

UNIVERSIDAD SANTANDER

Facultad de Ciencias de la Salud

Licenciatura en Radiología e imágenes diagnósticas

**Análisis de la eficiencia de la inteligencia artificial para la detección
de fracturas en radiografías simples, revisión documental 2025**

Trabajo de grado para Optar por el Título de Licenciatura en Radiología e imágenes
diagnósticas

AUTOR/ES:

Gilberto, Iglesias

Carlos, Tuñón

Javier, Vargas

Director del trabajo:

Lic. Marisol Martínez

Asesor metodológico

PhD. Johana Gutiérrez Zehr

Panamá, 30 de agosto de 2025

DEDICATORIA

Primeramente, le agradezco a Dios por guiar mis pasos, darme fortaleza en los momentos difíciles y permitirme llegar hasta aquí.

A mis padres, Eliria Herrera y Carlos Tuñón, mi más profundo agradecimiento. Sin ustedes, nada de esto hubiera sido posible. Gracias por estar siempre para mí, por sus consejos, por su apoyo incondicional y por el amor que me han dado en cada etapa de este camino.

A mis abuelas Berna y Juana, gracias por su cariño constante, por ser mi refugio y mi fuerza silenciosa.

A mis tías Yara, Yamalith, Yerika y Lidia, les agradezco el amor sincero y la calidez que siempre me han brindado. Su presencia ha sido un bálsamo en los momentos en que más lo necesitaba.

Y a mis dos grandes amigos, Jesús Centeno y Melissa Solórzano, gracias por escucharme, por sus consejos, por su paciencia y por estar a mi lado en cada paso de este proceso. Su amistad ha sido un pilar fundamental en este logro.

A todos ustedes, esta tesis también les pertenece.

Carlos Tuñón

Este trabajo ha sido el fruto de un camino lleno de experiencias, vivencias y obstáculos que hemos ido superando para ser la mejor versión siempre llevare eso conmigo.

Quiero agradecer sobre todo a mi madre Yerica Ruíz por ser el soporte, el impulso y la guía que me ha acompañado en cada etapa de este camino a mi hermana que a pesar de todo siempre está ahí para darte una voz de aliento estas dos personas son las que día con día se han sacrificado de una u otra manera para apoyarme y mantenerme en este camino que esta pronto a concluir.

También, quiero dar mi máximo agradecimiento a equipo de trabajo de la Universidad de Santander sobre todo a la Licenciada Johana Gutiérrez quien con su guía nos ha orientado con gran

maestría y eficacia para la elaboración de este trabajo y ha sido la persona que más luz me ha dado para superar los desafíos y retos que se han dejado venir con el correr de este trabajo.

Y por encima de todas las cosas gracias a dios por brindarnos la capacidad, la fortaleza y la empatía para recorrer este camino.

Gilberto Iglesias

Dedico este trabajo primeramente a Dios, a mi madre Belquis Amaya Molinar, a mi abuela Antonia M. de Amaya, y la dedicatoria más especial para mí, es para mi abuelo Concepción Amaya Camargo hasta el cielo. Con mucho amor y cariño, agradezco a cada uno de ellos, por apoyarme en todo el sentido de la palabra, desde el día uno que inicie esta carrera de resistencia.

Les estoy eternamente agradecido, por la educación y los valores que sembraron en mí, y que han hecho de mi la persona que soy hoy.

Javier Antonio Vargas A.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecemos a Dios, por brindarnos la salud, sabiduría y perseverancia necesarias para llevar a cabo y culminar este proceso académico.

A nuestras familias, por ser nuestro principal pilar emocional y por su constante apoyo incondicional durante cada etapa de este trabajo. Su comprensión, motivación y amor fueron fundamentales para alcanzar esta meta.

Expresamos nuestro profundo agradecimiento a la Universidad Santander, por ofrecernos una formación integral y espacios académicos de calidad que permitieron nuestro crecimiento personal y profesional.

Agradecemos, especialmente a nuestra profesora y asesora de trabajo de grado, la PhD. Johana Gutiérrez, por su acompañamiento, orientación constante, aportes académicos y compromiso con nuestro proceso investigativo.

Asimismo, valoramos el apoyo de nuestros compañeros y compañeras de clase, con quienes compartimos aprendizajes, retos y logros a lo largo de esta etapa universitaria.

A todas las personas e instituciones que de una u otra forma contribuyeron a la realización de este proyecto, les reiteramos nuestro más sincero agradecimiento.

RESUMEN

La inteligencia artificial (IA) está en auge en el diagnóstico de imágenes médicas y ha traído esperanzas especialmente altas en la detección de fracturas óseas utilizando radiografías simples. El objetivo de este estudio es examinar la efectividad de la IA en este contexto a través de una revisión documental de artículos publicados entre 2016 y 2024. A pesar del progreso en la tecnología, algunos problemas técnicos, éticos y legales aún deben abordarse, lo que todavía impide su implementación clínica, incluyendo la generalización del modelo en diferentes poblaciones, la variación en la calidad de las imágenes, la transparencia del algoritmo y la responsabilidad médica en caso de errores de diagnóstico. El método adoptado es el desarrollo de una revisión bibliográfica sistemática según las directrices PRISMA en bases de datos académicas (PubMed, Scopus, SciELO, Google Scholar). Proporcionaremos un análisis de parámetros críticos, es decir, sensibilidad, especificidad, pros y contras de diferente software basados en redes neuronales convolucionales.

Los resultados anticipados aclararán la precisión de estas herramientas, la utilidad clínica y el uso potencial como ayudas en entornos con recursos limitados o sobrecargados. Esta investigación conducirá a una mejor apreciación del papel complementario de la IA en el diagnóstico radiológico, así como a una guía para la integración responsable y efectiva de la IA en la práctica clínica.

Palabras clave:

- IA (inteligencia artificial), Sensibilidad, Especificidad, Ventajas de la IA, Desventajas de la IA.

ABSTRACT

Artificial intelligence (AI) is booming in medical imaging diagnostics and has brought particularly high hopes for the detection of bone fractures using simple X-rays. The aim of this study is to examine the effectiveness of AI in this context through a literature review of articles published between 2016 and 2024. Despite advances in technology, some technical, ethical, and legal issues still need to be addressed, which continue to hinder its clinical implementation, including the generalization of the model across different populations, variation in image quality, algorithm transparency, and medical liability in the event of diagnostic errors. The method adopted is the development of a systematic literature review according to PRISMA guidelines in academic databases (PubMed, Scopus, SciELO, Google Scholar). We will provide an analysis of critical parameters, i.e., sensitivity, specificity, pros, and cons of different software based on convolutional neural networks.

The anticipated results will clarify the accuracy of these tools, their clinical utility, and their potential use as aids in resource-limited or overburdened settings. This research will lead to a better appreciation of the complementary role of AI in radiological diagnosis, as well as guidance for the responsible and effective integration of AI into clinical practice.

Keywords:

- AI (artificial intelligence), Sensitivity, Specificity, Advantages of AI, Disadvantages of AI.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.1 Descripción del problema de investigación.....	3
1.1.1 Planteamiento del problema o pregunta de investigación.....	3
1.2 Justificación.....	4
1.3. Objetivos.....	5
1.3.1. Objetivo General.....	5
1.3.2 Objetivos Específicos.....	5
1.4 Delimitación de la línea y Sublínea de investigación.....	5
CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO.....	6
2. Marco Teórico.....	7
2.1. Antecedentes.....	7
2.2. Marco Referencial.....	7
2.3 Marco Legal.....	11
CAPÍTULO 3 MARCO METODOLÓGICO.....	12
3. Marco metodológico.....	13
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	13
3.2. Unidades de análisis.....	13
3.2.3 Criterios de Inclusión y Exclusión.....	13
3.3. Variables.....	14
3.4 Delimitación del o los instrumentos.....	15
3.5. Procedimiento.....	15
3.6 Actividades para mantener aspectos éticos.....	17
CAPÍTULO 4 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	18
4. Resultados.....	19
4.1. Presentación de Resultados.....	19
4.2 Resultados.....	21
4.3. Discusión de Resultados.....	23

CONCLUSIONES.....	28
RECOMENDACIONES	30
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS/ INFOGRAFÍAS.....	31
ANEXOS.....	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables	14
Tabla 2. Año de publicaciones.....	19
Tabla 3. Países de procedencia de los artículos	20
Tabla 4. Técnicas o Metodología de los artículos.....	20
Tabla 5. Región Anatómica	21
Tabla 6. Software IA Fracturas simples.....	22
Tabla 7 Sensibilidad vs Especificidad	23

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la inteligencia artificial (IA) ha adquirido una nueva relevancia en el sector de la salud, particularmente en el campo de la imagenología diagnóstica. El ejemplo más emocionante de estos sistemas es la detección automática de fracturas óseas en radiografías simples con aprendizaje profundo (especialmente redes neuronales convolucionales, CNN). Cuando se implementa en el entorno clínico, esta tecnología podría optimizar el tiempo de diagnóstico, así como disminuir los errores humanos, mejorar la precisión del diagnóstico y ofrecer asistencia en entornos donde los recursos radiológicos especializados son limitados.

Llevando a cabo esta investigación, para observar de cerca la precisión diagnóstica de las tecnologías de IA cuando se aplica como herramienta de diagnóstico complementario para identificar fracturas óseas en la práctica clínica. Para ello, se realizó una revisión documental, abordando desde artículos de carácter clínico hasta estudios regulatorios, contemplando enfoques médicos, técnicos, éticos y legales. Esta revisión proporcionó una evaluación integral de la sensibilidad, especificidad, fortalezas y limitaciones de varios modelos de IA en este escenario. Este estudio tuvo como objetivo proporcionar un resumen exhaustivo y actualizado que pueda ser utilizado como referencia para estudios en curso y futuros, la implementación de aplicaciones en hospitales y el establecimiento de marcos regulatorios para el uso ético de la tecnología para un diagnóstico seguro y efectivo de imágenes utilizando inteligencia artificial.

CAPÍTULO I.
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción del problema de investigación

1.1.1 Planteamiento del problema o pregunta de investigación

La inteligencia artificial (IA) ha comenzado a transformar el campo del diagnóstico por imágenes, particularmente en la detección de fracturas óseas mediante radiografías simples. Diversos softwares basados en algoritmos de aprendizaje profundo, especialmente redes neuronales convolucionales (CNN), han demostrado capacidades notables en contextos experimentales. No obstante, su aplicación clínica enfrenta aún barreras significativas.

Pese a su potencial para asistir en la identificación precisa y rápida de fracturas, estos sistemas automatizados presentan limitaciones técnicas relacionadas con la generalización del modelo a distintas poblaciones, la variabilidad en la calidad de los equipos radiográficos, y la complejidad anatómica de los casos reales. Además, subsisten desafíos éticos y legales en torno a la transparencia del algoritmo, la responsabilidad clínica ante errores diagnósticos, y la posible dependencia del personal médico en herramientas automatizadas.

Aún no existe consenso sobre si estos softwares pueden igualar o superar de manera consistente el desempeño de los radiólogos humanos en condiciones clínicas reales. La mayoría de las investigaciones disponibles han sido desarrolladas en entornos controlados y utilizando bases de datos previamente seleccionadas a parte de que en Panamá la información no es de dominio público, lo que limita la extrapolación de los resultados a la práctica médica cotidiana. Por lo tanto, es necesario evaluar críticamente la efectividad de estas herramientas en escenarios clínicos diversos, identificando tanto sus fortalezas como sus limitaciones.

Planteamiento del Problema

Este contexto plantea la siguiente interrogante: ¿Qué eficiencia tiene la inteligencia artificial para la detección de fracturas en radiografías simples, revisión documental 2025?

1.2 Justificación

Desde las primeras radiografías de Wilhelm Roentgen en 1895, la imagenología ha sido pilar del diagnóstico médico. Con el desarrollo del aprendizaje automático a partir de los años 2000, y del aprendizaje profundo desde 2012, surgieron herramientas que hoy permiten interpretar imágenes radiológicas mediante algoritmos. En los últimos cinco años, su aplicación en traumatología ha despertado especial interés, en especial para asistir en contextos rurales, emergencias o ante escasez de radiólogos.

