

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD

CARRERA DE MEDICINA

“LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL COMO HERRAMIENTA DE AYUDA DIAGNÓSTICA EN FRACTURAS DE CADERA. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA”

Requisito previo para optar por el Título de Médico General

Modalidad: Artículo Científico

Autor: Caiza Calle, Ronald Mauricio

Tutora: Dra. Esp. Sandoval Espinoza Gabriela Fernanda

Ambato – Ecuador

Septiembre, 2025

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutora del Artículo Científico sobre el tema:

“LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL COMO HERRAMIENTA DE AYUDA DIAGNÓSTICA EN FRACTURAS DE CADERA. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA” desarrollado por Caiza Calle Ronald Mauricio, estudiante de la Carrera de Medicina, considero que reúne los requisitos técnicos, científicos y corresponden a lo establecido en las normas legales para el proceso de graduación de la Institución; por lo mencionado autorizo la presentación de la investigación ante el organismo pertinente, para que sea sometido a la evaluación de docentes calificadores designados por el H. Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Salud.

Ambato, septiembre del 2025

LA TUTORA



Sandoval Espinoza, Gabriela Fernanda

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Los criterios emitidos en el Artículo de Revisión **“LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL COMO HERRAMIENTA DE AYUDA DIAGNÓSTICA EN FRACTURAS DE CADERA. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA”** como también los contenidos, ideas, análisis, conclusiones, son de autoría y exclusiva responsabilidad de la compareciente, los fundamentos de la investigación se han realizado en base a recopilación bibliográfica y antecedentes investigativos

Ambato, septiembre del 2025

EL AUTOR



Caiza Calle Ronald Mauricio

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Dra. Esp. Sandoval Espinoza Gabriela Fernanda con CC: 1804359121 en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación **"LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL COMO HERRAMIENTA DE AYUDA DIAGNÓSTICA EN FRACTURAS DE CADERA. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA"**, Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Artículo de Revisión o parte de él, un documento disponible con fines netamente académicos para su lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo una licencia gratuita e intransferible, así como los derechos patrimoniales de mi Artículo de Revisión a favor de la Universidad Técnica de Ambato con fines de difusión pública; y se realice su publicación en el repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, siempre y cuando no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autora, sirviendo como instrumento legal este documento como fe de mi completo consentimiento.

Ambato, septiembre 2025



.....

Sandoval Espinoza, Gabriela Fernanda

CC: 1804359121

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Caiza Calle Ronald Mauricio con CC: 1804850087 en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación **"LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL COMO HERRAMIENTA DE AYUDA DIAGNÓSTICA EN FRACTURAS DE CADERA. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA"**, Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Artículo de Revisión o parte de él, un documento disponible con fines netamente académicos para su lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo una licencia gratuita e intransferible, así como los derechos patrimoniales de mi Artículo de Revisión a favor de la Universidad Técnica de Ambato con fines de difusión pública; y se realice su publicación en el repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, siempre y cuando no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autora, sirviendo como instrumento legal este documento como fe de mi completo consentimiento.

Ambato, septiembre 2025

Firmado electrónicamente por:
RONALD MAURICIO CAIZA CALLE
Validar únicamente con FirmaEC

.....

Caiza Calle Ronald Mauricio

C.C 1804850087

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban en el informe del Artículo Científico: **"LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL COMO HERRAMIENTA DE AYUDA DIAGNÓSTICA EN FRACTURAS DE CADERA. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA"**", de Caiza Calle Ronald Mauricio, estudiante de la Carrera de Medicina

Ambato, septiembre 2025

Parar su constancia firma

……

Presidente

.....…… .....……

1er Vocal 2 do Vocal

Revista Multidisciplinaria Arbitrada de Investigación Científica
ISSN: 2588 - 0659

CRT-**MQRinvestigar**-UIO-V_9_2_ART_e546
Quito (Ecuador), 2025-05-08

CERTIFICATION

MQR® editorial certifies, that this article:

Artificial intelligence as a diagnostic tool for hip fractures. A bibliographic review

La inteligencia artificial como herramienta de ayuda diagnóstica en fracturas de cadera. Revisión Bibliográfica

PEER REVIEW - "Aceptada para su publicación después de superar un proceso de doble revisión ciega externa"
Fechas de recepción: 08-ABR-2025 aceptación: 08-MAY-2025 publicación: 30-JUN-2025

Authors:

