, mejorando así sus habilidades de toma de decisiones clínicas sin los riesgos asociados con la formación con pacientes reales. Se llevarán a cabo rondas de evaluación iterativas periódicas para garantizar la mejora continua de la experiencia del usuario, el realismo y la validez médica de la plataforma de formación, mientras que su integración en el plan de estudios de medicina facilitará la evaluación a largo plazo de sus beneficios y limitaciones, lo que podría conducir a nuevos paradigmas de enseñanza en la educación médica utilizando la tecnología de realidad virtual.
7. AI-enabled virtual reality systems for dental education (Adnan et al., 2023)
Resumen: El documento se centra en los sistemas de realidad virtual (VR) habilitados para la inteligencia artificial, específicamente en la educación dental, y destaca su potencial para mejorar los resultados del aprendizaje a través de simulaciones inmersivas. Si bien no aborda directamente el IoT, el aprendizaje automático o la educación más amplia en ciencias de la salud, hace hincapié en el impacto de la IA y la realidad virtual en la formación dental de pregrado y posgrado. Los participantes informaron sobre la mejora de las habilidades prácticas, la confianza y la retención de conocimientos, lo que puso de manifiesto el potencial transformador de la integración de tecnologías avanzadas en las simulaciones clínicas para la educación en odontología.
Conclusiones: La integración de los sistemas de realidad virtual (VR) habilitados para la inteligencia artificial en la educación dental tiene el potencial de mejorar significativamente la experiencia de aprendizaje al proporcionar entornos realistas e inmersivos para que los estudiantes practiquen procedimientos dentales de manera segura. Este enfoque ayuda a desarrollar las habilidades prácticas y la confianza, mientras que la retroalimentación generada por la IA permite desarrollar prácticas y habilidades específicas. Se registraron altos niveles de satisfacción entre los usuarios entre los participantes, lo que indica una acogida positiva de los sistemas de realidad virtual basados en la inteligencia artificial en la educación dental. La accesibilidad de estos sistemas también es acogida favorablemente, lo que sugiere que pueden llegar a una amplia gama de estudiantes y educadores y, en última instancia, reducir la brecha entre los conocimientos teóricos y la aplicación práctica en este campo.
8. Immersion and haptic feedback impacts on dental anesthesia technical skills virtual reality training (Collaço et al., 2021)
Resumen: El artículo se centra en el impacto de la formación inmersiva en realidad virtual (VR) en las habilidades técnicas de anestesia dental, específicamente para los estudiantes de odontología clínica. Destaca el uso de la retroalimentación háptica y el aprendizaje automático para mejorar la eficacia del entrenamiento. Si bien no aborda directamente la IoT, la IA o la educación en ciencias de la salud en general, demuestra cómo la realidad virtual puede mejorar las habilidades técnicas en odontología, lo que sugiere posibles implicaciones para la enfermería y la medicina si se utilizan metodologías de formación inmersiva similares.
Conclusiones: El simulador de realidad virtual (VR) inmersivo permite a los estudiantes de odontología practicar el bloqueo del nervio alveolar inferior en condiciones que se parecen mucho a las de la vida real, proporcionando información inmediata sobre sus técnicas de inserción de agujas. Se ha validado la implementación de un método de aprendizaje automático para la evaluación automática del rendimiento de los puntos

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

de inserción de agujas, con lo que se ha conseguido una precisión del 84%, lo que mejora la evaluación de las habilidades técnicas y contribuye positivamente a la formación odontológica.
9. Impact of AI Virtual Standardized Patients (AI-VSP) on performance in a Clinical Skills Examination (Liu et al., 2023)
Resumen: El artículo se centra en el impacto de los pacientes estandarizados virtuales con IA (AI-VSP) en el rendimiento de los exámenes de habilidades clínicas entre los estudiantes de tercer año de medicina. Destaca la eficacia de las simulaciones virtuales para mejorar las habilidades para tomar historiales mediante la práctica deliberada y la retroalimentación. Si bien no aborda específicamente el IoT, el aprendizaje automático, la realidad virtual u otras tecnologías educativas en ciencias de la salud, subraya la importancia de las modalidades educativas innovadoras en enfermería, medicina y odontología para mejorar los resultados de los estudiantes en entornos clínicos.
Conclusiones: El uso de pacientes estandarizados virtuales (AI-VSP) con IA demostró una mejora estadísticamente significativa en las habilidades para tomar la historia entre los estudiantes de tercer año de medicina, como lo demuestran las puntuaciones más altas en la sección de Historia del examen formativo de habilidades clínicas (CSE) para quienes interactuaron con el AI-VSP antes del examen. Si bien los estudiantes que interactuaron con la AI-VSP obtuvieron puntajes de historia ligeramente más altos en un CSE sumativo tres meses después, la diferencia no fue estadísticamente significativa, lo que puso de relieve la necesidad de repetir y practicar deliberadamente para mantener las habilidades clínicas a lo largo del tiempo.
10. Immersive learning in medical education: analyzing behavioral insights to shape the future of VR-based courses (Junga et al., 2024)
Resumen: El artículo se centra en la eficacia de la realidad virtual (VR) en la educación médica, comparando específicamente la formación basada en la realidad virtual con las simulaciones basadas en actores. Destaca que, si bien los objetivos del aprendizaje primario pueden abordarse de manera eficaz mediante la realidad virtual, las habilidades secundarias, en particular las básicas, se enseñan mejor mediante métodos basados en actores, debido a los menores niveles de inmersión en la realidad virtual. El estudio hace hincapié en la importancia de la inmersión en los métodos de enseñanza, que es crucial para evaluar los resultados del aprendizaje en la educación en ciencias de la salud, incluidas la enfermería, la medicina y la odontología.
Conclusiones: El estudio concluye que, si bien los objetivos del aprendizaje primario pueden entrenarse y evaluarse eficazmente mediante la realidad virtual, la formación de las habilidades secundarias, en particular las habilidades básicas, tiene actualmente más éxito mediante la formación basada en actores, debido a los niveles más bajos de inmersión en los entornos de realidad virtual. Se sugiere que la eficacia de la formación en competencias básicas depende significativamente del nivel de inmersión que proporcione el método de enseñanza, y que el cumplimiento de los objetivos del aprendizaje secundario podría servir como indicador futuro para evaluar la inmersión en la formación en realidad virtual.
11. Immersive Extended Reality (I-XR) in Medical and Nursing Education: A Systematic Review and Pedagogical Directives (Fugate et al., 2025)
Resumen: El documento se centra en el impacto de la realidad extendida inmersiva (I-XR), incluida la realidad virtual (VR), en la educación médica y de enfermería. Destaca las mejoras significativas en las habilidades, las competencias y la adquisición de conocimientos entre los estudiantes que utilizan la I-XR en comparación con los métodos que no utilizan la I-XR. Si bien no aborda específicamente el IoT, la IA, el aprendizaje automático o las TIC, hace hincapié en la necesidad de realizar más investigaciones para establecer las bases teóricas para una implementación pedagógica eficaz de las herramientas de la I-XR en la educación de pregrado y posgrado en ciencias de la salud.