Esta tesis es relevante para el ámbito de la radiología médica moderna, ya que busca evaluar la aplicabilidad y confiabilidad de tecnologías de IA en un proceso diagnóstico clave: la detección de fracturas. Su análisis permitirá identificar brechas, sugerir mejoras y orientar decisiones clínicas y administrativas sobre su implementación al identificar ventajas y limitaciones.

La IA es una herramienta eficaz para el diagnóstico de fracturas, la cual presenta una alta sensibilidad y especificidad, ayudando especialmente en casos clínicos complejos. Sin embargo, aún existen retos externos para verificar la estandarización de datos, es por esto, que se ha propuesto como un elemento que complementa, pero no reemplaza la decisión final del caso clínico o diagnóstico ante fracturas.

La IA comparado con radiólogos humanos puede reconocer errores recurrentes; evaluar la utilidad clínica del software en diferentes entornos. Y sirve como herramienta complementaria en radiología; brindando una oportunidad de detección confiable para su implementación.

Los resultados de esta investigación están centrados en identificar la sensibilidad, la especificidad, las ventajas y desventajas de la IA ante el diagnóstico de fracturas simples diagnosticadas por rayos X.

Finalmente se espera divulgar los resultados en presentaciones o eventos institucionales y en el documento de trabajo de tesis a partir del repositorio de la universidad.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Analizar la eficiencia de la inteligencia artificial para la detección de fracturas en radiografías simples, revisión documental 2025.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar los softwares que actualmente utilizan la inteligencia artificial como medio diagnóstico de fracturas en radiografías simples.
- Detallar la sensibilidad que ofrece la inteligencia artificial como medio diagnóstico de fracturas en radiografías simples.
- Describir la especificidad que ofrece la inteligencia artificial como medio diagnóstico de fracturas en radiografías simples.
- Enunciar las ventajas de la inteligencia artificial para la detección de fracturas en radiografías simples.
- Indicar las limitaciones de la inteligencia artificial para la detección de fracturas en radiografías simples.

1.4 Delimitación de la línea y Sublínea de investigación

Radiología e imagenología / Innovación tecnológica en diagnóstico médico

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2. Marco Teórico

2.1. Antecedentes

- Estudio de Rajpurkar et al. (2017): Demostraron que el modelo CheXNet logró superar en algunas métricas a radiólogos humanos en la detección de patologías torácicas.
- Estudio de Kim et al. (2021): Mostraron que la IA aumenta la eficiencia diagnóstica, pero también puede generar falsos positivos si no se integra con juicio clínico.
- Informe de la FDA (2022): Sobre aprobación de software de IA para diagnóstico médico, indicando que aún son “adjuntos al diagnóstico clínico” y no reemplazos del juicio humano.
- Normativas de la OMS sobre IA en salud (2021): Subrayan la necesidad de validación clínica antes de implementaciones masivas

2.2. Marco Referencial

En las últimas décadas, los avances tecnológicos han revolucionado múltiples campos del conocimiento, y la medicina no ha sido la excepción. Uno de los desarrollos más significativos ha sido la integración de la inteligencia artificial (IA) en los procesos clínicos, especialmente en el diagnóstico médico por imágenes. Esta tecnología ha abierto nuevas posibilidades en cuanto a precisión, rapidez y asistencia a los profesionales de la salud. Para comprender su impacto actual y futuro, es fundamental primero definir qué se entiende por inteligencia artificial.

A manera de introducción el siguiente artículo titulado **(Qué Es la Inteligencia Artificial: Definición, Historia, Aplicaciones y Futuro, s. f.)** se menciona que:

“La inteligencia artificial es una rama de la ciencia informática que tiene como objetivo diseñar tecnología que emule la inteligencia humana. Esto significa que, mediante la creación de algoritmos y sistemas especializados, las máquinas pueden llevar a cabo procesos propios de la inteligencia humana, como aprender, razonar o autocorregirse. Al contrario de la concepción arcaica que se tenía hace algunos años, en la actualidad se sabe que la IA no busca reemplazar a los humanos,

sino contribuir al desarrollo de sus capacidades y contribuciones. Sus diferentes aplicaciones tienen como meta mejorar tanto el desempeño como la experiencia de sus usuarios. (Qué Es la Inteligencia Artificial: Definición, Historia, Aplicaciones y Futuro, s. f.)

Define a la inteligencia artificial como una disciplina enfocada en reproducir funciones cognitivas humanas a través de algoritmos y sistemas computacionales. Destaca que la IA no pretende sustituir al ser humano, sino potenciar sus habilidades, lo cual rompe con la visión antigua de la IA como una amenaza. Además, subraya que su propósito es mejorar el rendimiento y la experiencia del usuario, dejando claro que su papel actual es colaborativo y complementario, más que competitivo.

Por otro lado, nos habla sobre la Revolución la inteligencia artificial

“La **inteligencia artificial** se considera por los expertos como un fenómeno imparable que está destinado a cambiar la historia de la humanidad. O, mejor dicho, es una opción que ya está provocando cambios de vital importancia para el futuro empresarial y personal. El concepto de aprendizaje automático de las máquinas que se utilizan es un claro ejemplo de cómo la tecnología ha dejado de ser un elemento adjunto para convertirse en imprescindible.” (De Expertos En Ciencia y Tecnología, 2024)

El texto resalta cómo la inteligencia artificial ha pasado de ser una herramienta opcional a convertirse en una tecnología central en la transformación de la sociedad. Subraya que no se trata de un cambio futuro, sino de un proceso ya en marcha, con efectos visibles tanto en el ámbito empresarial como personal. La mención del aprendizaje automático (machine learning) ilustra cómo las máquinas están adquiriendo capacidades que antes eran exclusivas del ser humano, marcando una transición donde la tecnología deja de ser complementaria para convertirse en imprescindible, expresa que la IA no es solo una innovación más, sino un motor de cambio estructural en la historia contemporánea.

El sector salud se beneficia de los avances de la IA debido a su capacidad para mejorar la precisión en diagnósticos, optimizar tratamientos y acelerar la investigación.

“**Diagnóstico médico:** La IA ayuda a identificar patrones y anomalías mediante imágenes y análisis de datos.

Medicina personalizada: Algoritmos de inteligencia artificial que analizan grandes conjuntos de datos genéticos y clínicos para desarrollar tratamientos individualizados.

Desarrollo de fármacos: La IA acelera la investigación y el descubrimiento de nuevos medicamentos, reduciendo los tiempos y costos de desarrollo.” (De Expertos En Ciencia y Tecnología, 2024)

Además, una investigación realizada por Duron et al. En el (2021) titulada “**Evaluación de una ayuda de IA en la detección de fracturas esqueléticas apendiculares en adultos por médicos de urgencias y radiólogos: un estudio diagnóstico transversal multicéntrico**” señala que:

“El sistema de IA se entrenó previamente con 60 170 radiografías obtenidas en pacientes con trauma. Las radiografías se dividieron aleatoriamente en 70% de entrenamiento, 10% de validación y 20% de conjuntos de prueba. Entre 2016 y 2018, se incluyeron retrospectivamente 600 pacientes adultos en los que se habían obtenido radiografías multivista después de un trauma reciente, con o sin una o más fracturas de hombro, brazo, mano, pelvis, pierna y pie, de 17 centros médicos franceses. Se excluyeron las radiografías con calidad que impidiera la interpretación humana o que solo contuvieran fracturas obvias. Se pidió a seis radiólogos y seis médicos de urgencias que detectaran y localizaran fracturas con (n = 300) y fracturas sin (n = 300) la ayuda de un software que resaltara cuadros alrededor de las fracturas detectadas por IA. La sensibilidad, la especificidad y los tiempos de lectura asistida y no asistida se compararon mediante pruebas t de Student pareadas después de promediar los rendimientos de cada lector.” Duron et al. (2021)

Este fragmento describe un estudio clínico retrospectivo riguroso que evaluó la eficacia de un sistema de inteligencia artificial entrenado con más de 60 000 radiografías. Se destaca una metodología sólida basada en la comparación entre diagnósticos humanos con y sin asistencia de IA, abarcando múltiples tipos de fracturas en diferentes regiones del cuerpo. Al involucrar tanto radiólogos como médicos de urgencias, el estudio refleja un enfoque realista y práctico. Además, la inclusión de métricas como sensibilidad, especificidad y tiempo de lectura permite medir no solo la precisión diagnóstica, sino también el impacto operativo del uso de la IA en contextos clínicos reales.

“La inteligencia artificial, comparable al rendimiento médico” realizada por Médica (2022), destaca que:

"Descubrimos que la IA funcionaba con un alto grado de precisión, comparable al rendimiento de los médicos", explica la autora principal del estudio, Rachel Kuo, del Centro de Investigación Botnar del departamento Nuffield de Ortopedia, Reumatología y Ciencias Musculo esqueléticas en Oxford. Asimismo, añade que "es importante destacar que descubrimos que este es el caso cuando la IA se validó utilizando conjuntos de datos externos independientes, lo que sugiere que los resultados pueden ser generalizables a la población en general". Médica (2022)

"Los resultados del estudio apuntan a varias aplicaciones educativas y clínicas prometedoras para la IA en la detección de fracturas", señala Kuo. Además, subraya que "podría reducir la tasa de diagnósticos erróneos tempranos en circunstancias difíciles en el ámbito de las urgencias, incluidos los casos en los que los pacientes pueden sufrir múltiples fracturas. Tiene potencial como herramienta educativa para los médicos noveles". Médica (2022)

Finalmente, un informe titulado **“Prioridad a las radiografías que muestran fracturas gracias a un algoritmo”** por Martín en el (2022), señala que:

“Las fracturas pasadas por alto son una causa común de discrepancia diagnóstica entre la interpretación radiográfica inicial y la lectura final realizada por los radiólogos. Ante esta situación, un grupo de investigadores de la Facultad de Medicina de la Universidad de Boston ha realizado un estudio en el que la inteligencia artificial (IA) puede ayudar a los médicos a detectar fracturas en las radiografías.” (Martín, 2022)

“Asimismo, el investigador principal señala que "la IA puede ser una herramienta poderosa para ayudar a los radiólogos y otros médicos a mejorar el rendimiento del diagnóstico y aumentar la eficiencia. Además, la tecnología tiene el potencial de mejorar la experiencia del paciente en el hospital o la clínica". (Martín, 2022)”

2.3 Marco Legal

- Ley 81 de 2019 (Panamá): Protege los datos personales, fundamentales en el uso de IA con historiales médicos.

- Ley 68 de 2003 (Panamá): Sobre los derechos de los pacientes y consentimiento informado, aplicable al uso de tecnologías médicas.

- Código de Ética Médica: Exige que toda herramienta diagnóstica complemente, pero no sustituya, el juicio médico profesional.

- Recomendaciones de la OMS (2021) sobre el uso ético y legal de la IA en salud, estableciendo que debe existir validación, transparencia y equidad.

CAPÍTULO 3

MARCO METODOLÓGICO

3. Marco metodológico

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de estudio: revisión documental, donde se destaca la recolección de datos a partir de referentes teóricos para la identificar el uso de la IA, las medidas de sensibilidad, especificidad, ventajas y limitaciones.

3.2. Unidades de análisis

Fuentes:

Bases de datos como son Google Académico, Science Direct y Scielo, Pubmed de las cuales se obtendrán artículos y documentos disponibles en línea o en Internet y accesibles a través de páginas de la Universidad Santander.

Palabras claves para consensuar los estudios

Inteligencia artificial

Sensibilidad

Especificidad

Ventajas de la IA

Limitaciones de la IA

Radiografía Simple

3.2.3 Criterios de Inclusión y Exclusión

- **Criterios de Inclusión y Exclusión**

Criterios de Inclusión: Se seleccionarán fuentes que ofrezcan datos directamente relacionados con el tema de estudio en diversos idiomas y se seleccionarán artículos publicados entre los años 2016 al 2024.

Criterios de Exclusión: Se excluirán de la revisión bibliográfica todos aquellos documentos que requieran un pago para su consulta

3.3. Variables

Tabla 1.