Caiza-Calle, Ronald Mauricio
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
Interno Rotativo de Medicina
Ambato – Ecuador
rcaiza0087@uta.edu.ec
https://orcid.org/0009-0000-9317-7945

Sandoval-Espinoza, Gabriela Fernanda
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
Especialista en Emergencias y Desastres
Médico General
Ambato – Ecuador
gf.sandoval@uta.edu.ec
https://orcid.org/0000-0003-2256-2007

Published: Vol. 9 Núm. 2 (2025): Revista Científica MQRinvestigar: pag. O1-15
DOI: https://doi.org/10.56048/MQR20225.9.2.2025.e546
Indexado en **Latindex 2.0** ISSN-L **2588-0659**

http://www.investigarmqr.com/

Cordially yours,
MQRInvestigar - Director

Firmado electrónicamente por:
MARCO ANTONIO QUINTANILLA ROMERO

Dr. Marco Quintanilla R.
Director

DEDICATORIA

El presente Artículo de Revisión lo dedico con todo mi amor y gratitud a mis padres, quienes han sido la base sólida de mi vida, el ejemplo de esfuerzo, constancia y amor incondicional que me ha guiado en cada paso de este camino académico y personal. Gracias a su apoyo, consejos y confianza en mí, he encontrado la fuerza necesaria para superar las dificultades y mantener firme mi propósito de alcanzar esta meta tan significativa.

De igual manera, a mis hermanos, quienes han sido compañeros inseparables de este recorrido, brindándome siempre su apoyo, alegría y motivación. En cada palabra de aliento, en cada gesto de cariño y en cada momento compartido, he encontrado la inspiración para continuar y no rendirme.

A ustedes, mi familia, les entrego este logro, porque cada página de este trabajo refleja también el sacrificio, el amor y la unión que hemos construido juntos.

Ronald Caiza

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios, por guiarme en cada paso y darme fortaleza en los momentos difíciles. A mi familia, por su apoyo incondicional, amor y motivación constante que me han impulsado a seguir adelante. A mis amigos, por su compañía sincera, sus palabras de aliento y su presencia en este camino. A mi tutora, por su compromiso, orientación y respaldo permanente durante el desarrollo de este trabajo. A mis profesores, por sus enseñanzas, consejos y dedicación, que contribuyeron a mi crecimiento académico y personal. Finalmente, a la Universidad Técnica de Ambato, por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente y abrirme las puertas al conocimiento.

Ronald Caiza

“LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL COMO HERRAMIENTA DE AYUDA DIAGNÓSTICA EN FRACTURAS DE CADERA. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA”

RESUMEN

Las fracturas de cadera constituyen un problema relevante de salud pública, especialmente en adultos mayores, con incidencia creciente por el envejecimiento poblacional. Los métodos diagnósticos tradicionales presentan limitaciones, sobre todo en fracturas no desplazadas y complejas, lo que retrasa el tratamiento. La inteligencia artificial (IA) emerge como una solución prometedora ante estos retos. Objetivo: Revisar la evidencia reciente sobre el uso de IA como apoyo diagnóstico en fracturas de cadera, evaluando su precisión, rapidez y aplicabilidad clínica para identificar beneficios, limitaciones y su impacto en la atención. Métodos: Se realizó una revisión bibliográfica de artículos publicados entre 2021 y 2025 en PubMed, Scopus y Cochrane Library. Se incluyeron estudios en español e inglés, usando las palabras clave "Fracturas de Cadera", "Inteligencia Artificial" y "Aprendizaje Profundo". Se analizaron las aplicaciones diagnósticas reportadas. Resultados: Se identificaron 53 estudios, de los cuales 20 cumplieron los criterios de inclusión. Modelos como YOLOv4-tiny y DenseNet alcanzaron sensibilidades de hasta 96.2% y especificidades de 94.6%, destacando en fracturas no desplazadas. El uso de ensemble learning mejoró la consistencia diagnóstica (sensibilidad 89.7%, especificidad 99.1%). La IA redujo los tiempos diagnósticos un 30%, optimizando el flujo hospitalario y los costos. Conclusiones: La IA es una herramienta eficaz para el diagnóstico de fracturas de cadera, con alta sensibilidad y especificidad, especialmente en casos complejos, superando en rapidez y precisión a los métodos convencionales. Sin embargo, persisten retos como la validación externa y la estandarización de datos. La IA complementa, mas no reemplaza, al juicio clínico, fortaleciendo la toma de decisiones y mejorando la atención médica.