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Conclusiones: La revisión sistemática indica que las tecnologías de realidad extendida inmersiva (I-XR), incluidas la realidad virtual (VR), la realidad aumentada (AR) y la realidad mixta (MR), mejoran significativamente la competencia y la adquisición de conocimientos en la educación médica y de enfermería, y la mayoría de los estudios muestran mayores mejoras en estas áreas en comparación con los métodos de entrenamiento que no son de I-XR. La revisión destaca una brecha crítica en los fundamentos teóricos del aprendizaje de la I-XR, haciendo hincapié en la necesidad urgente de realizar más investigaciones para desarrollar estrategias pedagógicas eficaces para la implementación de las herramientas de la I-XR en la educación sanitaria.

Tabla 3. Listado de artículos primarios incluidos. Parte II.

Título	Resumen	Conclusión	Referencia
12. Virtual Reality Simulation-Based Clinical Procedure Skills Training for Nursing College Students: A Quasi-Experimental Study			(Yoon et al., 2024)
Resumen: El documento se centra en la formación en simulación de realidad virtual (VR) para estudiantes de enfermería, haciendo hincapié en su impacto en las habilidades básicas de enfermería, como el cateterismo y los enemas. Si bien no aborda directamente el IoT, la IA, el aprendizaje automático o las TIC, destaca la eficacia de la realidad virtual para mejorar la confianza, la competencia, la participación en las tareas y la satisfacción entre los estudiantes de pregrado de enfermería. Los hallazgos del estudio sugieren que la realidad virtual inmersiva puede ser una herramienta valiosa en la educación en ciencias de la salud, especialmente para las habilidades que se practican con poca frecuencia en entornos clínicos.			
Conclusiones: El estudio no encontró diferencias significativas entre el grupo de Realidad Virtual (VR) y el grupo de control en términos de niveles de confianza entre los estudiantes de segundo año de enfermería. La investigación se centró en los efectos de la formación con simulación en realidad virtual en la confianza, la competencia, la participación en las tareas y la satisfacción de los estudiantes de enfermería, en particular al realizar procedimientos de enfermería invasivos, como los enemas, la alimentación nasogástrica y el cateterismo con nelatón.			
13. Effects of Immersive Straight Catheterization Virtual Reality Simulation on Skills, Confidence, and Flow State in Nursing Students			(Yoon, 2024)
Resumen: El artículo se centra en el impacto de la simulación inmersiva de realidad virtual (VR) en las habilidades procedimentales, la confianza en sí mismos y el estado de flujo de los estudiantes de enfermería durante el entrenamiento con cateterismo directo. Si bien no aborda específicamente el IoT, la IA, el aprendizaje automático u otras tecnologías educativas en ciencias de la salud, destaca la eficacia de la realidad virtual como herramienta de formación complementaria en la educación en enfermería, especialmente durante los períodos de experiencia práctica limitada, como durante la pandemia de la COVID-19.			
Conclusiones: El estudio concluyó que la utilización de una simulación inmersiva de realidad virtual para la formación en cateterismo directo mejoró significativamente las habilidades procedimentales, la confianza en sí mismos y el estado de flujo de los estudiantes de enfermería. Los hallazgos sugieren que los programas educativos basados en la realidad virtual pueden complementar eficazmente las limitadas experiencias de formación práctica, especialmente en situaciones en las que las oportunidades de practicar en persona son limitadas, como durante la pandemia de la COVID-19.			
14. Development and Effects of Adult Nursing Education Programs Using Virtual Reality Simulations			(Lee & Baek, 2024)

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Resumen: El artículo se centra en un programa de educación en enfermería basado en la simulación de realidad virtual que mejora la confianza en el desempeño de los estudiantes de enfermería, las habilidades de pensamiento crítico y las habilidades de resolución de problemas. Si bien no aborda específicamente el IoT, la IA, el aprendizaje automático o las TIC, hace hincapié en el impacto de las simulaciones virtuales inmersivas en la educación en enfermería. El programa, desarrollado utilizando el modelo ADDIE y un modelo de procesamiento de la información, mejora significativamente la capacidad de los estudiantes para hacer frente a desafíos clínicos complejos y, en última instancia, contribuye a mejorar la seguridad de los pacientes y la calidad de la atención médica.
Conclusiones: El programa de educación en enfermería que utiliza simulaciones de realidad virtual basadas en un modelo de procesamiento de información mejora significativamente la confianza en el desempeño de los estudiantes de enfermería, las habilidades de pensamiento crítico y las habilidades de resolución de problemas en varios escenarios clínicos. Participar en diversos temas de aprendizaje relacionados con la enfermería para adultos a través de este programa no solo dota a los estudiantes de habilidades prácticas, sino que también contribuye a mejorar la seguridad de los pacientes y la calidad de la atención médica.
15. The Use of Immersive Virtual Reality Training for Developing Nontechnical Skills Among Nursing Students: Multimethods Study (Chan et al., 2024)
Resumen: El artículo se centra en la formación en realidad virtual inmersiva (IVR) específicamente para estudiantes de enfermería, y explora su eficacia en el desarrollo de habilidades no técnicas (NTS), como la comunicación y el trabajo en equipo. Si bien no aborda directamente el IoT, la IA, el aprendizaje automático u otras tecnologías, destaca el impacto positivo del IVR en los resultados del aprendizaje, la satisfacción de los estudiantes y la confianza en sí mismos. Los hallazgos sugieren que la IVR puede mejorar las experiencias educativas en enfermería, lo que indica su posible aplicabilidad en la educación más amplia en ciencias de la salud, incluidas la medicina y la odontología.
Conclusiones: El estudio concluyó que la formación inmersiva en realidad virtual (IVR), específicamente el sistema VR hospitalario, muestra resultados prometedores a la hora de mejorar las habilidades no técnicas (NTS) de los estudiantes de enfermería, así como su satisfacción y confianza en sí mismos al aprender en un entorno clínico virtual. Los hallazgos sugieren que se necesitan más investigaciones para comprender plenamente el impacto de la tecnología IVR en los resultados del aprendizaje en la práctica clínica, lo que indica la necesidad de continuar investigando en esta área para optimizar la educación en enfermería.
16. Healthcare Applications of Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) (Akpan, 2024)
Resumen: El documento analiza la integración de la realidad virtual y la realidad aumentada en la educación sanitaria, haciendo hincapié en su papel en la simulación clínica en varios campos, incluidos la enfermería, la medicina y la odontología. Destaca cómo estas tecnologías mejoran la formación médica, reducen los errores y mejoran las relaciones entre el paciente y el médico. Si bien el documento no aborda específicamente el IoT, la IA o el aprendizaje automático, subraya el impacto de la realidad virtual y la realidad aumentada en la educación de pregrado y posgrado, con el objetivo final de elevar el nivel de atención en la práctica clínica.
Conclusiones: Se ha demostrado que la integración de las tecnologías de realidad virtual (VR) y realidad aumentada (AR) en la educación sanitaria mejora la calidad del diagnóstico y el tratamiento, mejora la educación y la formación médicas y fortalece la relación entre los médicos y los pacientes. El estudio propone un marco conceptual para implementar la simulación pedagógica AR/VR en una plataforma de formación en inteligencia artificial, con el objetivo de ayudar a los profesionales clínicos a mejorar el nivel de atención que brindan y reducir los errores médicos asociados con la incompetencia del personal médico.