Variables

Nombre de la variable	Definición	Autor
Software	Conjunto de programas informáticos diseñados para ejecutar tareas específicas. En este estudio, hace referencia a sistemas de inteligencia artificial aplicados al diagnóstico radiológico, especialmente aquellos basados en redes neuronales convolucionales (CNN), como CheXNet.	Rajpurkar et al. (2017), desarrolladores del modelo CheXNet, un software basado en IA capaz de detectar patologías en radiografías torácicas, demostrando niveles de precisión comparables a los radiólogos humanos.
Sensibilidad	La sensibilidad es la proporción de individuos con una enfermedad que son correctamente identificados por una prueba diagnóstica. Una alta sensibilidad indica que la prueba es eficaz para detectar la condición cuando realmente está presente.	Altman, D. G., & Bland, J. M. (1994). “Diagnostic tests 1: Sensitivity and specificity.”
Especificidad	Capacidad del sistema de IA para identificar correctamente a los pacientes que no presentan fracturas (verdaderos negativos), evitando falsos positivos.	Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021), que subraya la importancia de validar clínicamente los sistemas de IA, especialmente en cuanto a métricas como la sensibilidad y especificidad antes de su implementación a gran escala.
Ventajas	Beneficios o fortalezas que ofrece el uso de IA en radiología, como la rapidez diagnóstica, reducción de errores humanos, utilidad en zonas rurales o con escasez de personal médico, y alta precisión en casos complejos.	FDA (2022), que reconoce a los softwares de IA como herramientas complementarias al diagnóstico clínico, capaces de mejorar la eficiencia del proceso diagnóstico.
Limitaciones	Conjunto de restricciones o debilidades de la IA en el ámbito clínico, como la falta de generalización del modelo, necesidad de bases de datos de alta calidad, riesgos legales y éticos, y dependencia del personal médico.	OMS (2021), que advierte sobre los riesgos de aplicar IA sin validación previa, indicando la necesidad de transparencia algorítmica y supervisión médica.

Nota: Elaboración Propia.

3.4 Delimitación del o los instrumentos

Matriz Bibliográfica (ver anexo)

3.5. Procedimiento

Plan de análisis de los resultados

La implementación de un proceso de cribado será implementada para el logro de los objetivos.

Siguiendo la metodología de revisión bibliográfica, se establecerán criterios claros para la selección de documentos, los cuales incluyen revisión de títulos, resúmenes y, cuando sea necesario, el texto completo para determinar su alineación con los objetivos específicos del estudio según lo establecido en la metodología Prisma.

Se utilizará la licencia Office 365 del equipo de cómputo de un investigador, el cual posee licencia de Word, al igual que los equipos licenciados de la Universidad para el tratamiento de datos y cribado de artículos, como elaboración de informe final o trabajo de tesis.

Metodología (Procedimiento para la recolección de los datos según Prisma)

A partir de los criterios descritos anteriormente se empezará una búsqueda en todas las fuentes de información mencionada, ubicando artículos y documentos más relevantes de la IA en diagnóstico en radiografías simples.

a. Plan de Análisis de los Resultados

- Tiempo de recolección de datos: 6 semanas.
- Se utilizará la herramienta Word para procesamiento de información.

b. Pasos de la búsqueda bibliográfica

- Definición de Preguntas de Investigación: Antes de comenzar la búsqueda, se crucial define claramente la pregunta de investigación.
- Desarrollo del Protocolo de Revisión: El protocolo incluye los objetivos del estudio, criterios de elegibilidad de estudios, fuentes de información, estrategias de búsqueda, proceso de selección de estudios, método de extracción de datos, y procedimientos de análisis.
- Identificación de Fuentes de Información: Selección de bases de datos y otras fuentes de información relevantes para la revisión.
- Elaboración de Estrategias de Búsqueda: Formulación de estrategias de búsqueda utilizando palabras clave y términos de indexación que se relacionen directamente con las preguntas de investigación.
- Selección de Estudios: Aplicación de los criterios de inclusión y exclusión inicialmente a los títulos y resúmenes de los estudios recuperados.
- Extracción de Datos y Evaluación de la Calidad: Extracción de datos relevantes de los estudios seleccionados utilizando un formulario estandarizado y evaluar la calidad de los estudios según los criterios predefinidos para asegurar que los datos son confiables y válidos.
- Análisis y Síntesis de Datos: Análisis de datos extraídos y sintetizar los resultados para responder a las preguntas de investigación.
- Redacción del Reporte a través de la Matriz Bibliográfica: establecer el llenado de la información dado por la revisión Bibliográfica, que incluyen una descripción detallada de cada investigación para el desarrollo de los objetivos.

3.6 Actividades para mantener aspectos éticos

Este proyecto será presentado al Comité de Bioética de la Universidad Santander para su exención. Se garantiza que se respetará en la búsqueda de las bases de datos, los derechos de autor y el propósito de la investigación.

Este estudio se llevará a cabo de manera responsable, asegurando la ética profesional y la confidencialidad de la información, alineándose así con los principios y valores éticos promovidos por la Universidad y el comité de Bioética.

El protocolo de esta investigación cumple con todos los principios éticos y morales que rigen toda investigación como lo son; Declaración de Helsinki, Informe de Belmont, Ley 81 de 2019 sobre Protección de Datos Personales, cumplimiento de la Ley 68/2003 de deberes y derechos de los pacientes, Ley 84/2019 de investigación en salud, Certificado de Buenas Prácticas Clínicas del investigador, además de las normas y criterios éticos establecidos en los códigos nacionales de ética y leyes vigentes.

CAPÍTULO 4
PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS
RESULTADOS

4. Resultados

4.1. Presentación de Resultados

Esta sección es la principal contribución del Artículo, proporcionando la información obtenida de la revisión de 30 artículos científicos incluidos en el **Análisis de la eficiencia de la inteligencia artificial para la detección de fracturas en radiografías simples** desde 2017 hasta 2024. Los datos fueron recopilados y analizados en función del año de publicación, país de origen, campo de estudio, tipo de estudio, metodología, resultados y limitaciones. Manteniéndonos en un período estudiado e identifica una tendencia de aumento continuo de la producción científica sobre IA en el diagnóstico radiológico de fracturas. Más del 70% de las publicaciones se concentran entre 2020 y 2024, lo que corresponde a la proliferación de soluciones de aprendizaje profundo y la liberación de bases de datos abiertas desde su popularización, estas herramientas han dado un crecimiento constante en el ámbito de la medicina.

Tabla 2.

Año de publicaciones

Año	n° de Artículos
2017	2
2018	1
2019	2
2020	5
2021	6
2022	7
2023	5
2024	2
Total	30

Nota: Elaboración propia

En esta investigación pudimos constatar la presencia de países Estados Unidos, Reino Unido, Alemania y China la cual son los países líderes en investigación en esta área, que se distinguen por la generación de modelos clínicamente validados y la colaboración interdisciplinaria.

Tabla 3.**Países de procedencia de los artículos**

País	Nº de Artículos
EE.UU.	10
Reino unido	4
Alemania	3
Francia	2
China	2
Japón	1
Brasil	1
Corea del sur	1
India	1
Otros	4
Total	30

Nota: Elaboración propia

Dentro de la revisión que se llevó a cabo podemos resaltar los Tipos de estudios que se realizaron mayormente validaciones clínicas y metodologías experimentales, seguido de revisiones sistemáticas:

Tabla 4.**Técnicas o Metodología de los artículos.**

Técnicas o Metodología	Nº De Artículos
Validación clínica/experimental	14
Revisión sistemática y metaanálisis	8
Ensayos prospectivos con protocolo	2
Artículos teóricos o éticos-regulatorios	4
Desarrollo de software de código abierto	2
TOTAL	30

Nota: Elaboración propia

No obstante, también pudimos ver los Instrumentos y las técnicas con las que se realizaron las investigaciones y con mucho, el algoritmo más popular fue CNN (redes neuronales convolucionales), que presenta ya modelos funcionales como: ResNet, DenseNet y también YOLOv5. También se identificaron herramientas clínicas similares como BoneView™, que se

utilizaron como parte de prácticas hospitalarias reales, mostrando resultados sorprendentes tales como el modelo cheXnet el cual logro en pruebas de ambiente controlado superar a los médicos generales en prueba de diagnóstico.

La implementación de la IA ha tenido buenos resultados y se ha estudiado en diferentes regiones del cuerpo, sin embargo, las regiones en las que más se utilizaron para las pruebas de estas herramientas son:

Tabla 5.

Región Anatómica

Región Anatómica	N° De Artículos
Extremidades superiores (muñeca, húmero).	9
Extremidades inferiores (fémur, tibia).	6
Columna vertebral (fracturas osteoporóticas).	5
Generalizado o multirregional	10

Nota: Elaboración propia

Estos resultados derivan del uso de herramientas como el BoneView™ y YOLOv5 estos fueron aplicados con gran éxito, resaltando en regiones como la muñeca y el fémur donde se muestra una gran precisión diagnóstica, como lo documentan Sharma (2023) y Kim (2022).

4.2 Resultados

Desde el principio esta investigación hemos estado observando todo lo relacionado con la implementación de la IA para la detección de fracturas en las radiografías y se han mencionado varios sistemas que ya están en funcionamiento en entornos controlados los cuales son:

Tabla 6

Software IA Fracturas simples

Softwares identificados
BoneView (Gleamer)
FracNet
InceptionV3
ResNet-50
Faster R-CNN
YOLOv3
Modelos basados en CNN
OsteoDetect (Imagen Technologies)
FractureDetect (Imagen Technologies)
BriefCase (Aidoc Medical)
HealthVCF (Zebra Medical Vision)
uAI EasyTriage-Rib (Shanghai United Imaging Intelligence)
XRAIT
CheXNet (Stanford University)
GPT-4V (OpenAI)
RoentGen (Stable Diffusion / Stability AI)
CAAI-FDS (conjunto de soluciones comerciales aprobadas)

Nota: Elaboración propia

Los datos observados en esta revisión arrojaron los siguientes intervalos de sensibilidad y especificidad:

Tabla 7

Sensibilidad vs Especificidad

	Rango observado	Promedio aproximado
Sensibilidad	70% - 98.35%	91% - 92%
Especificidad	77% - 99.2%	90% - 91%

Nota: Elaboración propia

4.3. Discusión de Resultados

La interpretación de los estudios en esta revisión apunta al desarrollo sustancial de la IA para el diagnóstico radiológico de fracturas. Está respaldada por su efectividad en múltiples contextos clínicos. Los estudios revisados muestran resultados consistentes en cuanto a su sensibilidad y especificidad. Particularmente en regiones con alto flujo de estudios como las articulaciones de miembro superior, esto demostrado en los casos de uso más prometedores donde ya hemos encontrado que dando una segunda lectura/triage utilizando IA, particularmente en el contexto de radiólogos con recursos limitados y sobrecargados de trabajo. Varios estudios clínicos han demostrado que el rendimiento de estos sistemas puede rivalizar — e incluso superar — al de los médicos generales en tareas de lectura primaria, aunque no reemplazan la interpretación de expertos en casos difíciles.

En los aportes más relevantes de esta revisión es el impacto de la inteligencia artificial como herramienta complementaria para los médicos generales y residentes en ambiente con limitaciones de tiempo y recursos, como destaca ADAMS(2022) Sin embargo, aún quedan varios límites para su aplicación rutinaria: la variabilidad de los datos de entrenamiento, los problemas éticos de responsabilidad diagnóstica y se requieren regulaciones claras, como se ha informado recientemente

en estudios dedicados a las implicaciones ético-legales estos mencionados en los artículos de CHE(2022) Y LEE & PARK (2021).

Los hallazgos son clínicamente prometedores, el protocolo de SHELMERDINE ET AL. (2022) resalta la importancia del uso de estas herramientas en entornos reales con participaciones clínicas de primera línea donde se contemplen demografías de pacientes más amplias y pruebas en tiempo real son obligatorios para la validación de la seguridad y efectividad de estos modelos en el uso rutinario en la práctica clínica, en lo que podemos analizar el sesgo geográfico en la producción de conocimiento también es notable, ya que se origina principalmente en países con una infraestructura altamente tecnificada, lo que contrasta con la necesidad de aplicar y evaluar estos sistemas en lugares como América Latina o África como en los estudios realizados por RAMIRES(2022) Y OLIVEIRA (2022). Estos indican que es posible adaptar estas herramientas a regiones locales si se cuentan con datos representativos y orientación adecuada al personal.