PALABRAS CLAVES: FRACTURAS DE CADERA; INTELIGENCIA ARTIFICIAL; DIAGNÓSTICO; APRENDIZAJE PROFUNDO; MACHINE LEARNING

“ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS A DIAGNOSTIC TOOL FOR HIP FRACTURES.A BIBLIOGRAPHIC REVIEW”

ABSTRACT

Hip fractures constitute a significant public health problem, especially in older adults, with increasing incidence due to the aging population. Traditional diagnostic methods have limitations, especially in non-displaced and complex fractures, which delays treatment. Artificial intelligence (AI) emerges as a promising solution to these challenges. Objective: To review recent evidence on the use of AI as a diagnostic aid in hip fractures, evaluating its accuracy, speed, and clinical applicability to identify benefits, limitations, and its impact on care. Methods: A bibliographic review of articles published between 2021 and 2025 in PubMed, Scopus, and the Cochrane Library was conducted. Studies in Spanish and English were included, using the keywords "Hip Fractures," "Artificial Intelligence," and "Deep Learning." Reported diagnostic applications were analyzed. Results: Fifty-three studies were identified, of which 20 met the inclusion criteria. Models such as YOLOv4-tiny and DenseNet achieved sensitivities of up to 96.2% and specificities of 94.6%, particularly in non-displaced fractures. The use of ensemble learning improved diagnostic consistency (sensitivity 89.7%, specificity 99.1%). AI reduced diagnostic times by 30%, optimizing hospital flow and costs. Conclusions: AI is an effective tool for diagnosing hip fractures, with high sensitivity and specificity, especially in complex cases, surpassing conventional methods in speed and accuracy. However, challenges remain, such as external validation and data standardization. AI complements, but does not replace, clinical judgment, strengthening decision-making and improving medical care.

KEYWORDS: HIP FRACTURES; ARTIFICIAL INTELLIGENCE; DIAGNOSIS; DEEP LEARNING; MACHINE LEARNING

INTRODUCCIÓN

Cada año, cerca del 30% de los adultos mayores de 65 años sufre caídas, siendo las fracturas de cadera una de las consecuencias más frecuentes y graves, asociadas con un aumento en la mortalidad, la dependencia funcional y la necesidad de cuidados prolongados. Este problema genera un impacto significativo en los sistemas de salud, representando hasta el 1% del gasto sanitario en países de ingresos altos, mientras que en países en desarrollo, donde los recursos son más limitados, los costos relacionados con el tratamiento y rehabilitación de estas fracturas pueden superar los presupuestos individuales y comunitarios, dificultando el acceso a una atención adecuada (1). Dentro de este panorama, las fracturas de cadera constituyen un problema de salud pública significativo debido a su alta incidencia y a las severas consecuencias funcionales, psicológicas y económicas que generan en los pacientes. Estas lesiones afectan de forma crítica la movilidad y desencadenan el fenómeno conocido como "muerte social", caracterizado por el aislamiento, la pérdida de autonomía y la desconexión del entorno social, lo que impacta negativamente en la calidad de vida y la salud mental de los afectados (2).

En 2021, se reportaron 16,9 millones de fracturas de cadera a nivel mundial, un incremento del 126% respecto a 1990, y las proyecciones indican que esta cifra podría duplicarse para 2050, impulsada por el envejecimiento poblacional. Este problema afecta predominantemente a mujeres, que representan el 70% de los casos, y a personas mayores de 85 años, quienes constituyen más del 40% de los afectados, además de las limitaciones físicas que implican estas fracturas, los pacientes enfrentan un deterioro psicológico marcado por sentimientos de inutilidad, dependencia y baja autoestima, factores que dificultan la recuperación y limitan la posibilidad de reintegrarse socialmente, comprometiendo de forma integral su calidad de vida (1,2).

Las fracturas de cadera, localizadas en el fémur proximal, representan un desafío tanto por su alta morbilidad como por la complejidad de su manejo clínico. Desde

el punto de vista anatómico, se clasifican en intracapsulares, que incluyen lesiones en el cuello y la cabeza femoral, con alto riesgo de necrosis avascular debido a su limitada vascularización, y extracapsulares, que abarcan fracturas intertrocantéricas y subtrocantéricas, las cuales suelen requerir fijaciones quirúrgicas robustas debido a las fuerzas biomecánicas que actúan en estas áreas (3).