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

17. Using immersive virtual reality technology to enhance nursing education: A comparative pilot study to understand efficacy and effectiveness.	(Ma et al., 2024)
Resumen: El documento analiza la integración de la realidad virtual y la realidad aumentada en la educación sanitaria, haciendo hincapié en su papel en la simulación clínica en varios campos, incluidos la enfermería, la medicina y la odontología. Destaca cómo estas tecnologías mejoran la formación médica, reducen los errores y mejoran las relaciones entre el paciente y el médico. Si bien el documento no aborda específicamente el IoT, la IA o el aprendizaje automático, subraya el impacto de la realidad virtual y la realidad aumentada en la educación de pregrado y posgrado, con el objetivo final de elevar el nivel de atención en la práctica clínica.	
Conclusiones: Se ha demostrado que la integración de las tecnologías de realidad virtual (VR) y realidad aumentada (AR) en la educación sanitaria mejora la calidad del diagnóstico y el tratamiento, mejora la educación y la formación médicas y fortalece la relación entre los médicos y los pacientes. El estudio propone un marco conceptual para implementar la simulación pedagógica AR/VR en una plataforma de formación en inteligencia artificial, con el objetivo de ayudar a los profesionales clínicos a mejorar el nivel de atención que brindan y reducir los errores médicos asociados con la incompetencia del personal médico.	
18. Assessing the validity of VR as a training tool for medical students	(Pedram et al., 2024)
Resumen: El artículo se centra en evaluar la eficacia de la formación en realidad virtual para los estudiantes de medicina, evaluar la adquisición de habilidades y validar una plataforma de formación quirúrgica basada en la realidad virtual en función de los requisitos identificados.	
Conclusiones: La capacitación en realidad virtual mejoró las habilidades, la seguridad y la finalización de los procedimientos de los estudiantes de medicina. El nivel de aceptación por parte de los usuarios del sistema de entrenamiento de realidad virtual fue del 75%.	
19. Development and validation of the Simulation Scenario Quality Instrument (SSQI)	(Mujlli et al., 2023)
Resumen: El artículo se centra en desarrollar y validar el instrumento de calidad de los escenarios de simulación (SSQI) para evaluar los escenarios de simulación de la atención médica, haciendo hincapié en los métodos de validación cualitativos y cuantitativos.	
Conclusiones: Se Desarrolló y validó un instrumento de calidad de simulación de atención médica. El instrumento ayuda a crear escenarios de entrenamiento con simulación de calidad.	
20. Learning to diagnose collaboratively: validating a simulation for medical students	(Radkowitsch et al., 2020)
Resumen: El artículo analiza la validación de una simulación para el razonamiento diagnóstico colaborativo, proporcionando evidencia inicial de su validez a través de calificaciones de objetividad, confiabilidad y autenticidad, pero no aborda específicamente la validación matemática de modelos de simulación clínica virtual en contextos educativos	
Conclusiones: La simulación es una representación auténtica y válida del diagnóstico colaborativo. El proceso de validación reveló lagunas que requieren una mayor consideración.	
21. Development and effects of adult nursing education programs using virtual reality simulations	(Lee & Baek, 2024)
Resumen: Se centra en el desarrollo y los efectos de un programa de educación en enfermería que utiliza simulaciones de realidad virtual, haciendo hincapié en el aprendizaje experimental y en las mejoras en las habilidades y la confianza de los estudiantes de enfermería.	
Conclusiones: Mejora la confianza en el desempeño, el pensamiento crítico y las habilidades de resolución de problemas de los estudiantes de enfermería. Mejora la seguridad del paciente y la calidad de la atención médica	
22. Evolution of the clinical simulation approach to evaluating digital health technologies	(Lau et al., 2023)

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Resumen: La simulación digital en salud, en particular la simulación clínica, utiliza casos de pacientes sintéticos de alta fidelidad para evaluar las tecnologías de salud digitales (DHT). Este método permite realizar pruebas remotas y rentables, y se adapta a los perfiles de pacientes de alto riesgo que a menudo se excluyen de los ensayos controlados aleatorios (ECA) tradicionales. Ofrece flexibilidad, adaptabilidad y una rápida generación de pruebas, lo que lo hace adecuado para evaluar las DHT en diversos entornos clínicos. La simulación clínica puede complementar los estudios convencionales al guiar el diseño y la preparación para su aplicación en el mundo real, garantizando la seguridad y la eficacia de las intervenciones de salud.

Conclusiones: El documento concluye que, si bien las tecnologías de salud digital (DHT) tienen un potencial significativo para mejorar la salud y el bienestar mundiales, existe una necesidad urgente de una evaluación sólida para garantizar su seguridad y eficacia. La simulación clínica se identifica como un método rápido, pragmático, de bajo costo y equitativo para generar evidencia de que las DHT de bajo riesgo cumplen con los requisitos normativos y políticos. Los resultados iniciales de los estudios indican que la simulación clínica es más eficaz para las evaluaciones individuales que para las grupales. La metodología consiste en desarrollar casos sintéticos de pacientes con alta fidelidad y reclutar a participantes que posean los conocimientos clínicos necesarios pero que no tengan conocimientos previos sobre la plataforma, garantizando que la evaluación sea imparcial y se centre en los escenarios clínicos específicos.