Estos datos llegan a la conclusión de que los algoritmos basados en CNN(RestNet y DenseNet) alcanzan picos de sensibilidad superiores al 90% especialmente cuando integran una segunda lectura, como los estudios realizados por Müller(2023), Navarro(2023) y Ferguson(2021).

algunos de los autores dan la advertencia de no depender demasiado de la IA sin aplicar un juicio clínico recordándonos que estas herramientas deben ser utilizadas como un complemento y no como reemplazo del criterio medico ya que pueden dar falsos positivos dándonos varias Limitaciones frecuentes como son:

- Volumen limitado de muestras clínicas.
- Falta de validación multicéntrica.
- Problemas de generalización en imágenes de baja calidad.
- Fracturas sutiles u ocultas, dislocaciones mínimas pueden ser difíciles de apreciar.
- Falta de validación clínica rigurosa en muchos estudios.
- Necesidad urgente de estandarización de los métodos XAI.

- Poca aplicabilidad inmediata en entornos reales.
- Estudio aún en protocolo (no hay resultados definitivos).
- Número limitado de lectores puede reducir el poder estadístico.
- Alta variabilidad metodológica entre estudios.
- Dependencia de grandes bases de datos anotadas.
- Aumento de falsos positivos en algunos modelos (ej. FracNet).
- Comparación limitada por falta de estandarización entre métricas y protocolos.
- Alta heterogeneidad entre estudios.
- 52 % de los estudios presentaron riesgo alto de sesgo (evaluado con QUADAS-2).
- Algunos modelos aún no son comercialmente accesibles.
- Comparaciones IA vs humanos no siempre fueron en igualdad de condiciones.
- Limitada en interpretación contextual.
- Dificultad con casos atípicos.
- Requiere supervisión humana.
- No se evaluó impacto clínico directo.
- Estudio monocéntrico y retrospectivo.
- IA tiene sensibilidad inferior a radiólogos.
- Exclusión de imágenes de baja calidad.
- Solo evaluó fracturas apendiculares.
- Necesidad de validación prospectiva y en otras regiones anatómicas.
- Mayoría de estudios en fase preclínica.
- Falta evaluación en escenarios clínicos reales.
- Datos extraídos de bases DIAG y ACR DSI AI Central, cuya actualización y cobertura no están garantizadas.
- El financiamiento de la industria pudo influir levemente en los resultados (↑ sensibilidad, ↓ especificidad).

- Riesgos éticos y legales (privacidad, responsabilidad legal).
- Mayoría de estudios realizados en entornos controlados.
- Dificultad para establecer regulaciones globales aplicables a todos los contextos.
- Requiere adaptación local.
- Riesgo en el uso de decisiones automatizadas sin juicio clínico.
- Requiere evidencia clínica robusta para aprobación.
- Aún no está implementada ampliamente en hospitales.
- Faltan estudios sobre costo-beneficio y eficacia a gran escala.

No todo es malo, estas herramientas poseen gran versatilidad en su implementación para el diagnóstico de fracturas dándonos múltiples ventajas dándonos diagnósticos más rápidos y eficientes, una reducción en los márgenes de error humano, especialmente en los turnos extensos o situaciones de urgencia también nos ofrece una gran versatilidad en su implementación en comunidades rurales o comunidades con acceso limitado a especialistas, podemos mencionar más limitaciones la cuales son:

- Promueve la interpretabilidad de los modelos de IA (transparencia).
- Facilita la aceptación clínica.
- Ofrece un marco teórico de clasificación útil para futuras investigaciones.
- Asiste en la identificación de fracturas mediante superposiciones visuales.
- Aumenta la confianza de médicos no especialistas.
- Reduce el tiempo para la lectura diagnóstica.
- Alta sensibilidad en la mayoría de los sitios anatómicos.
- Mejores resultados al integrar IA como herramienta de asistencia.
- Apoyo clínico en contextos con escasez de personal especializado.
- Aplica en diversas patologías.
- Posibilidad de uso autónomo o asistido.
- Incremento significativo en sensibilidad.

- No afectó negativamente la especificidad.
- Aumento de la confianza de residentes.
- Valor educativo especialmente para residentes menos experimentados.
- IA detectó 22 de 26 fracturas no vistas por radiólogos.
- Incluye detección de 3/4 lesiones que requieren estabilización.
- Puede ser útil como lector concurrente para no pasar fracturas por alto.
- Residente y pediatras alcanzan niveles similares a especialistas.
- Precisión y rapidez en los diagnósticos, personalización del tratamiento.

Como ya hemos mencionado a lo largo de esta investigación, estas herramientas poseen una precisión comparable, y a veces superior a la de los médicos generales en el momento de la lectura o análisis inicial de una radiografía y a nuestra observación la ventaja más grande que poseen estas herramientas es de un valor formativo ya que se puede utilizar para brindar capacitación a los estudiantes y médicos en proceso de una licenciatura como la nuestra o en médicos en proceso de especialización.

CONCLUSIONES

Después de revisar el estado de la investigación en el campo de la inteligencia artificial (IA) pudimos observar en los 30 artículos científicos que se publicaron entre el 2017 y 2024 permitió desarrollar los objetivos de esta investigación sobre la aplicación de esta herramienta en la detección de fracturas en radiografías simples.

Con la identificación de múltiples softwares que están en uso como herramientas para este propósito como BoneView™, CheXNet, YOLOv3, ResNet-50, entre otros. Estas herramientas han sido probadas en escenarios clínicos reales o ambientes controlados, brindándonos una vista de su creciente incorporación en el campo de la radiología, observando a su vez datos que evidenciaron que estos algoritmos alcanzan niveles muy altos de sensibilidad, especialmente cuando fue utilizado como herramienta de apoyo para los residentes y médicos generales también dándonos datos específicos donde el porcentaje fue igual de consistente demostrando que estas herramientas no solo detectan fracturas con buenos resultados, si no que mantienen una baja tasa de falsos positivos.

Esta revisión nos permitió descubrir las ventajas que estas herramientas son capaces de brindarnos ya que esta nos aporta una mejor eficacia a la hora de ser diagnósticas evitando o reduciendo el error humano en contextos de lugares de alta carga laboral y la capacidad de ser utilizadas en entornos donde el acceso a especialistas es limitado. Además, proporcionar un gran beneficio a aquellos profesionales que están en formación y residentes. Sin embargo, pudimos identificar limitaciones que están también relacionadas a sus propias ventajas ya que existen modelos de inteligencia artificial que poseen un alto riesgo de “falsos positivos”, además de distintas circunstancias éticas relacionadas también con la responsabilidad legal en compromiso de la privacidad de datos clínicos, sin dejar de lado también la desigualdad que existe en el acceso a estas tecnologías en regiones con menos recursos médicos, nuestra región o en lugares como África.

La inteligencia artificial se nos muestra como una herramienta versátil y poderosa, con un potencial enorme para complementar el diagnóstico en los estudios radiológicos y aunque todavía enfrenta obstáculos técnicos, éticos y de integración, su eficacia demostrada, su utilidad pedagógica y su capacidad de adaptarse a contextos de recursos limitados justifican su promoción para su desarrollo, validación y desarrollo en la práctica clínica.

RECOMENDACIONES

- Promover la investigación aplicada en prácticas clínicas reales en América Latina, con el fin de validar y también adaptar los modelos de IA a los requisitos y considerar las características de la población regional.

- Avanzar en el uso de bases de datos abiertas, diversas y representativas para permitir un entrenamiento ético y robusto de algoritmos, reduciendo el sesgo en la detección de fracturas.

- Definir regulaciones y protocolos de aprobación que garantizan la confiabilidad, seguridad y responsabilidades de las herramientas de IA cuando se utilizan para diagnósticos radiológicos.

- Fomentar la educación continua de médicos y tecnólogos en alfabetización digital y comprensión de los resultados de sistemas automatizados para que se integren de manera efectiva y crítica.

- Fomentar asociaciones entre universidades, hospitales y empresas tecnológicas para crear soluciones de IA específicas para el contexto, accesibles y sostenibles a lo largo del tiempo.

- Evaluar continuamente las consecuencias clínicas, económicas y éticas de la integración de inteligencia artificial, para confirmar que no sustituye el juicio clínico del radiólogo, sino que lo complementa y mejora.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS/ INFOGRAFÍAS

- Adams, M., Chen, W., Holecldorf, D., McCusker, M. W., Howe, P. D., & Gaillard, F. (2019). Computer-aided diagnosis in radiology: Does it improve diagnostic accuracy and efficiency? *Clinical Radiology*, 74(5), 338–345. [https://www.clinicalradiologyonline.net/article/S0009-9260\(19\)30073-X/fulltext](https://www.clinicalradiologyonline.net/article/S0009-9260(19)30073-X/fulltext) 14
- Alcolea, J. L., Moreno, A. D., Alfonso, A. F., Alonso, R. C., Castellanos, D. G., De Vega, V. M., ... & Vázquez, C. A. (2024). Soy urgenciólogo; ¿Me fío de lo que me dice la Inteligencia Artificial sobre una radiografía de tórax? *Seram*, 1(1). <https://www.piper.espacio-seram.com/index.php/seram/article/view/9776>
 - Cai, J., Lu, L., Xie, Y., Xing, F., Yang, L., & Shen, D. (2018). Panoramic fracture detection in X-ray images via deep learning. *Medical Image Analysis*, 48, 112–122. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-75653-5>
 - Chen, H., Zhang, Y., Zhang, W., Liao, P., Li, K., & Hu, W. (2022). Application of deep learning to radiographic fracture detection: A systematic review and metaanalysis. *Skeletal Radiology*, 51, 1307–1320. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10606060/>
 - De Expertos En Ciencia y Tecnología, E. (2024, 14 octubre). Inteligencia artificial, ventajas y desventajas. VIU Universidad Online. <https://www.universidadviu.com/es/actualidad/nuestros-expertos/inteligenciaartificial-ventajas-y-desventajas>
 - Duron, L., Ducarouge, A., Gillibert, A., Lainé, J., Allouche, C., ChereL, N., Zhang, Nitche, N., Lacave, E., Pourchot, A., Felter, A., Lassalle, L., Regnard, N., & Feydy, A. (2021). Assessment of an AI Aid in Detection of Adult Appendicular Skeletal Fractures by Emergency Physicians and Radiologists: A Multicenter Crosssectional Diagnostic. <https://pubs.rsna.org/doi/full/10.1148/radiol.2021203886>
 - Ghosh, R., Ghosh, K., & Reddy, R. (2020). Ethical and legal challenges in AIbased diagnostic imaging. *Journal of Digital Imaging*, 33, 1323–1330. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7332220/>
 - Hwang, E. J., Park, S., Jin, K. N., Im, S., Kim, H., & Nam, J. (2019). Development and validation of a deep learning-based automated detection algorithm for major thoracic diseases on chest radiographs. *JAMA Network Open*, 2(3), e191095. <https://jamanetwork.com/journals/jamanetworkopen/fullarticle/2728630>