El diagnóstico de estas fracturas, aunque tradicionalmente basado en la clínica y las radiografías simples, enfrenta limitaciones en casos de fracturas ocultas o mínimamente desplazadas, donde técnicas avanzadas como la resonancia magnética y la tomografía computarizada ofrecen mayor sensibilidad y especificidad, en este contexto, los avances en inteligencia artificial (IA) han revolucionado el enfoque diagnóstico, permitiendo no solo clasificaciones más precisas y consistentes, sino también una optimización del proceso terapéutico gracias al análisis automatizado de patrones biomecánicos que mejoran la toma de decisiones clínicas (4).

Los modelos de IA han demostrado una gran eficacia en la detección, clasificación y análisis de fracturas, destacándose herramientas como YOLOv4 y YOLOv4-tiny por su capacidad para realizar análisis en tiempo real, EfficientNet por optimizar el equilibrio entre precisión y carga computacional, y DenseNet y ResNet por su capacidad para identificar patrones anatómicos complejos en fracturas del cuello femoral e intertrocantéricas. La técnica de votación mayoritaria, que combina arquitecturas como Xception, EfficientNet y NfNet, mejora la consistencia diagnóstica, mientras que Faster R-CNN permite la detección y clasificación simultánea de lesiones complejas. Por su parte, herramientas como Grad-CAM aumentan la interpretabilidad al generar mapas de calor que destacan las áreas de interés, fortaleciendo la confianza en los diagnósticos automatizados y potenciando su utilidad en la práctica clínica (5–7).

Considerando el impacto significativo de las fracturas de cadera en la salud pública, este artículo busca evaluar el impacto de la inteligencia artificial como herramienta diagnóstica, analizando sus beneficios, limitaciones y su potencial para optimizar los procedimientos actuales y mejorar la precisión diagnóstica,

con el objetivo de ofrecer una atención más eficiente y centrada en las necesidades de los pacientes.

MATERIAL Y MÉTODOS

La presente revisión bibliográfica se enfocó en analizar de manera amplia y cualitativa el uso de la inteligencia artificial (IA) en el diagnóstico de fracturas de cadera, basándose en estudios recientes publicados en la literatura académica. El objetivo fue proporcionar una comprensión general del tema, destacando avances, limitaciones y potenciales aplicaciones de la IA en entornos clínicos.

Búsqueda de la Literatura

- La búsqueda se realizó en bases de datos reconocidas como PubMed, Cochrane Library, Scopus, Science Direct, UpToDate y Google Scholar, utilizando palabras clave como: *"Hip Fractures", "Artificial Intelligence", "Diagnosis", "Deep Learning", y "Machine Learning*".
- Se seleccionaron estudios en inglés y español, publicados entre 2019 y 2024, para asegurar una perspectiva actualizada de la temática.

Selección de la Literatura

- La selección de los artículos se realizó con base en su relevancia para el tema, incluyendo revisiones, estudios originales y metaanálisis que exploran el papel de la IA en el diagnóstico de fracturas de cadera.
- No se aplicaron criterios de exclusión estrictos, ya que el objetivo fue incluir una gama diversa de estudios que aborden la temática desde diferentes perspectivas, favoreciendo así una síntesis más amplia del conocimiento disponible.

Análisis de la Información

- La información se organizó de manera cualitativa, agrupando los hallazgos según aspectos clave como la precisión diagnóstica, la velocidad de diagnóstico, y el impacto en la práctica clínica y la educación médica.
- No se realizó un análisis cuantitativo exhaustivo, ya que la revisión se centró en la interpretación descriptiva de los estudios más representativos en el campo.

RESULTADOS

Búsqueda y Selección de Artículos

Se identificaron un total de 53 artículos relacionados con el uso de inteligencia artificial (IA) en el diagnóstico de fracturas de cadera, publicados entre 2019 y 2024. Tras aplicar los criterios de inclusión, 20 artículos cumplieron con los requisitos para el análisis detallado. La exclusión de estudios se debió a falta de datos específicos sobre sensibilidad y especificidad, énfasis en otras patologías, o enfoque limitado en aplicaciones clínicas de la IA.

Distribución de las Publicaciones

La mayoría de los estudios seleccionados se publicaron en revistas de alto impacto en el campo de la ortopedia y radiología, destacando publicaciones como Radiology, JAMA Network Open y European Radiology. Geográficamente, los estudios se distribuyeron principalmente en América del Norte (40%), Europa (35%) y Asia (25%), lo que resalta el interés global en la aplicación de IA en este campo.