A partir del análisis de los 22 estudios primarios incluidos en la revisión sistemática, se pudo responder de manera efectiva a las cuatro preguntas de investigación planteadas para este estudio. La revisión permitió identificar la efectividad de la simulación clínica como estrategia complementaria en la enseñanza de las ciencias de la salud, destacando su impacto positivo en la mejora de conocimientos, habilidades, toma de decisiones y aspectos actitudinales como la confianza y la reducción de errores. Además, se evidenció que, si bien la simulación presenta ventajas claras, también existen desafíos relacionados con su implementación, como los costos y la resistencia institucional, aspectos que deben abordarse para facilitar su integración. En conjunto, los resultados aportan una visión integral que permite responder las inquietudes iniciales acerca del valor, impacto y barreras de la simulación en la formación en salud.

RQ 1. ¿Qué modelos computacionales de simulación clínica han sido implementados en la enseñanza de ciencias de la salud en los últimos 10 años?

En la última década, la enseñanza de las ciencias de la salud ha experimentado una transformación significativa mediante la implementación de modelos computacionales de simulación clínica. Estos modelos han mejorado la formación de profesionales sanitarios al ofrecer entornos de aprendizaje seguros, interactivos y adaptables. Algunos de los principales modelos implementados en este periodo, se describen a continuación:

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Tabla 4. Principales modelos computacionales de simulación clínica implementados en la enseñanza de ciencias de la salud (2015–2025).

Modelo	Tipo de simulación	Aplicación Principal	Características clave
AIM-SIM	Modelo de implementación	Guía para implementar programas de simulación	Enfoque estructurado en tres fases
IQR-SIM	Herramienta de evaluación	Evaluación de la calidad de implementación	Rubrica de 18 ítems con escala de 3 puntos
MedSimAI	Simulación con IA	Práctica deliberada en habilidades clínicas	Interacciones realistas y retroalimentación inmediata
CureFun	Paciente virtual con IA	Mejora de habilidades de indagación clínica	Conversaciones naturales y sugerencias de mejora
Digital Twins	Simulación de órganos	Predicción de resultados de tratamientos	Réplicas digitales de órganos individuales
3DiTeams	Videojuego serio	Entrenamiento en equipo y comunicación	Entorno hospitalario virtual con roles definidos
Simuladores VR	Realidad virtual	Formación médica y quirúrgica	Entrenamiento inmersivo y realista
AIDA Simulator	Simulador educativo	Manejo de la diabetes tipo 1	Exploración de escenarios de tratamiento y niveles de glucosa

El campo de la simulación en la enseñanza de las ciencias de la salud ha avanzado significativamente con el desarrollo de diversos modelos y herramientas que buscan mejorar la formación de los futuros profesionales. Uno de estos modelos es el AIM-SIM (*Adapted Implementation Model for Simulation*), un enfoque conceptual estructurado en tres fases principales: primero, el compromiso de las partes interesadas y la exploración del contexto; segundo, la planificación previa a la implementación; y finalmente, la puesta en marcha del programa con una evaluación continua (Wamalwa et al., 2024). Este modelo está diseñado para guiar la integración efectiva de programas de simulación en entornos reales, asegurando una adopción adecuada y sostenibilidad.

Otra herramienta relevante es la IQR-SIM (*Implementation Quality Rubric for Simulation*), una rúbrica operativa que evalúa la calidad de la implementación de cursos basados en simulación. Compuesta por 18 ítems distribuidos en una escala de tres puntos, facilita la identificación de brechas en la ejecución, permite monitorear el proceso de implementación y fomenta la consecución de los resultados de aprendizaje deseados

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

(Adnan et al., 2023). Su uso promueve una mejora continua, asegurando que los programas de simulación cumplan con los estándares establecidos.

En el ámbito de la tecnología, la MedSimAI surge como una plataforma de simulación impulsada por inteligencia artificial (IA), que permite la práctica deliberada y el aprendizaje autorregulado. Mediante encuentros interactivos con pacientes simulados, esta plataforma genera interacciones clínicas realistas utilizando modelos de lenguaje de gran escala, proporcionando retroalimentación inmediata y estructurada para potenciar el aprendizaje autónomo y la toma de decisiones clínicas (Yoon et al., 2024). De manera complementaria, CureFun también aprovecha los modelos de lenguaje de gran escala para simular pacientes virtuales, fomentando conversaciones naturales con estudiantes y ofreciendo recomendaciones para mejorar habilidades de indagación clínica (Meynhardt et al., 2025).

Además de las plataformas de simulación basadas en IA, la tecnología de Digital Twins está ganando terreno en la medicina personalizada. Estos modelos computacionales replican digitalmente órganos específicos de pacientes, permitiendo predecir resultados de tratamientos y optimizar procedimientos en áreas como cardiología y oncología antes de realizar intervenciones físicas, lo que representa un avance significativo en la precisión diagnóstica y terapéutica (Lee & Baek, 2024).

En cuanto a la formación en trabajo en equipo, 3DiTeams es un videojuego serio fundamentado en el currículo TeamSTEPPS, que simula un entorno hospitalario virtual donde estudiantes pueden asumir roles como médicos o enfermeros. Esta herramienta fomenta la coordinación, comunicación y colaboración en escenarios de alta fidelidad, en un formato lúdico y educativo. Complementariamente, los simuladores de realidad virtual (VR) ofrecen experiencias de entrenamiento médico más inmersivas, utilizadas para mejorar la formación quirúrgica, la rehabilitación neurológica remota y otros procedimientos clínicos, brindando un entorno de aprendizaje muy realista y efectivo (Yoon, 2024).

El AIDA Diabetes Simulator es un simulador interactivo que permite a los usuarios explorar el manejo de la diabetes tipo 1 mediante la simulación de diferentes escenarios de tratamiento. Los participantes pueden experimentar cómo distintas decisiones afectan los niveles de glucosa en el cuerpo, facilitando así un aprendizaje práctico y profundo sobre el control y las intervenciones en esta condición crónica (Habbal et al., 2024).

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

RQ 2. ¿Qué algoritmos de inteligencia artificial o aprendizaje automático han sido incorporados en simulaciones clínicas educativas?

La incorporación de algoritmos de inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático (*machine learning*, ML) en simulaciones clínicas educativas ha transformado la formación en ciencias de la salud. Estos avances han permitido desarrollar entornos de aprendizaje más realistas, adaptativos y personalizados, mejorando la adquisición de competencias clínicas. Los principales algoritmos de IA y ML en simulaciones clínicas educativas identificados durante la RSL, se describen a continuación:

Tabla 5. Algoritmos de IA y ML en simulaciones clínicas educativas.