- Kim, D. H., & MacKinnon, T. (2018). Artificial intelligence in fracture detection: Transfer learning from deep convolutional neural networks. *Clinical Radiology*, 73(5), 439–445. [https://www.clinicalradiologyonline.net/article/S0009-9260\(17\)30535-4/fulltext](https://www.clinicalradiologyonline.net/article/S0009-9260(17)30535-4/fulltext) 15
- Lindsey, R., Daluiski, A., Chopra, S., Lachapelle, A., Mozer, M., Sicular, S., ... Hegde, R. (2018). Deep neural network improves fracture detection by clinicians. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(45), 11591–11596. <https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.1806905115>
- Martín, I. (2022, 3 enero). Algoritmo ahorra trabajo al detectar fracturas al instante. *Redacción Médica*. <https://www.redaccionmedica.com/secciones/radiologia/prioridad-a-lasradiografias-que-muestran-fracturas-gracias-a-un-algoritmo-2402>
- Médica, R. (2022, 29 marzo). Sensibilidad del 92% de IA en fracturas óseas. *Redacción Médica*. <https://www.redaccionmedica.com/secciones/radiologia/lainteligencia-artificial-logra-detectar-el-92-de-las-fracturas-oseas-7387>
- Meza, N. G., Mauricio, E. S. R., & Jimbo, J. D. B. (2025). Efectividad de la inteligencia artificial en el diagnóstico médico por imágenes: Una revisión sistemática. *Sapiens in Artificial Intelligence*, 2(2). https://revistasapiensec.com/index.php/Sapiens_in_Artificial_Intelligen/issue/archiv e •
- Oakden-Rayner, L. (2020). Exploring large-scale public medical image datasets. *Academic Radiology*, 27(1), 106–112. [https://www.academicradiology.org/article/S1076-6332\(19\)30494-5/abstract](https://www.academicradiology.org/article/S1076-6332(19)30494-5/abstract)
- Qué es la inteligencia artificial: definición, historia, aplicaciones y futuro. (s. f.). *Tableau*. <https://www.tableau.com/es-mx/data-insights/ai/what-is>
- Ray Romero, A. L. K., & Villegas Caval, C. (2019). Implicancia de la Inteligencia Artificial en la disminución del error diagnóstico radiológico. Un metanálisis. <https://repositoriobibliotecas.uv.cl/serveruv/api/core/bitstreams/6cba71da-c7c9-41d0-b5fd-9225b0885409/content>
- Tang, A., Tam, R., Cadrin-Chênevert, A., Guest, W., Chong, J., Barfett, J., ... Gray, B. (2018). Canadian Association of Radiologists white paper on artificial intelligence in radiology. *Canadian Association of Radiologists Journal*, 69(2), 120–135. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1016/j.carj.2018.02.002>
- Topol, E. J. (2019). High-performance medicine: The convergence of human and artificial intelligence. *Nature Medicine*, 25, 44–56. <https://www.nature.com/articles/s41591-018-0300-7> 16

- Wang, S., Wang, R., Su, W., Zhang, M., Li, X., & Zhang, H. (2021). Artificial intelligence in orthopedics: Insights, challenges, and future directions. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9, 619–626. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12188104/>
- Zhou, S. K., Greenspan, H., Davatzikos, C., Duncan, J. S., Van Ginneken, B., Madabhushi, A., ... Summers, R. M. (2021). A review of deep learning in medical imaging: Imaging traits, technology trends, case studies with progress highlights, and future promises. *Proceedings of the IEEE*, 109(5), 820–838. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9363915>

ANEXOS

Anexo 1. Cronograma de actividades

	Actividad	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4			
		Semanas:				Semanas:				Semanas:				Semanas:			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Código de inscripción V. Invest. U Santander																
2.	Sometimiento a CBI U Santander																
3	Búsqueda bases de datos																
4	Recopilación y tabulación de datos																
5	Compilación información																
6	Preparación de presentación y sustentación																


Nota: Elaboración propia

Anexo 2. Presupuesto


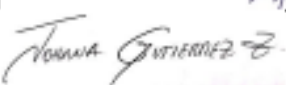
Concepto	Valor Solicitado (B/.)	Valor Aprobado (B/.)
Costos del proyecto	-	-
Personal: Profesor de Español	B/.100.00	B/.100.00
Costos de oficina: Internet, Impresión, luz, software, PC	B/500.00	B/520.00
Elementos de consumo: Papelería, Fotocopias	B/ 20.00	B/ 20.00
Revisión por el comité de bioética de la universidad Santander	B/ 25.00	B/ 25.00
Subtotal	B/ 645.00	B/ 645.00
Imprevistos y gastos administrativos: 10%	B/ 64.5.00	B/ 64.5.00
Valor total en balboas (B/.):	B/709.5	B/709.5

Nota: Elaboración propia

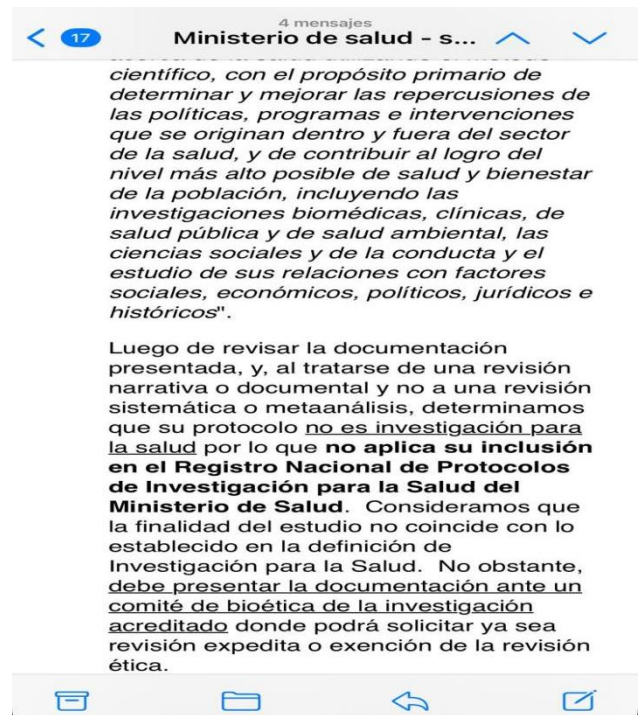
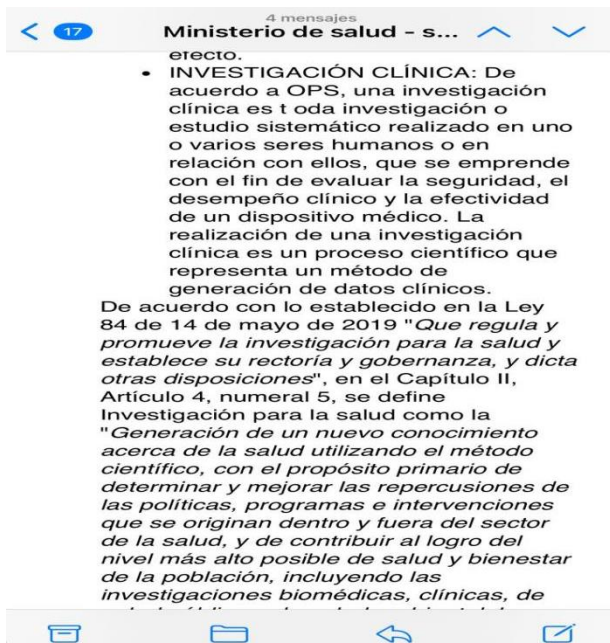
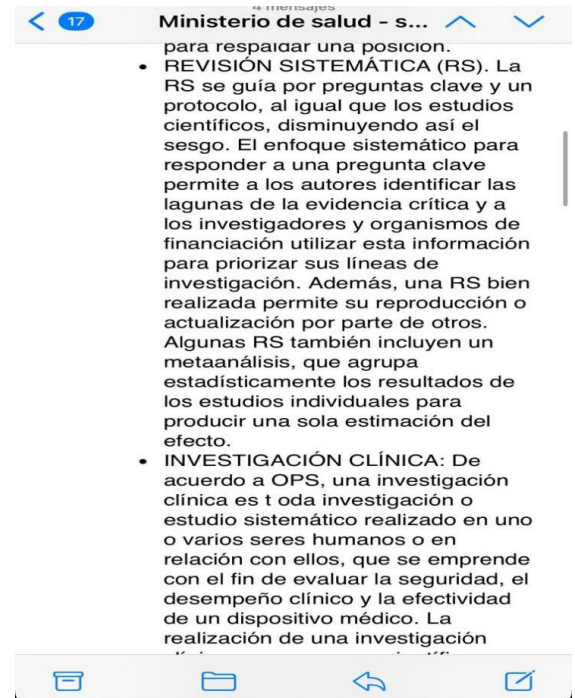
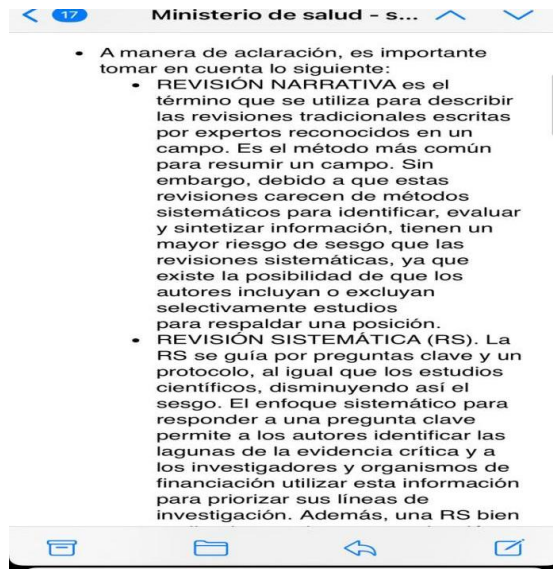
Anexo 3. Inscripción Proyecto

	VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN	
	FR-VIE-05 Inscripción propuesta trabajo de grado	Fecha: 13-Ene-2022 Versión:0.1 Página 1 de 1

INSCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN COMO OPCIÓN ATRABAJO DE GRADO

1. Título del Proyecto:	Análisis de softwares de inteligencia artificial para la detección de fracturas en radiografías simples, revisión documental 2025.
2. Facultad	Ciencias de la salud.
3. Programa o carrera:	Licenciatura en Radiología e imágenes diagnósticas.
4. Unidad Ejecutora:	Universidad Santander.
5. Director Técnico del Estudio:	Marisol Martínez, CIP: 8-396-458
6. Asesor Metodológico del Estudio:	Johana Gutiérrez.
7. Investigador (es):	
7.1. Nombre:	Javier Vargas
7.2. Correo Electrónico:	vargas@mail.usantander.edu.pa
7.3. Número de teléfono:	6569-0438
7.4. Nombre:	Gilberto Iglesias
7.5. Correo Electrónico:	giglesias@mail.usantander.edu.pa
7.6. Número de teléfono:	6700-2904
7.7. Nombre:	Carlos Tuñón
7.8. Correo Electrónico:	ctunon@mail.usantander.edu.pa
7.9. Número de teléfono:	6370-0670
8. Duración del Proyecto:	4 meses
9. Fecha Probable de Inicio:	Mayo del 2025
10. Fecha Probable de Terminación:	Agosto del 2025
11. Fecha de Aprobación de la Coordinación de Investigación:	24 de junio de 2025
12. Código del Proyecto:	LRID-2025-06-124
13. Firma del Decano o Coordinador Académico del Programa	
14. Firma del Coordinador o Vicerrector de Investigación	

Anexo 4. Registro Resegis



narrativa o documental y no a una revisión sistemática o metaanálisis, determinamos que su protocolo no es investigación para la salud por lo que **no aplica su inclusión en el Registro Nacional de Protocolos de Investigación para la Salud del Ministerio de Salud**. Consideramos que la finalidad del estudio no coincide con lo establecido en la definición de Investigación para la Salud. No obstante, debe presentar la documentación ante un comité de bioética de la investigación acreditado donde podrá solicitar ya sea revisión expedita o exención de la revisión ética.

De acuerdo con lo establecido en la Ley 83 de 2012, "*los trámites en línea tendrán la misma validez que los realizados de forma presencial*" y con miras a la mayor agilización de este proceso regulatorio, fue establecido mediante Resolución Ministerial No. 512 de 2019, artículo 7 que **puede presentar esta comunicación electrónica como constancia del cumplimiento de este requisito, ante el Comité de Bioética de Investigación.**



Anexo 5. Carta de aprobación de Exención por Comité Bioética



CBI-USantander-020-2025
Panamá, 23 de julio de 2025

Javier Vargas
Gilberto Iglesias
Carlos Tuñón
Investigadores Principales.