Eficacia Diagnóstica de la IA

De los artículos analizados, el modelo YOLOv4-tiny alcanzó una sensibilidad máxima del 96.2% y especificidad del 94.6%, demostrando ser particularmente efectivo en fracturas no desplazadas. DenseNet mostró resultados similares, con una sensibilidad del 91% y especificidad del 94%, confirmando su utilidad para la identificación de patrones complejos en radiografías. Además, los enfoques basados en ensemble learning lograron sensibilidades promedio del 89.7% y especificidades del 99.1%, maximizando la precisión mediante la combinación de múltiples algoritmos (8,9).

Impacto en Velocidad Diagnóstica

La implementación de IA permitió reducir los tiempos de diagnóstico en un 30% en comparación con métodos tradicionales. Herramientas como YOLOv4-tiny

procesan imágenes en tiempo real, mientras que Grad-CAM facilitó la priorización automática de imágenes críticas. Estos resultados fueron consistentes en entornos de alta carga de trabajo, optimizando la atención de casos urgentes.

Aplicación Clínica y Consistencia Diagnóstica

Los estudios revisados destacaron cómo la IA mejoró la precisión diagnóstica, redujo errores y facilitó la priorización de casos críticos. En un análisis multicéntrico, el uso de IA disminuyó la variabilidad diagnóstica entre profesionales, incrementando la confiabilidad y consistencia en la interpretación de imágenes, especialmente en fracturas subtrocantéricas y no desplazadas.

Costos y Viabilidad Operativa

Los modelos de IA contribuyeron a la disminución de costos operativos al reducir pruebas complementarias innecesarias y hospitalizaciones prolongadas. En entornos rurales o con recursos limitados, su implementación ayudó a compensar la escasez de especialistas, promoviendo una atención más equitativa y eficiente.

Limitaciones Identificadas

Se identificaron desafíos en la falta de validación externa y estandarización de datos, lo que limita la generalización de los modelos. Sin embargo, estudios recientes están integrando datos multicéntricos para abordar estas limitaciones y mejorar la aplicabilidad clínica.

Conclusión General de los Resultados

Los hallazgos confirman que la IA es una herramienta valiosa para el diagnóstico de fracturas de cadera, con impacto positivo en la precisión, rapidez y eficiencia operativa. No obstante, se requieren esfuerzos continuos para superar las barreras existentes y maximizar su potencial en la práctica clínica.

DISCUSIÓN

La implementación de la inteligencia artificial (IA) en el diagnóstico de fracturas de cadera ha demostrado resultados sumamente prometedores, posicionándose como una herramienta complementaria al juicio clínico tradicional. La precisión diagnóstica alcanzada por modelos como YOLOv4-tiny y DenseNet ha sido notable, con sensibilidades que oscilan entre el 79.3% y el 98%, dependiendo del tipo de fractura y modalidad de imagen empleada (10–12). En particular, YOLOv4-tiny ha reportado una sensibilidad del 96.2%, superando la capacidad diagnóstica de médicos generales y residentes de primer año en la identificación de fracturas no desplazadas, las cuales representan uno de los mayores retos clínicos debido a su sutilidad radiográfica (10–12). De manera similar, DenseNet ha demostrado una sensibilidad del 91% y una especificidad del 94%, resultados comparables a los obtenidos por radiólogos expertos, lo que refleja la madurez de estos sistemas de IA para enfrentar escenarios clínicos complejos.

Las modalidades de imagen utilizadas también influyen en el desempeño de los modelos de IA, las radiografías simples, por su accesibilidad y rapidez, siguen siendo la herramienta de primera línea en la evaluación inicial de fracturas de cadera, alcanzando sensibilidades del 94% y especificidades del 92% (13,14), pero, en situaciones donde la sospecha clínica persiste pese a una radiografía negativa, la tomografía computarizada (TC) se convierte en el método de elección, pese a que presenta una sensibilidad ligeramente inferior (89%) respecto a las radiografías (13,14). Este hecho subraya la necesidad de integrar la IA no solo como asistente en el diagnóstico radiográfico convencional, sino también como complemento en modalidades avanzadas de imagen. La aplicación de técnicas de ensemble learning, combinando arquitecturas como Xception, EfficientNet y NfNet, ha permitido alcanzar una sensibilidad promedio del 89.7% y una especificidad del 99.1%, reforzando la precisión diagnóstica mediante el principio de votación mayoritaria (16). Estos resultados destacan la eficacia de integrar múltiples modelos para reducir falsos positivos y aumentar la confiabilidad diagnóstica, aunque también introducen desafíos operativos y éticos en su implementación a gran escala (15,16), adicionalmente, herramientas

como Grad-CAM han facilitado la visualización de patrones complejos en las imágenes radiográficas, mejorando no solo la precisión de los diagnósticos, sino también la confianza de los médicos, residentes y estudiantes en formación al interpretar hallazgos sutiles (1,17).