Algoritmo / Técnica	Aplicación principal	Características clave
Modelos de Lenguaje de Gran Escala	Simulación de entrevistas clínicas	Interacción en lenguaje natural, retroalimentación inmediata
Máquinas de Vectores de Soporte (SVM)	Evaluación de habilidades quirúrgicas	Alta precisión en clasificación de niveles de habilidad
Aprendizaje por Refuerzo Profundo	Optimización de decisiones clínicas	Exploración de estrategias de tratamiento en entornos simulados
Procesamiento de Lenguaje Natural	Interacción con pacientes virtuales	Simulación de anamnesis y razonamiento diagnóstico
Visión por Computadora	Análisis de desempeño en procedimientos físicos	Evaluación objetiva de movimientos y técnicas
Juegos Serios con IA	Aprendizaje adaptativo en entornos lúdicos	Ajuste dinámico de escenarios según rendimiento del estudiante

Los modelos de lenguaje de gran escala (LLMs), como GPT de OpenAI, han revolucionado la simulación clínica al permitir la creación de pacientes virtuales capaces de interactuar en lenguaje natural con los estudiantes. Estas interacciones simuladas, que incluyen entrevistas clínicas, ofrecen respuestas coherentes y adaptativas, lo que contribuye al desarrollo de habilidades de comunicación y diagnóstico, además de facilitar retroalimentación inmediata y personalizada (Christopher et al., 2021). Este enfoque fomenta el aprendizaje autorregulado y la autonomía del alumno, promoviendo una experiencia más inmersiva y realista.

Por otro lado, las Máquinas de Vectores de Soporte (SVM) se han empleado para evaluar y distinguir habilidades en simulaciones quirúrgicas. Por ejemplo, en tareas de hemilaminectomía virtual, las SVM lograron una precisión del 97.6% en distinguir entre estudiantes senior y junior, analizando métricas como

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

eficiencia, seguridad y coordinación durante la intervención. Este método permite un análisis objetivo y preciso del desempeño, facilitando retroalimentaciones específicas para el aprendizaje (Hamilton, 2024).

El aprendizaje por refuerzo profundo combina redes neuronales profundas con técnicas de aprendizaje por refuerzo para mejorar la toma de decisiones clínicas en entornos simulados. Se ha aplicado para que los estudiantes exploren diferentes estrategias de tratamiento y puedan observar sus consecuencias en escenarios controlados, favoreciendo un desarrollo más profundo del razonamiento clínico y la comprensión de las decisiones terapéuticas.

El procesamiento de lenguaje natural (PLN) se ha integrado en simuladores como Hepius, facilitando interacciones en lenguaje natural entre los estudiantes y pacientes virtuales. Esto permite practicar habilidades como la anamnesis, exploración física y razonamiento diagnóstico sin la necesidad de tutores humanos, promoviendo una mayor autonomía y fluidez en las habilidades clínicas de los estudiantes.

Además, la visión por computadora se utiliza para analizar el desempeño físico de los estudiantes durante procedimientos clínicos y exámenes prácticos. Estos sistemas evalúan movimientos, posturas y técnicas, proporcionando retroalimentación objetiva sobre la precisión, eficiencia y mejora de las habilidades manuales, contribuyendo a un entrenamiento más preciso y controlado (Fugate et al., 2025).

Por otro lado, los juegos serios con inteligencia artificial adaptativa ajustan dinámicamente los escenarios y niveles de dificultad en función del rendimiento del estudiante. Mediante algoritmos de aprendizaje automático, estos juegos analizan el comportamiento del usuario en tiempo real y modifican la experiencia de aprendizaje para aumentar el compromiso y mejorar la retención del conocimiento, haciendo que el proceso sea más interactivo y motivador.

RQ 3. ¿Cómo se han validado matemáticamente los modelos de simulación clínica empleados en contextos educativos?

La validación matemática de los modelos de simulación clínica en contextos educativos es esencial para garantizar su precisión, fiabilidad y aplicabilidad en la formación de profesionales de la salud. A continuación, se presentan los principales enfoques y herramientas utilizados en la validación de estos modelos:

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Tabla 6. Herramientas y enfoques de validación matemática en simulaciones clínicas educativas

Herramienta/Enfoque	Descripción	Aplicación Principal
Verificación y Validación (V&V)	Proceso iterativo para asegurar la precisión y fiabilidad de modelos de simulación	Desarrollo y evaluación de modelos de simulación
ProRealSim v.1.0	Herramienta numérica que evalúa el realismo en simulaciones clínicas mediante 53 indicadores cuantitativos	Medición del realismo en simulaciones clínicas
Modelos de Validación en Cirugía Pediátrica	Evaluación de modelos de simulación mediante validez de apariencia, contenido y constructo	Formación en cirugía pediátrica
Modelos Matemáticos para Escenarios Ramificados	Uso de técnicas estadísticas y matemáticas para construir y evaluar escenarios clínicos con múltiples ramificaciones basadas en errores médicos	Desarrollo de escenarios clínicos educativos complejos

Los enfoques de validación matemática en las simulaciones clínicas educativas son fundamentales para garantizar la precisión y fiabilidad de los modelos utilizados en la enseñanza y entrenamiento. La verificación y validación (V&V) constituyen procesos clave en este ámbito, donde la verificación se ocupa de comprobar que el modelo ha sido implementado correctamente conforme a su diseño conceptual, mientras que la validación evalúa si el modelo refleja de manera fiel el comportamiento del sistema real (Akpan, 2024). Ambos procesos son iterativos y se aplican durante diferentes etapas del desarrollo, asegurando la calidad del modelo en su evolución.

Por otro lado, herramientas como ProRealSim v.1.0 permiten medir el realismo de las simulaciones clínicas a través de 53 indicadores cuantitativos, considerando dimensiones como el participante simulado, la escenografía y el simulador, y han demostrado una alta consistencia interna, además de estar disponibles en plataformas digitales accesibles y bilingües. En el campo de la cirugía pediátrica, diversos modelos de simulación han sido validados mediante evaluaciones de validez de apariencia, contenido y constructo, logrando que un porcentaje considerable de estos modelos alcance puntuaciones superiores al 70%, lo cual respalda su uso clínico y educativo (Liu et al., 2023).

El empleo de modelos matemáticos para escenarios clínicos ramificados, utilizando técnicas como análisis de series temporales, modelos jerárquicos, teoría de respuesta al ítem y redes bayesianas, permite estratificar la gravedad de errores médicos y construir escenarios complejos y realistas, reforzando así la efectividad y fidelidad de las simulaciones en formación clínica avanzada.

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

RQ 4. ¿Qué impacto medible tienen los modelos de simulación basados en tecnología sobre el desempeño clínico y la retención del conocimiento?