Ciudad, -
Respetados Investigadores:

Luego de revisada la información referente al protocolo: **"Análisis de softwares de inteligencia artificial para la detección de fracturas en radiografías simples, revisión documental 2025"**. Se estableció que el mismo no requiere aprobación regulatoria por parte de un comité de bioética.

La decisión obedece a que su estudio **NO** clasifica como una "investigación con seres humanos". Se considera que un proyecto de investigación clasifica como "investigación con participantes humanos" cuando incluye: "Cualquier actividad de ciencias sociales, biomédica, conductual o epidemiológica que involucre seres humanos e implique recopilación, análisis sistemático y/o uso de sus tejidos, sus muestras y sus datos individualmente identificables con el objeto de generar nuevos conocimientos".

Por lo anterior lo exhortamos a seguir adelante con su proyecto y mantener la presente nota disponible en caso de publicación.

Saludos y éxitos.

Dra. Nydia Flores Chiari,
Presidenta
CBI-USantander



NFCH/ngbf

Anexo 6. Carta revisión profesor español y Diploma

Panamá, 4 de agosto de 2025.

Señores: UNIVERSIDAD SANTANDER

E. S. D.

Estimados Señores:

La (El) suscrita (o) notifica (o) haber revisado por solicitud de los estudiantes :

Gilberto, Iglesias
Carlos, Tufón
Javier, Vargas

Trabajo de Grado

**Análisis de la eficiencia de la inteligencia artificial para la detección
de fracturas en radiografías simples, revisión documental 2025**

Y a su vez doy fe que el documento cumple satisfactoriamente con todos los requisitos formales de ortografía y de redacción exigidos por el idioma español.

Atentamente,


Firma del profesor de
Español

UNIVERSIDAD DE PANAMA

LA FACULTAD DE

Humanidades

EN VIRTUD DE LA POTESTAD QUE LE CONFIEREN LA LEY Y EL ESTATUTO UNIVERSITARIO,
HACE CONSTAR QUE

Mixia O. Guevara Medina

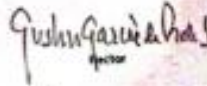
HA TERMINADO LOS ESTUDIOS Y CUMPLIDO CON LOS REQUISITOS
QUE LE HACEN ACREEDOR AL TITULO DE

Licenciada en Humanidades con Especialización en Español

Y EN CONSECUENCIA, SE LE CONCEDE TAL GRADO CON TODOS LOS DERECHOS,
HONORES Y PRIVILEGIOS RESPECTIVOS, EN TESTIMONIO DE LO CUAL SE LE EXPIDE
ESTE DIPLOMA EN LA CIUDAD DE PANAMA A LOS *seis*
DIAS DEL MES DE *Febrero* DE MIL NOVECIENTOS *noventa y ocho*


Secretaría General
Diploma 24401
Identificación Personal 8-330-575


Rector
Cacano


Profesor

 **REPÚBLICA DE PANAMÁ**
DOCUMENTO DE IDENTIDAD

**Nixia Orisabed
Guevara Medina**
NOMBRE USUAL:

FECHA DE NACIMIENTO: 24-mar-1970
LUGAR DE NACIMIENTO: PANAMÁ
SEXO: F TIPO DE SANGRE: O+
EXPEDIDA: 18-feb-2025 EXPIRA: 18-feb-2040


8-330-575

Nquevara

Anexo 7. Cartilla ilustrativa IA en Fracturas simples



Universidad Santander
Reconocimiento Institucional por el COEADORA, según Resolución 23
publicada en Gaceta Oficial el 04/01/2017 - República de Panamá

LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA DETECCIÓN DE FRACTURAS EN RADIOGRAFÍAS SIMPLES,

AUTOR/ES:
Dra. Johana Gutiérrez Zehr
Gilberto Iglesias
Carlos Tuñón
Javier Vargas



INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la inteligencia artificial (IA) ha adquirido una nueva relevancia en el sector de la salud, particularmente en el campo de la imagenología diagnóstica. El ejemplo más emocionante de estos sistemas es la detección automática de fracturas óseas en radiografías simples con aprendizaje profundo (especialmente redes neuronales convolucionales, CNN). Cuando se implementa en el entorno clínico, esta tecnología podría optimizar el tiempo de diagnóstico, así como disminuir los errores humanos, mejorar la precisión del diagnóstico y ofrecer asistencia en entornos donde los recursos radiológicos especializados son limitados.



"La inteligencia artificial se considera por los expertos como un fenómeno imparabable que está destinado a cambiar la historia de la humanidad. O, mejor dicho, es una opción que ya está provocando cambios de vital importancia para el futuro empresarial y personal. El concepto de aprendizaje automático de las máquinas que se utilizan es un claro ejemplo de cómo la ha dejado de ser un elemento adjunto para convertirse en tecnología imprescindible." (De Expertos En Ciencia y Tecnología, 2024)



INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La inteligencia artificial (IA) ha comenzado a transformar el campo del diagnóstico por imágenes, particularmente en la detección de fracturas óseas mediante radiografías simples. Diversos softwares basados en algoritmos de aprendizaje profundo, especialmente redes neuronales convolucionales (CNN), han demostrado capacidades notables en contextos experimentales. No obstante, su aplicación clínica enfrenta aún barreras significativas.



ALGORITMOS UTILIZADOS

estos son los sistemas mas utilizados en los estudios clínicos como herramientas de apoyo

 BoneView

 FracNet

 ultralytics
YOLOv3

Vista de hueso (Gleamer)

FracNet

YOLOv3

LIMITACIONES

- Volumen limitado de muestras clínicas.
- Falta de validación multicéntrica.
- Problemas de generalización en imágenes de baja calidad.
 - Fracturas sutiles u ocultas, dislocaciones mínimas pueden ser difíciles de apreciar.
- Falta de validación clínica rigurosa en muchos estudios.
 - Necesidad urgente de estandarización de los métodos XAI.
 - Poca aplicabilidad inmediata en entornos reales.



VENTAJAS

- Promueve la interpretabilidad de los modelos de IA (transparencia).
- Facilita la aceptación clínica.
- Ofrece un marco teórico de clasificación útil para futuras investigaciones.
- Asiste en la identificación de fracturas mediante superposiciones visuales.
- Aumenta la confianza de médicos no especialistas.
- Reduce el tiempo para la lectura diagnóstica.
- Alta sensibilidad en la mayoría de los sitios anatómicos.



DATOS IMPORTANTES

Estos estudios se realizan en ambientes controlados, pero todo a punta a que estos algoritmos están apuntando a que se utilicen con herramientas de apoyo ya que han mostrado un rendimiento suficiente para quedar a la altura de especialistas dando de resultados que oscilan en rangos de 70% al 98.5% de sensibilidad, lo cual lo hace ideal para situaciones de alto flujo de trabajo.



PAISES QUE APOYAN ESTAS HERRAMIENTAS

la presencia de países Estados Unidos, Reino Unido, Alemania y China la cual son los países líderes en investigación en esta área, que se distinguen por la generación de modelos clínicamente validados y la colaboración interdisciplinaria



CONCLUSIÓN

-la inteligencia artificial es una herramienta que con los años va a ir tomando mas relevancia a medida que va avanzando las distintas tecnologías y mas en un ambito que evoluviona de manera tan acelerada como lo es la medicina, por ende estas deben sen tomadas como un apoyo a los profesionales que día con día ejercen la tarea de ejercer los servicios de la salud





BIBLIOGRAFÍA

- <https://bmjopen.bmj.com/content/bmjopen/14/9/e086061.full.pdf>
- <https://www.cureus.com/articles/204744-una-revision-sobre-el-uso-de-inteligencia-artificial-en-la-deteccion-de-fracturas#!/>
- <https://pubs.rsna.org/doi/10.1148/radiol.211785#>
- <https://herasmomeoz.gov.co/wp-content/uploads/2024/03/PROYECTO>
- <https://herasmomeoz.gov.co/wp-content/uploads/2024/03/PROYECTO>



GRACIAS



Anexo 8: correo de sometimiento del artículo a la revista

Gilberto Iglesias:

Gracias por enviar el manuscrito, "El ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA DETECCIÓN DE FRACTURAS EN RADIOGRAFÍAS SIMPLES, REVISIÓN DOCUMENTAL 2025" a Saluta. Con nuestro sistema de gestión de revistas en línea, podrá iniciar sesión en el sitio web de la revista y hacer un seguimiento de su progreso a través del

Anexo 8. Matriz Bibliográfica

	/Título del artículo documento	Fuente donde aparece publicado	Autores	Año de Publicación	País	Disciplina	Instrumentos/Técnica /a Procedimientos realizados	Resultados	Conclusiones	Limitaciones del estudio	Recomendaciones para futuras investigaciones	Referencia Link
.1	Inteligencia artificial explicable (XAI) en el análisis de imágenes médicas basado en aprendizaje profundo	science direct	Bajo HM van der Velden, Hugo J Kuijff, Kenneth G. A Gilhuijs, Max A Viergever	julio de 2022	Países Bajos	Radiología e informática médica.	<p>Redes neuronales profundas (Deep Learning)</p> <p>Técnicas de IA explicable (XAI)</p> <p>Procedimientos Realizados</p> <p>Revisión sistemática de más de 200 artículos científicos publicados.</p> <p>Clasificación de los estudios según:</p> <p>Tipo de explicación XAI.</p> <p>Modalidad de imagen.</p> <p>Tarea médica (diagnóstico, localización, etc.).</p> <p>Nivel de supervisión.</p> <p>Evaluación crítica sobre la utilidad clínica de las explicaciones.</p>	<p>Se evidenció un rápido crecimiento del uso de XAI en imágenes médicas. La mayoría de los estudios carecen de validación clínica rigurosa.</p> <p>Se identificó una necesidad urgente de estandarización en la evaluación de métodos XAI.</p> <p>Se propuso un marco teórico para clasificar y analizar futuras investigaciones.</p>	<p>Este artículo revisó 223 artículos que utilizan inteligencia artificial explicable (XAI) en el análisis de imágenes médicas basado en aprendizaje profundo clasificados según un marco de XAI y categorizados según la ubicación anatómica y <u>la técnica de imagen</u>.</p> <p>El artículo analizó cómo evaluar la XAI, las críticas actuales sobre la XAI y las perspectivas futuras de la XAI en el análisis de imágenes médicas.</p>	<p>Derivamos nuestro marco XAI de los marcos de Adadi y Berrada (2018) y Murdoch et al. (2019). También existen otros marcos, como el de Kim et al. que divide XAI en explicación pre-, durante- y post-modelo. La explicación durante y post-modelo son capturadas por nuestro marco XAI con explicación basada en modelo y post hoc. La explicación pre-modelo se enfoca principalmente en la estructura de un conjunto de datos, como inspeccionar valores atípicos</p>	<p>https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361841522001177?download&filename=95fa9a3ca&2f7a1a4e</p>	