La velocidad de diagnóstico constituye otro beneficio crítico de la IA en este campo, modelos como YOLOv4-tiny y EfficientNet han demostrado ser capaces de procesar imágenes en tiempo real, logrando una reducción del 30% en los tiempos de diagnóstico en comparación con los métodos tradicionales (10,13,18). Esta optimización no solo impacta positivamente en la atención de pacientes en entornos de alta carga asistencial, como salas de emergencia y hospitales terciarios, sino que también es crucial en áreas rurales o de escasos recursos donde el acceso a especialistas es limitado (13,14). Herramientas avanzadas de priorización automática, como las ofrecidas por DenseNet y Grad-CAM, permiten identificar rápidamente casos críticos, aumentando la eficiencia operativa y reduciendo potenciales demoras en la intervención quirúrgica (11).

El impacto en la práctica clínica va más allá del simple apoyo diagnóstico. La IA ha logrado disminuir significativamente la variabilidad interprofesional en la interpretación de imágenes, estableciendo un estándar más homogéneo en la evaluación de fracturas de cadera (10,14,16). Esta reducción de la variabilidad no solo mejora la calidad del diagnóstico, sino que también optimiza la toma de decisiones terapéuticas, garantizando intervenciones más oportunas y adecuadas. Asimismo, en el ámbito educativo, la IA ha surgido como una herramienta innovadora para fortalecer las competencias diagnósticas de los médicos en formación. La retroalimentación visual proporcionada por sistemas como Grad-CAM ha mejorado la capacidad de los estudiantes para identificar fracturas ocultas o complejas, fortaleciendo su preparación clínica futura y reduciendo los errores interpretativos (1,17).

Desde la perspectiva económica, la integración de IA en el diagnóstico de fracturas de cadera representa una estrategia eficaz para reducir los costos operativos en los sistemas de salud. Según Kuo et al., la implementación de modelos de IA ha permitido disminuir la necesidad de pruebas complementarias innecesarias y reducir el tiempo de hospitalización, lo cual impacta directamente

en el gasto total de atención médica (14,19). Dado que el 79.6% del gasto durante el primer año post-fractura corresponde a la hospitalización inicial (1), cualquier medida que logre acortar este período resulta altamente beneficiosa. Además, la capacidad de la IA para automatizar procesos de triage y priorización de pacientes ha contribuido a una mejor asignación de recursos, promoviendo una atención más equitativa, especialmente en entornos de alta demanda (14,19,20). Este impacto positivo no se limita a países de altos ingresos; en regiones de bajos y medianos recursos, la IA ofrece una alternativa viable para compensar la escasez de especialistas y mejorar la cobertura de atención médica.

A pesar de los avances alcanzados, persisten limitaciones relevantes que deben ser consideradas para una implementación exitosa de la IA en el diagnóstico de fracturas de cadera. La falta de validación externa de muchos modelos constituye uno de los principales desafíos, dado que la mayoría de los algoritmos han sido entrenados en bases de datos limitadas y homogéneas (14,19). Esta limitación compromete su capacidad de generalización a poblaciones más diversas y a distintos entornos clínicos. La calidad variable de las imágenes radiográficas, así como la ausencia de estandarización en los protocolos de captura y etiquetado de datos, también representan barreras importantes para el desempeño óptimo de la IA (13,16). No obstante, iniciativas recientes que buscan desarrollar bases de datos multicéntricas y establecer estándares globales de imagenología son pasos fundamentales hacia la superación de estas restricciones.

Otro aspecto crítico es la necesidad de integrar variables clínicas adicionales, como antecedentes médicos, comorbilidades y factores demográficos, en los modelos de IA. Actualmente, muchos sistemas se limitan exclusivamente al análisis radiográfico, lo cual puede restringir su capacidad para contextualizar adecuadamente los hallazgos y ofrecer recomendaciones terapéuticas más personalizadas (15). El desarrollo de modelos híbridos que combinen datos de imagen con información clínica se perfila como una línea de investigación prioritaria para maximizar el potencial de la IA en el manejo integral del paciente con fractura de cadera.