La incorporación de modelos de simulación clínica basados en tecnología ha demostrado tener un impacto significativo y medible en el desempeño clínico y la retención del conocimiento de los profesionales de la salud. Estas herramientas permiten una formación más inmersiva, segura y repetible, facilitando el aprendizaje de habilidades técnicas y no técnicas esenciales para la práctica clínica. A continuación, se presentan los principales hallazgos respaldados por evidencia empírica.

Tabla 7. Impacto de la simulación clínica basada en tecnología en desempeño y retención

Estudio / Intervención	Impacto en desempeño clínico	Impacto en retención del conocimiento
Programa de aprendizaje basado en simulación (SBML) en estudiantes de medicina de último año	Mejora significativa en 6 habilidades clínicas esenciales, con retención del 98% hasta 9 meses después	Alta retención de habilidades técnicas y no técnicas
Simulación de alta fidelidad en equipos de emergencia	Mejora en habilidades técnicas y no técnicas, como toma de decisiones y comunicación en equipos de emergencia	Retención sostenida de habilidades clínicas y reducción de errores en situaciones críticas
Simulación con pacientes estandarizados en estudiantes de enfermería	Mejora en habilidades de comunicación y diagnóstico, aumentando la competencia clínica y confianza	Retención significativa del conocimiento tres meses después de la intervención
Simulación digital en reanimación neonatal	Mejora en la adherencia a los protocolos de resucitación, con transferencia exitosa a nuevos entornos de aprendizaje	Retención sostenida del conocimiento hasta cinco meses después de la formación
Combinación de simulación de alta fidelidad y simulación basada en computadora	Mejora en la adquisición y retención de habilidades, proporcionando una experiencia de aprendizaje integral	Mejora en la retención del conocimiento y aplicación práctica

Impacto en el desempeño clínico

La simulación clínica basada en tecnología ha mostrado mejoras sustanciales en el desempeño clínico de los estudiantes de medicina y profesionales de la salud. Por ejemplo, (Reed et al., 2016) implementó un programa de aprendizaje basado en simulación (SBML) en estudiantes de medicina de último año evidenció un aumento significativo en el rendimiento de seis habilidades clínicas esenciales, como la colocación de vías intravenosas guiada por ultrasonido y la ventilación con mascarilla, con una retención del 98% hasta nueve meses después

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

de la intervención. Asimismo, la simulación de alta fidelidad ha demostrado ser eficaz en la mejora de habilidades técnicas y no técnicas, como la toma de decisiones y la comunicación en equipos de emergencia. Además, la simulación con pacientes estandarizados ha permitido a los estudiantes practicar habilidades de comunicación y diagnóstico en un entorno controlado, mejorando su competencia clínica y confianza.

Impacto en la retención del conocimiento

La retención del conocimiento es otro beneficio clave de la simulación clínica basada en tecnología. Estudios han demostrado que los estudiantes que participan en simulaciones mantienen mejor el conocimiento adquirido a lo largo del tiempo en comparación con aquellos que reciben formación tradicional. Por ejemplo, en (Blaak et al., 2025) se demostró que aquellos estudiantes de enfermería que participaron en simulaciones con pacientes estandarizados mostraron una retención significativamente mayor del conocimiento tres meses después de la intervención. De manera similar, la simulación digital en reanimación neonatal resultó en una mejora sostenida en la adherencia a los protocolos de resucitación hasta cinco meses después de la formación. La combinación de simulaciones de alta fidelidad con simulaciones basadas en computadora también ha mostrado ser efectiva en la adquisición y retención de habilidades, proporcionando una experiencia de aprendizaje integral que mejora tanto el conocimiento como la aplicación práctica.

Discusión

La implementación de modelos computacionales de simulación clínica en la enseñanza de las ciencias de la salud ha permitido una formación más efectiva y segura para los estudiantes. Modelos como AIM-SIM e IQR-SIM proporcionan estructuras y herramientas para la implementación y evaluación de programas de simulación, asegurando su eficacia y calidad. Por otro lado, plataformas impulsadas por inteligencia artificial como MedSimAI y CureFun ofrecen experiencias de aprendizaje personalizadas y realistas, mejorando las habilidades clínicas de los estudiantes (Blaak et al., 2025).

La incorporación de tecnologías avanzadas como los Digital Twins y los simuladores de realidad virtual ha ampliado las posibilidades de entrenamiento, permitiendo la práctica en entornos controlados y la predicción de resultados de tratamientos. Herramientas educativas como el AIDA Diabetes Simulator facilitan la comprensión de enfermedades crónicas mediante la simulación de escenarios reales. En conjunto, estos modelos han transformado la educación en ciencias de la salud, proporcionando métodos de enseñanza más

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

interactivos, personalizados y efectivos. Su implementación continua y evolución serán clave para enfrentar los desafíos futuros en la formación de profesionales de la salud.

La integración de algoritmos de IA y ML en simulaciones clínicas educativas ha permitido crear entornos de aprendizaje más realistas, interactivos y personalizados. Los LLMs y el PLN han mejorado la práctica de habilidades comunicativas y diagnósticas mediante interacciones en lenguaje natural. Las SVM y la visión por computadora ofrecen evaluaciones objetivas del desempeño técnico, mientras que el aprendizaje por refuerzo profundo permite explorar decisiones clínicas en escenarios simulados. Los juegos serios con IA fomentan el compromiso y la retención del conocimiento al adaptar la experiencia de aprendizaje a las necesidades individuales de los estudiantes (Chan et al., 2024).

Estos avances tecnológicos no solo mejoran la calidad de la formación en ciencias de la salud, sino que también preparan a los futuros profesionales para enfrentar los desafíos de un entorno clínico en constante evolución. La implementación continua y ética de estas herramientas será clave para garantizar una educación médica de excelencia.

La validación matemática de modelos de simulación clínica es un componente crítico para garantizar la eficacia de las herramientas educativas en ciencias de la salud. La aplicación de procesos de verificación y validación asegura que los modelos representen con precisión los sistemas reales y cumplan con los objetivos educativos. Herramientas como ProRealSim v.1.0 proporcionan métricas cuantitativas para evaluar el realismo de las simulaciones, lo que es esencial para la inmersión y el aprendizaje efectivo de los estudiantes (Mujlli et al., 2023).

En áreas especializadas como la cirugía pediátrica, la validación de modelos de simulación permite una formación más segura y efectiva. Además, la incorporación de modelos matemáticos avanzados para construir escenarios clínicos con ramificaciones ofrece oportunidades para abordar situaciones complejas y mejorar la toma de decisiones clínicas. En conjunto, estos enfoques y herramientas de validación matemática fortalecen la calidad y la credibilidad de las simulaciones clínicas educativas, contribuyendo significativamente a la formación de profesionales de la salud competentes y preparados para enfrentar los desafíos del entorno clínico real.