.2	Evaluación del impacto del análisis de imágenes asistido por inteligencia artificial en la precisión diagnóstica de los médicos de primera línea en la detección de fracturas en radiografías simples (FRACT-AI): protocolo para un estudio observacional prospectivo	Bmj journal	Alex Novak, Max ,Hollowday Abdala Trinidad Espinosa ,Morgado ,Jason Oke Susan Shelmerdine Nick , ,Woznitza David ,Metcalfe Matthew L ,Costa Sarah Wilson, Jian ,Shen Kiam ,James Vaz Nattakarn Limphaibool Jeanne , ,Ventre Daniel Jones, Lois ,Greenhalgh Fergus ,Gleeson Nick ,Welch Alpesh ,Mistry Natasa ,Devic ,James Teh .Sarim Ather	de 13 diciembre de 2022	Reino Unido	Radiología e Emergencias Médicas	de IA comercial: BoneView (Gleamer, Paris), que añade superposiciones marcando posibles fracturas. Visualizador DICOM web seguro para que los clínicos interpreten imágenes con y sin asistencia de IA. Recolección de 500 radiografías (excluyendo cráneo, cara y columna cervical), balanceadas entre fracturas presentes y ausentes.	Evaluación de la efectividad de la IA en: Mejorar la precisión diagnóstica de fracturas. Incrementar la confianza de los clínicos al interpretar radiografías. Reducir el tiempo necesario para completar los informes.	El estudio FRACT-AI busca proporcionar evidencia robusta sobre si el uso de inteligencia artificial ,(IA) especificamente el software BoneVie** ,**w mejora la** precisión ,diagnóstica la confianza y la eficiencia de los clínicos de primera línea al detectar fracturas en radiografías **simples dentro del entorno del sistema de salud del Reino Unido ,(NHS)	El número reducido de lectores podría disminuir el poder estadístico para comparar entre grupos .profesionales		https://bmjopen.bmj.com/content/bmjopen/14/9/full.pdf.e086061f
.3	El papel de la inteligencia artificial en la identificación y evaluación	mdpi	Andrés Tieu1 Ezriel, Kroen2 Yonaton, Kadish2	de 29 marzo de 2024	Nueva York NY	Ingeniería biomédica y radiología del sistema musculoesquelético	Instrumentos / Técnica Modelos de deep learning, principalmente redes neuronales convolucionales (CNN), entrenadas	Los sistemas de IA alcanzan resultados comparables o superiores a radiólogos en la detección de fracturas (ej. AUC de 0,87 en fracturas	Los modelos de aprendizaje profundo para la detección de fracturas óseas en	Existe alta variabilidad entre estudios, con diferentes modelos y métricas, lo que dificulta la comparación.		https://www.mdpi.com/2306-338/4/11/5354

	de fracturas óseas		Zelong, Liu1ORCID O ,Nikhil Patel1ORCID DO Alejandro, Zhou1ORCID DO ,Alara Yilmaz3 Stephanie, Lee3 yTimoteo Deyer		,10029 EE. UU		con grandes bases de datos de imágenes médicas. Técnicas específicas: InceptionV3, ResNet-50, Faster R-CNN, YOLOv3, entre otras arquitecturas avanzadas para detección y segmentación de fracturas Evaluación sistemática: métricas clásicas (precisión, sensibilidad, especificidad, AUC, Dice, IoU) Procedimientos realizados Revisión sistemática de literatura: se consultaron bases como PubMed, IEEE y Scopus hasta el 23 de agosto de 2023; se seleccionaron 14 estudios relevantes entre más de 26 filtrados Análisis por localización anatómica: se evaluó AI para detectar fracturas de tobillo, muñeca, cadera, costillas, entre otras, comparando modelos con lectura humana	escapoides; sensibilidad y especificidad superiores al 90 % en costillas) MDPI. En modelos como FracNet, se observó una reducción del 86 % en tiempo de lectura, con sensibilidad del 92,9 % en CT de costillas, aunque con mayor tasa de falsos positivos MDPI. Ventajas adicionales: incremento en eficiencia clínica, integración comercial de herramientas ya disponibles, pero también retos importantes como la necesidad de grandes conjuntos anotados, validación multicéntrica y reducción de falsos positivos	,tobillo ,muñeca cadera y costillas han alcanzado un rendimiento comparable o superior al de los lectores .clínicos	Además, pocos cuentan con validación externa, y la mayoría dependen de grandes bases de datos anotadas, lo que limita su aplicación clínica.		
4	Inteligencia artificial en productos comerciales de					Radiología médica, inteligencia artificial y	CAAI-FDS: Soluciones comerciales de inteligencia artificial	Se analizaron 17 estudios que incluyeron 38,978	Este metanálisis proporciona una	Una limitación clave es que se utilizaron las bases de datos		https://www.nature.com/articles/s41598-024-73058

	detección de fracturas: una revisión sistemática y metanálisis de la precisión de las pruebas diagnósticas	scientific report	Julio ,Husarek ,Silvan Hess Sam ,Razaeian .Thomas D ,Ruder Stephan ,Sehmisch Martín Müller, y Emmanouil .Liidakis	de 04 octubre de 2024	EE. UU. y Europa.	salud pública.	certificadas para la detección de fracturas en radiografías convencionales (CR). Estas herramientas están aprobadas por la FDA o cuentan con marca CE. Se analizaron estudios publicados revisados por pares que evaluaron la precisión diagnóstica de estos productos en diferentes regiones anatómicas (como costillas, columna, etc.). Se usaron métricas de rendimiento estandarizadas como sensibilidad, especificidad y análisis por subgrupos. Comparación entre evaluadores: IA independiente, humanos sin ayuda de IA y humanos con asistencia de IA.	radiografías con 8,150 fracturas. Las soluciones de IA independientes mostraron buenas a excelentes sensibilidades (>90%) y especificidades moderadas (80–90%), salvo en fracturas de costillas y columna, donde el rendimiento fue inferior. La combinación de IA con evaluadores humanos mejoró significativamente la especificidad. La financiación industrial tuvo un impacto leve: sensibilidad ligeramente mayor (+5%) pero especificidad algo menor (–4%). En general, el mejor rendimiento diagnóstico se logra cuando la IA apoya al evaluador humano.	evaluación exhaustiva de la precisión diagnóstica de la CAAI-FDS en imágenes de CR mediante la síntesis de datos de múltiples .estudios Nuestro estudio aporta varias conclusiones clave y recomendaciones prácticas que pueden orientar la toma de decisiones de profesionales clínicos y responsables políticos	DIAG y ACR .DSI AI Central Esta elección se basó en la transparencia y la buena visión general de las soluciones de IA disponibles, pero aún no está claro con qué frecuencia se actualizan estas bases de datos ni qué tan .completas son	utm_source=c?8 hatgpt.com#Sec 22
.5	A Review on the" Use of Artificial Intelligence in Fracture :"Detection	International Journal of Scientific Research ,in Science Engineering and	Aayushi Bhatnagar , Aditya L. Kekatpure , Vivek R. Velagala , Aashay Kekatpure	2021	Vancouver ,ver canada	La disciplina es <i>Radiología ortopédica</i>	La IA, especialmente mediante CNN, puede detectar fracturas con eficacia comparable a la de cirujanos ortopédicos y radiólogos. Mejora la precisión, rapidez y consistencia en el	Las CNN pueden operar con eficacia similar a la de radiólogos y cirujanos ortopédicos expertos en la detección de fracturas. La IA mejora la precisión, velocidad	Se plantea que la IA puede superar a los humanos en muchas tareas estadísticas basadas en	Riesgos éticos y legales, como ,privacidad anonimato y responsabilidad .del algoritmo Falta de transparencia en el razonamiento	https://www.cureus.com/articles/204744-a-review-on-the-use-of-artificial-intelligence-in-fracture-detection#!/

		Technology y				<p>diagnóstico radiológico de fracturas. Reduce errores humanos, ayuda en la toma de decisiones clínicas y disminuye la variabilidad entre observadores. La integración IA-radiología ortopédica es prometedora frente a la escasez de radiólogos y la creciente demanda de diagnóstico por imágenes.</p>	<p>y consistencia en el diagnóstico, y puede ayudar a reducir errores humanos. Se resalta el potencial de la IA para aliviar la carga sobre el personal médico debido a la escasez de radiólogos y la creciente demanda diagnóstica.</p>	<p>datos. Sin embargo los mayores desafíos serán resolver los problemas legales y manejar grandes volúmenes de datos de manera eficaz</p> <p>Los médicos obtendrán más beneficios al adoptar la IA que al rechazarla incluso con sus limitaciones actuales. La IA no reemplaza el rol del radiólogo sino que actúa como una herramienta de apoyo para reforzar decisiones diagnósticas.</p>	<p>de las decisiones tomadas por IA</p> <p>Las bases de datos usadas para entrenar IA pueden contener errores humanos etiquetado) .(incorrecto</p>			
.6	Algoritmos de aprendizaje profundo para detectar fracturas: una revisión	RSNA	Jérémie F. Cohen Matthew DF McInnes	de 29 marzo		radiología e inteligencia artificial	Se realizó una revisión sistemática y metaanálisis siguiendo las guías PRISMA-DTA.	Se incluyeron 42 estudios con 55 061 imágenes, de las cuales 37 correspondían a	La inteligencia artificial (IA) y los médicos	Alta heterogeneidad entre los estudios incluidos (diferentes		https://pubs.rsna.org/doi/10.114.radiol.211785/8#

	sistemática muestra resultados prometedores pero muchas limitaciones			de 2022	Reino Unido	aplicada a la detección de fracturas	Se buscaron estudios en varias bases de datos (PubMed, Embase, etc.) hasta julio de 2021. Se incluyeron estudios que comparaban el rendimiento diagnóstico de modelos de inteligencia artificial (IA) con el de médicos humanos para la detección de fracturas en radiografías y tomografías computarizadas. Se evaluó la sensibilidad y especificidad usando datos de validación interna y externa. El riesgo de sesgo fue analizado mediante la herramienta QUADAS-2. Se aplicaron modelos estadísticos de efectos aleatorios para el metaanálisis.	rayos X y 5 a TC PubMed. Sensibilidad y especificidad (validación interna): IA—92 % (IC 95 %: 88-93), médicos—91 % (85-95); IA—91 % vs medicina—92 % en validación externa PubMed. No se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre el desempeño de IA y clínicos pubs.rsna.org+2PubMed+2PubMed+2PubMed+2. Un 52 % de los estudios presentaron riesgo alto de sesgo; se identificaron fuentes de heterogeneidad como tipo de fractura y calidad del estudio PubMed. Conclusión: la IA es no inferior a los clínicos en detección de fracturas y tiene potencial como herramienta complementaria en práctica clínica	obtuvieron un desempeño diagnóstico comparable en la detección de fracturas, lo que sugiere que la tecnología de IA es prometedora como complement o de diagnóstico en la práctica clínica futura	algoritmos, regiones anatómicas, metodologías). Falta de estudios clínicos prospectivos con validación externa robusta. Posible sesgo de publicación al incluir solo estudios revisados por pares. Muchos modelos de IA evaluados aún no están disponibles comercialmente. Algunas comparaciones entre IA y humanos no fueron directas o en igualdad de condiciones.		
.7	El futuro de la inteligencia artificial en la identificación e interpretación de	Radiología 2.0	dr. oscar parada	2023	Colombia	Radiología e Inteligencia Artificial aplicada a diagnóstico médico.	Se realizó un análisis de diversos ensayos clínicos previos relacionados con el uso de IA en radiología,	La IA muestra potencial significativo para mejorar la precisión, velocidad y eficiencia	La inteligencia artificial tiene un futuro prometedor	interpretación contextual y comprensión de casos atípicos: Se menciona que la IA actual tiene	se enfoca en la aplicación general de la Inteligencia	https://herasmo.meoz.gov.co/wp-content/uploads/2024/03/PROYECTO

	imágenes .diagnósticas					especialmente en la detección de cáncer (nódulos pulmonares, cáncer colorrectal, de ovario y de próstata). El enfoque se basa en técnicas de inteligencia artificial, incluyendo redes neuronales y algoritmos retroalimentados por humanos, aplicados a la interpretación de imágenes diagnósticas.	diagnóstica en radiología. Se destaca su aplicación en detección de cáncer (pulmón, colorrectal, ovario, próstata). Se valora tanto el uso de IA asistida por humanos como IA con procesamiento autónomo (redes neuronales).	en la radiología. Mejora la precisión, velocidad y eficiencia diagnóstica. Su correcta implementación, ya sea asistida por humanos o de forma autónoma, puede revolucionar la práctica radiológica.	limitaciones para la interpretación contextual y la comprensión de ciertos casos atípicos, lo que sugiere que su capacidad no es universalmente aplicable sin supervisión.	Artificial (IA) en la radiología para la identificación e interpretación de imágenes diagnósticas de diversas enfermedades, principalmente el cáncer y afecciones cardiovasculares. Destaca el potencial de la IA para mejorar la precisión, velocidad y eficiencia del diagnóstico, optimizar los flujos de trabajo y estandarizar la interpretación radiológica.	
8.	Detección de fracturas mediante rayos X asistida por IA en la formación de residentes: evaluación en pacientes pediátricos y	Diagnostics (MDPI)	Kim JW, Liebsch F, Graef F, Rücker F, Hofmann M, Kosmala A, Bittersohl D, et al.	11 de marzo de 2024	Alemani a	Radiología Médica con Aplicación de Inteligencia Artificial (IA)	Diseño: Estudio retrospectivo. Muestra: 200 radiografías de pacientes de 1 a 95 años (media de 40,7 ± 24,5 años), 100 con fracturas (135 fracturas en total).	La sensibilidad de los residentes de radiología para la detección de fracturas mejoró significativamente con el apoyo de IA (58% sin IA frente a 77% con IA, p < 0,001), mientras	Conclusiones La IA mejoró significativamente la sensibilidad en la detección de	Limitaciones del estudio (breve) Diseño retrospectivo sin aleatorización, lo que puede introducir sesgos en la selección y evaluación de casos.	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38535017/