Finalmente, resulta indispensable enfatizar que la IA debe ser vista como un complemento y no como un sustituto del juicio clínico humano. La experiencia, intuición y capacidad de razonamiento del médico siguen siendo insustituibles, especialmente en casos complejos donde el contexto clínico y las particularidades individuales del paciente desempeñan un papel crucial en la toma de decisiones. Por tanto, la integración de la IA debe orientarse a fortalecer y apoyar la práctica clínica, mejorando la precisión diagnóstica, reduciendo los tiempos de respuesta y optimizando el uso de los recursos disponibles, pero siempre bajo la supervisión y criterio del profesional de salud

CONCLUSIONES

La implementación de inteligencia artificial (IA) en el diagnóstico de fracturas de cadera constituye un avance significativo en la medicina moderna, al ofrecer mejoras sustanciales en precisión, rapidez y eficiencia operativa. Modelos como YOLOv4-tiny y DenseNet han mostrado desempeños equiparables a los de radiólogos expertos, superando a médicos generales y residentes en casos complejos como las fracturas subtrocantéricas y no desplazadas, donde la interpretación tradicional puede ser más limitada.

Además de su impacto diagnóstico, la IA ha demostrado su capacidad para procesar grandes volúmenes de imágenes en tiempo real, agilizando el diagnóstico en hospitales con alta demanda y áreas con recursos limitados. Esta agilidad no solo optimiza los tiempos de respuesta, sino que también promueve un acceso más equitativo a los servicios médicos, compensando la escasez de especialistas en contextos rurales. Herramientas avanzadas permiten priorizar casos críticos, fortaleciendo su utilidad en la práctica clínica y mejorando la seguridad del paciente.

Desde un enfoque económico, la IA aporta soluciones que contribuyen a la sostenibilidad de los sistemas de salud, al disminuir la necesidad de pruebas complementarias y reducir hospitalizaciones prolongadas. Sin embargo, estos beneficios deben evaluarse considerando desafíos como la falta de validación

externa de los modelos, la variabilidad en la calidad de los datos de entrenamiento y la integración limitada de información clínica relevante.

Es crucial subrayar que la IA debe actuar como un complemento del juicio clínico del médico, y no como un sustituto. Su principal fortaleza radica en proporcionar información precisa y consistente que apoye la toma de decisiones del médico, especialmente en situaciones donde el contexto y la experiencia clínica resultan esenciales. Este enfoque fortalece la práctica médica sin comprometer la interacción humana, que sigue siendo indispensable en los casos más complejos.

A pesar de las limitaciones actuales, los avances en bases de datos multicéntricas y el desarrollo de sistemas híbridos están generando herramientas más precisas, diversificadas y aplicables en diferentes contextos clínicos. Asimismo, la IA tiene un potencial transformador en la educación médica, al mejorar las habilidades diagnósticas de los médicos en formación y reducir la variabilidad diagnóstica entre profesionales, contribuyendo a la estandarización de las prácticas clínicas.

En síntesis, la IA se perfila como un recurso estratégico que no solo mejora la precisión y eficiencia en el diagnóstico de fracturas de cadera, sino que también transforma la atención médica, haciéndola más equitativa y de mayor calidad. Su implementación debe estar guiada por principios éticos y un enfoque interdisciplinario, asegurando que esta tecnología respalde la labor del médico, optimice los resultados clínicos y beneficie a los pacientes sin comprometer el juicio clínico humano.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Montero-Odasso M, van der Velde N, Martin FC, Petrovic M, Tan MP, Ryg J, et al. World guidelines for falls prevention and management for older adults: a global initiative. Age Ageing. 30 de septiembre de 2022;51(9):afac205.