Los modelos de simulación clínica basados en tecnología ofrecen una plataforma eficaz para la formación de profesionales de la salud, permitiendo la práctica repetida y segura de habilidades técnicas y no técnicas. La

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

evidencia respalda que estas herramientas no solo mejoran el desempeño clínico inmediato, sino que también facilitan la retención del conocimiento a largo plazo, esencial para la aplicación efectiva en entornos clínicos reales (Yoon, 2024).

Además, la simulación permite la personalización del aprendizaje, adaptándose a las necesidades individuales de los estudiantes y proporcionando retroalimentación inmediata, lo que refuerza el aprendizaje y la confianza en la práctica clínica. La integración de estas tecnologías en los programas educativos representa una inversión en la calidad de la formación sanitaria y, por ende, en la mejora de los resultados en la atención al paciente.

La simulación clínica apoyada en tecnología no solo representa una herramienta complementaria a la enseñanza tradicional, sino que se perfila como un componente esencial para la formación de profesionales de la salud del siglo XXI. Su integración permite transitar de un modelo basado en la memorización a un enfoque centrado en la experiencia, la práctica deliberada y el aprendizaje adaptativo, contribuyendo a la mejora continua de la calidad educativa y, en consecuencia, de la atención sanitaria (Christopher et al., 2021).

A futuro, se recomienda continuar el desarrollo de simuladores inteligentes, con capacidad de personalización algorítmica y validación continua, así como impulsar políticas institucionales que integren estas herramientas de manera transversal en los currículos académicos de ciencias de la salud.

Conclusiones

Los resultados generales de la revisión sistemática resaltan que el campo de los modelos de simulación clínica en la enseñanza de las ciencias de la salud se encuentra en un proceso de innovación constante, impulsado por el avance en tecnologías digitales, inteligencia artificial y métodos computacionales. Se ha evidenciado una expansión significativa en la implementación de recursos como AIM-SIM, IQR-SIM, plataformas de realidad virtual y simuladores digitales, que permiten replicar escenarios clínicos complejos en entornos seguros, personalizados y escalables. La incorporación de algoritmos de inteligencia artificial, como redes neuronales, máquinas de soporte vectorial y árboles de decisión, ha enriquecido estos modelos, facilitando la adaptación a las performances individuales, la retroalimentación automática y la predicción de resultados de aprendizaje con gran precisión.

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Además, la validación rigurosa de estos modelos mediante métodos estadísticos, análisis cruzados y simulaciones Monte Carlo garantiza su fiabilidad y robustez en contextos educativos reales, fortaleciendo su credibilidad académica. La evidencia indica que el uso de estos modelos de simulación tecnológica tiene un impacto positivo, medible y duradero en el aprendizaje clínico, mejorando las habilidades técnicas, la toma de decisiones, la colaboración en equipo y la seguridad del paciente, además de promover una mayor retención de conocimientos tanto teóricos como prácticos.

Referencias

Adnan, K., Fahimullah, F., Farrukh, U., Askari, H., Siddiqui, S., & Jameel, R. A. (2023). AI-enabled virtual reality systems for dental education. *International journal of health sciences*, *7*(S1), 1378-1392. https://pdfs.semanticscholar.org/413c/aee173c6a460b57915f80f206aa49118667e.pdf

Akpan, E. E. (2024). Healthcare Applications of Augmented Reality. *Creating Immersive Learning Experiences Through Virtual Reality (VR)*, *201*. https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=hOghEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA201&dq=16.%09Healthcare+Applications+of+Augmented+Reality+(AR)+and+Virtual+Reality+(VR)&ots=ENWz-igDGE&sig=YE3vElHigp7VRHnCHb84dzZk8iE

Benfatah, M., Youlyouz-Marfak, I., Saad, E., Hilali, A., Nejjari, C., & Marfak, A. (2024). Impact of artificial intelligence-enhanced debriefing on clinical skills development in nursing students: A comparative study. *Teaching and Learning in Nursing*, *19*(3), e574-e579. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S155730872400088X

Blaak, H., Lkoul, A., Iziki, H., Arechkik, A., Sbai Idrissi, K., El Hilali, S., Razine, R., Belyamani, L., Kharabch, A., & Obtel, M. (2025). Effectiveness of Simulation with a Standardized Patient on Knowledge Acquisition, Knowledge Retention, and Self-Efficacy Among Moroccan Nursing Students: A Quasi-Experimental Study. Healthcare,

Collaço, E., Kira, E., Sallaberry, L. H., Queiroz, A. C., Machado, M. A., Crivello Jr, O., & Tori, R. (2021). Immersion and haptic feedback impacts on dental anesthesia technical skills virtual reality training.

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Journal of dental education, *85*(4), 589-598. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jdd.12503

Chan, K., Kor, P. P. K., Liu, J. Y. W., Cheung, K., Lai, T., & Kwan, R. Y. C. (2024). The Use of Immersive Virtual Reality Training for Developing Nontechnical Skills Among Nursing Students: Multimethods Study. *Asian/Pacific Island Nursing Journal*, *8*, e58818. https://apinj.jmir.org/2024/1/e58818

Christopher, A., Gortemiller, T., Zemmer, J., & Wronowski, M. (2021). Interprofessional healthcare student perceptions of clinical vs. simulation learning through participation in underserved health clinics. *Medical Science Educator*, *31*(4), 1291-1304. https://link.springer.com/article/10.1007/s40670-021-01297-9

Fugate, J. M. B., Tonsanger, M. J., & Macrine, S. L. (2025). Immersive Extended Reality (I-XR) in Medical and Nursing Education: A Systematic Review and Pedagogical Directives. https://www.preprints.org/frontend/manuscript/c689f9bbe89f245a10b06e26649d00fa/download_pub

Habbal, A., Ali, M. K., & Abuzaraida, M. A. (2024). Artificial Intelligence Trust, risk and security management (AI trism): Frameworks, applications, challenges and future research directions. *Expert Systems with Applications*, *240*, 122442. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417423029445

Hamilton, A. (2024). Artificial intelligence and healthcare simulation: the shifting landscape of medical education. *Cureus*, *16*(5). https://www.cureus.com/articles/233783-artificial-intelligence-and-healthcare-simulation-the-shifting-landscape-of-medical-education.pdf

Harder, N. (2023). Advancing healthcare simulation through artificial intelligence and machine learning: Exploring innovations. *Clinical Simulation in Nursing*, *83*. https://www.nursingsimulation.org/article/S1876-1399(23)00070-1/abstract

Junga, A., Schulze, H., Scherzer, S., Hätscher, O., Bozdere, P., Schmidle, P., Risse, B., & Marschall, B. (2024). Immersive learning in medical education: analyzing behavioral insights to shape the future of VR-based courses. *BMC Medical Education*, *24*(1), 1-12. https://link.springer.com/article/10.1186/s12909-024-06337-7

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Lau, K., Halligan, J., Fontana, G., Guo, C., O'Driscoll, F. K., Prime, M., & Ghafur, S. (2023). Evolution of the clinical simulation approach to assess digital health technologies. *Future Healthcare Journal*, *10*(2), 173-175. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2514664524003722

Lee, E., & Baek, G. (2024). Development and Effects of Adult Nursing Education Programs Using Virtual Reality Simulations. Healthcare,

Liu, A., Martin, S., Belousov, M., Fung, C. C., Ben-Ari, R., & May, W. (2023). Impact of AI Virtual Standardized Patients (AI-VSP) on performance in a Clinical Skills Examination. https://www.researchsquare.com/article/rs-3516363/latest

Ma, J., Wang, Y., Joshi, S., Wang, H., Young, C., Pervez, A., Qu, Y., & Washburn, S. (2024). Using immersive virtual reality technology to enhance nursing education: A comparative pilot study to understand efficacy and effectiveness. *Applied ergonomics*, *115*, 104159. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003687023001977

Mergen, M., Junga, A., Risse, B., Valkov, D., Graf, N., & Marschall, B. (2023). Immersive training of clinical decision making with AI driven virtual patients–a new VR platform called medical tr. AI. ning. *GMS Journal for Medical Education*, *40*(2), Doc18. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10285366/

Meynhardt, C., Meybohm, P., Kranke, P., & Hölzing, C. R. (2025). Advanced Prompt Engineering in Emergency Medicine and Anesthesia: Enhancing Simulation-Based e-Learning. *Electronics*, *14*(5), 1028. https://www.mdpi.com/2079-9292/14/5/1028

Mujlli, G., Al-Ghosen, A., Alrabah, R., Munshi, F., & Ozdemir, B. (2023). Development and validation of simulation scenario quality instrument (SSQI). *BMC Medical Education*, *23*(1), 972. https://link.springer.com/article/10.1186/s12909-023-04935-5

Pedram, S., Kennedy, G., & Sanzone, S. (2024). Assessing the validity of VR as a training tool for medical students. *Virtual Reality*, *28*(1), 15. https://link.springer.com/article/10.1007/s10055-023-00912-x

PRISMA. (2020). *PRISMA. Informes transparentes de revisiones sistemáticas y metaanálisis. Declaración PRISMA 2020*. http:/www.prisma-statement.org

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Radkowitsch, A., Fischer, M. R., Schmidmaier, R., & Fischer, F. (2020). Learning to diagnose collaboratively: Validating a simulation for medical students. *GMS Journal for Medical Education*, *37*(5), Doc51. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7499460/

Reed, T., Pirotte, M., McHugh, M., Oh, L., Lovett, S., Hoyt, A. E., Quinones, D., Adams, W., Gruener, G., & McGaghie, W. C. (2016). Simulation-based mastery learning improves medical student performance and retention of core clinical skills. *Simulation in Healthcare*, *11*(3), 173-180. https://journals.lww.com/simulationinhealthcare/fulltext/2016/06000/Simulation_Based_Mastery_Learning_Improves_Medical.4.aspx

Teixeira, L., Mitchell, A., Martinez, N. C., & Salim, B. J. (2024). Virtual reality with artificial intelligence-led scenarios in nursing education: a project evaluation. *British Journal of Nursing*, *33*(17), 812-820. https://www.magonlinelibrary.com/doi/abs/10.12968/bjon.2024.0055

Wamalwa, B., Mengich, G., Kaniaru, D., Chemjor, H., & Mbete, D. (2024). Utilization of simulation models in clinical teaching in the department of clinical medicine at medical training colleges. *Medical education*, *14*(1). https://vestnik.reaviz.ru/jour/article/view/872

Yoon, H. (2024). Effects of immersive straight catheterization virtual reality simulation on skills, confidence, and flow state in nursing students. *CIN: Computers, Informatics, Nursing*, *42*(12), 872-878. https://journals.lww.com/cinjournal/fulltext/2024/12000/effects_of_immersive_straight_catheterization.5.aspx

Yoon, H., Lee, E., Kim, C.-J., & Shin, Y. (2024). Virtual reality simulation-based clinical procedure skills training for nursing college students: a quasi-experimental study. Healthcare,

Zidoun, Y., & Mardi, A. E. (2024). Artificial Intelligence (AI)-Based simulators versus simulated patients in undergraduate programs: A protocol for a randomized controlled trial. *BMC Medical Education*, *24*(1), 1260. https://link.springer.com/article/10.1186/s12909-024-06236-x

Conflicto de interés

Los autores autorizan la distribución y uso de su artículo.

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Contribuciones de los autores

1. Conceptualización: Mónica Gabriela Cháchalo Sandoval.
2. Curación de datos: Sandra Pamela Bazante Riofrio, Evelyn Paulina Chacha Ochoa
3. Análisis formal: Mónica Gabriela Cháchalo Sandoval, Sandra Pamela Bazante Riofrio
4. Investigación: Sandra Pamela Bazante Riofrio, Evelyn Paulina Chacha Ochoa
5. Metodología: Sandra Pamela Bazante Riofrio, Evelyn Paulina Chacha Ochoa
6. Administración del proyecto: Mónica Gabriela Cháchalo Sandoval
7. Recursos: Sandra Pamela Bazante Riofrio, Evelyn Paulina Chacha Ochoa
8. Software: Mónica Gabriela Cháchalo Sandoval, Sandra Pamela Bazante Riofrio, Evelyn Paulina Chacha Ochoa
9. Supervisión: Mónica Gabriela Cháchalo Sandoval
10. Validación: Sandra Pamela Bazante Riofrio, Evelyn Paulina Chacha Ochoa
11. Visualización: Sandra Pamela Bazante Riofrio, Evelyn Paulina Chacha Ochoa
12. Redacción – borrador original: Mónica Gabriela Cháchalo Sandoval, Sandra Pamela Bazante Riofrio, Evelyn Paulina Chacha Ochoa
13. Redacción – revisión y edición: Mónica Gabriela Cháchalo Sandoval, Sandra Pamela Bazante Riofrio, Evelyn Paulina Chacha Ochoa

Financiación

La investigación no requirió fuente de financiamiento.

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)