2. Ghane G, Zare Z, Shahsavari H, Ahmadnia S, Siavashi B. The process of social death in patients with hip fracture. Sci Rep. 19 de enero de 2024;14(1):1-10.
3. Foster, K. W., Asplund, C. A., & Gammons, M. Descripción general de las fracturas de cadera más comunes en adultos - UpToDate. 2024;
4. MacIntyre MR, Cockerill RG, Mirza OF, Appel JM. Ethical considerations for the use of artificial intelligence in medical decision-making capacity assessments. Psychiatry Res. 1 de octubre de 2023;328:115466.
5. Twinprai N, Boonrod A, Boonrod A, Chindaprasirt J, Sirithanaphol W, Chindaprasirt P, et al. Artificial intelligence (AI) vs. human in hip fracture detection. Heliyon. noviembre de 2022;8(11):e11266.
6. Lex JR, Michele JD, Koucheki R, Pincus D, Whyne C, Ravi B. Artificial Intelligence for Hip Fracture Detection and Outcome Prediction: A Systematic Review and Meta- analysis. JAMA Netw Open [Internet]. marzo de 2023 [citado 8 de mayo de 2024];6(3). Disponible en: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10024206/
7. Beyaz S. Femoral neck fracture detection in X-ray images using deep learning and genetic algorithm approaches. Jt Dis Relat Surg. 25 de junio de 2020;31(2):175-83.
8. Cha Y, Kim JT, Park CH, Kim JW, Lee SY, Yoo JI. Artificial intelligence and machine learning on diagnosis and classification of hip fracture: systematic review. J Orthop Surg. 1 de diciembre de 2022;17(1):520.
9. Cha Y, Kim JT, Kim JW, Seo SH, Lee SY, Yoo JI. Effect of Artificial Intelligence or Machine Learning on Prediction of Hip Fracture Risk: Systematic Review. J Bone Metab. agosto de 2023;30(3):245-52.
10. Liu P ran, Lu L, Zhang J yao, Huo T tong, Liu S xiang, Ye Z wei. Application of Artificial Intelligence in Medicine: An Overview. Curr Med Sci. 1 de diciembre de 2021;41(6):1105-15.
11. Cheng CT, Ho TY, Lee TY, Chang CC, Chou CC, Chen CC, et al. Application of a deep learning algorithm for detection and visualization of hip fractures on plain pelvic radiographs. Eur Radiol. octubre de 2019;29(10):5469-77.

12. Sato Y, Takegami Y, Asamoto T, Ono Y, Hidetoshi T, Goto R, et al. Artificial intelligence improves the accuracy of residents in the diagnosis of hip fractures: a multicenter study. BMC Musculoskelet Disord. 3 de mayo de 2021;22(1):407.
13. Jung J, Dai J, Liu B, Wu Q. Artificial intelligence in fracture detection with different image modalities and data types: A systematic review and meta-analysis. PLOS Digit Health. enero de 2024;3(1):e0000438.
14. Kuo RYL, Harrison C, Curran TA, Jones B, Freethy A, Cussons D, et al. Artificial Intelligence in Fracture Detection: A Systematic Review and Meta-Analysis. Radiology. 29 de marzo de 2022;304(1):50-62.
15. Cheng CT, Wang Y, Chen HW, Hsiao PM, Yeh CN, Hsieh CH, et al. A scalable physician-level deep learning algorithm detects universal trauma on pelvic radiographs. Nat Commun. 16 de febrero de 2021;12(1):1066.
16. Beyaz S, Yayli SB, Kılıc E, Doktur U. The ensemble artificial intelligence (AI) method: Detection of hip fractures in AP pelvis plain radiographs by majority voting using a multi-center dataset. Digit Health. 2023;9:20552076231216549.
17. Cheng CT, Chen CC, Fu CY, Chaou CH, Wu YT, Hsu CP, et al. Artificial intelligence-based education assists medical students' interpretation of hip fracture. Insights Imaging. 23 de noviembre de 2020;11(1):119.
18. Nowroozi A, Salehi MA, Shobeiri P, Agahi S, Momtazmanesh S, Kaviani P, et al. Artificial intelligence diagnostic accuracy in fracture detection from plain radiographs and comparing it with clinicians: a systematic review and meta-analysis. Clin Radiol. 20 de abril de 2024;S0009-9260(24)00200-9.
19. Liu X, Faes L, Kale AU, Wagner SK, Fu DJ, Bruynseels A, et al. A comparison of deep learning performance against health-care professionals in detecting diseases from medical imaging: a systematic review and meta-analysis. Lancet Digit Health. octubre de 2019;1(6):e271-97.
20. Harris AHS, Trickey AW, Eddington HS, Seib CD, Kamal RN, Kuo AC, et al. A Tool to Estimate Risk of 30-day Mortality and Complications After Hip Fracture Surgery: Accurate Enough for Some but Not All Purposes? A

Study From the ACS-NSQIP Database. Clin Orthop. diciembre de 2022;480(12):2335-46.