	adultos con traumatismos						<p>Evaluadores: 4 residentes de radiología con distintos niveles de experiencia.</p> <p>Técnica: Evaluación con y sin asistencia de un algoritmo de aprendizaje automático (IA).</p> <p>Estándar de referencia: Diagnóstico consensuado por dos radiólogos experimentados.</p> <p>VARIABLES MEDIDAS: Sensibilidad, especificidad, tiempo de informe e índice de confianza.</p>	<p>que la especificidad mostró mejoras menores (77% sin IA frente a 79% con IA, $p = 0,0653$). El rendimiento independiente de la IA alcanzó una sensibilidad del 93% con una especificidad del 77%. El apoyo de IA para la detección de fracturas redujo significativamente el tiempo de interpretación para los residentes de radiología en un promedio de aproximadamente 2,6 s ($p = 0,0156$) y aumentó la confianza de los residentes en los hallazgos ($p = 0,0013$).</p>	<p>fracturas (de 58% a 77%). No comprometió la especificidad (77% sin IA vs. 79% con IA). Redujo el tiempo de interpretación en promedio 2,6 segundos. Aumentó la confianza de los residentes al interpretar los hallazgos. La IA tiene un valor educativo, especialmente para residentes menos experimentados, y puede mejorar la eficiencia diagnóstica.</p>	<p>Muestra limitada (200 radiografías), que puede no ser representativa de la población general.</p> <p>Evaluadores limitados (4 residentes), lo que restringe la generalización de los resultados a otros niveles de experiencia o entornos.</p> <p>Falta de validación externa, ya que el algoritmo puede no haber sido probado en otros conjuntos de datos ni en diferentes instituciones.</p> <p>Impacto clínico no evaluado directamente, pues no se investigó si las mejoras en sensibilidad y tiempo se traducen en mejor atención al paciente.</p>		
9.	Precisión diagnóstica de un algoritmo de inteligencia artificial frente a radiólogos para la detección de fracturas en la tomografía	European Radiology	Gaby J van den Wittenboer	Agosto 2024	Países Bajos	Radiología / Inteligencia Artificial aplicada a diagnóstico por imagen (fracturas vertebrales cervicales)	<p>Estudio retrospectivo monocéntrico: Se analizaron 2,368 CT cervicales (2007-2014), >18 años. Ground truth a través de consenso (radiólogo + 3 neurocirujanos) y</p>	<p>Sensibilidad IA: 71.5% (158/221); radiólogos: 88.2% (195/221), $p < 0.001$. - Especificidad IA: 98.6%, radiólogos: 99.2% (no significativo).</p>	<p>La IA tiene menor sensibilidad que los radiólogos, pero detecta la mayoría de fracturas que ellos</p>	<p>Monocéntrico y retrospectivo.</p> <ul style="list-style-type: none"> - IA con sensibilidad inferior respecto a radiólogos. - No se evaluó la integración real en flujo clínico. 		<p>https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38206401/</p>

	computarizada de la columna cervical						seguimiento hasta 2022. La IA y radiólogos asistenciales compararon su precisión usando pruebas estadísticas como McNemar	- IA detectó 22/26 fracturas no vistas por radiólogos, incluyendo 3/4 lesiones que requieren tratamiento de estabilización	pasan por alto, incluso lesiones que necesitan estabilización. Puede ser útil como lector concurrente	- Posible sesgo por selección de pacientes. (implícito en abstract)		
10.	Artificial intelligence improves resident detection of pediatric and young adult upper extremity fractures	<i>International Skeletal Society / J Pediatric Radiology</i> (2024)	Juan R. Zech 1, Chimere O Ezuma 2, Shreya Patel 3, Collin R. Edwards 4, Russell Posner 4, Erin Hannon 5, Faith Williams 5, Sonali V Lala 4, Zohaib Y Ahmad 4, Mateo P. Moy 4, Tony T. Wong	Diciembre de 2024	Singapur	Radiología pediátrica y formación médica con IA	Evaluación retrospectiva de radiografías de extremidades superiores (240 pacientes, niños/adultos jóvenes); lectores: radiólogos musculoesqueléticos, residentes radiología y pediatría; interpretación sin y con IA separada por 3-4 semanas	AUC de residentes mejoró de 0.768 a 0.876 (p<0.001); AUC de pediatras residentes de 0.706 a 0.844; no hubo mejora significativa en radiólogos especializados; tiempo de lectura disminuyó de 52.1 s a 38.9 s (p=0.030)	La IA mejora significativamente la precisión diagnóstica y eficiencia de residentes en radiología y pediatría, alcanzando niveles de especialistas sin perder exactitud	Estudio monocéntrico con muestra limitada; número reducido de lectores; falta de seguimiento longitudinal o validación multicéntrica		https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38695875/

Nota: Elaboración propia

Anexo 9. Consolidado Matriz bibliográfica para cumplimiento de objetivos

Autor	Identifica software	Detalla sensibilidad	Describir especificidad	Enuncia ventajas	Indica limitaciones
1. Bajo H.M. van der Velden (2022)				<ul style="list-style-type: none"> - Promueve la interpretabilidad de los modelos de IA (transparencia) - Facilita la aceptación clínica - Ofrece un marco teórico de clasificación útil para futuras investigaciones 	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de validación clínica rigurosa en muchos estudios - Necesidad urgente de estandarización de los métodos XAI - Poca aplicabilidad inmediata en entornos reales
2. Alex Novak (2022)	BoneView (Gleamer, París)	El protocolo busca evaluar si la IA mejora la precisión diagnóstica de los médicos, pero al ser un protocolo, no se reportan cifras exactas aún. Estudios previos de BoneView reportan sensibilidades de hasta 89-95% para algunas fracturas.	No se reportan valores específicos en este documento, pero estudios previos reportan especificidades cercanas al 85-94% , dependiendo del sitio anatómico.	<ul style="list-style-type: none"> - Asiste en la identificación de fracturas mediante superposiciones visuales - Aumenta la confianza de médicos no especialistas - Reduce el tiempo para la lectura diagnóstica 	<ul style="list-style-type: none"> - Estudio aún en protocolo (no hay resultados definitivos) - Número limitado de lectores puede reducir el poder estadístico - Enfocado en el sistema de salud del Reino Unido (NHS)
3. Andrés Tieu (2024)	Múltiples modelos de IA: InceptionV3, ResNet-50, Faster R-CNN, YOLOv3, FracNet	FracNet: sensibilidad del 92.9 % en TC de costillas - Modelos CNN: sensibilidad superior al 90 % en fracturas de costillas, muñeca y cadera	especificidad superior al 90 % en algunas localizaciones anatómicas (costillas, por ejemplo)	<ul style="list-style-type: none"> Rendimiento comparable o superior al de radiólogos - AUC de hasta 0.87 (escapoides) - Reducción del 86 % del tiempo de lectura - Mayor eficiencia clínica - Aplicación comercial posible gracias a disponibilidad de herramientas entrenadas 	<ul style="list-style-type: none"> - Alta variabilidad metodológica entre estudios - Falta de validación externa - Dependencia de grandes bases de datos anotadas - Aumento de falsos positivos en algunos modelos (ej. FracNet) - Comparación limitada por falta de estandarización entre métricas y protocolos
4. Julio Husarek (2024)	CAAI-FDS (Soluciones comerciales de IA para detección de fracturas, aprobadas por FDA o con marca CE)	<ul style="list-style-type: none"> - Sensibilidad >90 % en la mayoría de las regiones anatómicas. - Menor sensibilidad en fracturas de costillas y columna vertebral. 	Especificidad moderada (80-90 %) . - Mejora significativa cuando se combina IA + evaluador humano.	<ul style="list-style-type: none"> Alta sensibilidad en la mayoría de los sitios anatómicos. - Mejores resultados al integrar IA como herramienta de asistencia. - Evaluación exhaustiva con más de 38,000 radiografías analizadas. - Utilidad clínica validada en estudios revisados por pares. 	<ul style="list-style-type: none"> Datos extraídos de bases DIAG y ACR DSI AI Central, cuya actualización y cobertura no están garantizadas. - El financiamiento de la industria pudo influir levemente en los resultados (↑ sensibilidad, ↓ especificidad). - Peor desempeño en fracturas de costillas y columna.
5. Aayushi Bhatnagar (2021)	Modelos basados en redes neuronales convolucionales			<ul style="list-style-type: none"> - Mejora precisión, rapidez y consistencia diagnóstica - Disminuye errores humanos y 	<ul style="list-style-type: none"> - Riesgos éticos y legales (privacidad, responsabilidad legal) - Falta de transparencia del modelo ("caja

	(CNN) (sin mención de software específico)			<ul style="list-style-type: none"> variabilidad entre observadores - Apoyo clínico en contextos con escasez de personal especializado - Promueve toma de decisiones más objetivas - Complementa, no reemplaza al profesional médico 	<ul style="list-style-type: none"> negra") - Posibles errores en bases de datos (etiquetado incorrecto) - Falta de regulación sólida para implementación clínica
6. Jérémie F. Cohen (2022)		<ul style="list-style-type: none"> - Validación interna: IA 92 % (IC 95 %: 88–93); médicos 91 % (IC 95 %: 85–95) - Validación externa: IA 91 %, médicos 92 %. - No hubo diferencias estadísticamente significativas entre ambos. 	<ul style="list-style-type: none"> Especificidad similar a la sensibilidad en los análisis: IA 91 %, médicos 92 % en validación externa. - En validación interna: IA y médicos muy similares también. 	<ul style="list-style-type: none"> Rendimiento comparable al humano en tareas de diagnóstico - Potencial herramienta complementaria en práctica clínica - Sustenta la utilidad de la IA como apoyo diagnóstico con evidencia de metaanálisis - Amplio número de imágenes revisadas (más de 55,000) 	<ul style="list-style-type: none"> Alta heterogeneidad entre estudios incluidos - 52 % de los estudios presentaron riesgo alto de sesgo (evaluado con QUADAS-2) - Falta de validación externa sólida y escasez de estudios clínicos prospectivos - Algunos modelos aún no son comercialmente accesibles - Comparaciones IA vs humanos no siempre fueron en igualdad de condiciones - Posible sesgo de publicación (solo estudios revisados por pares incluidos)
7. Oscar parada (2023)				<ul style="list-style-type: none"> - Aumenta velocidad y eficiencia. - Optimiza flujos de trabajo. - Aplica en diversas patologías. - Posibilidad de uso autónomo o asistido. 	<ul style="list-style-type: none"> - Limitada en interpretación contextual. - Dificultad con casos atípicos. - Requiere supervisión humana.
8. Kim JW (2024)		<ul style="list-style-type: none"> Sensibilidad de residentes mejoró de 58% a 77% con IA. - Sensibilidad independiente de IA fue 93%. 	<ul style="list-style-type: none"> - Especificidad de residentes sin IA: 77%. - Especificidad con IA: 79%. - Especificidad independiente de IA: 77%. 	<ul style="list-style-type: none"> Incremento significativo en sensibilidad. - No afectó negativamente la especificidad. - Reducción del tiempo de interpretación en promedio 2.6 segundos. - Aumento de la confianza de residentes. - Valor educativo especialmente para residentes menos experimentados. 	<ul style="list-style-type: none"> - Estudio retrospectivo sin aleatorización. - Tamaño de muestra limitado (200 radiografías). - Solo 4 residentes evaluadores, limitando generalización. - Falta de validación externa. - No se evaluó impacto clínico directo.
9. Gaby J van den Wittenboer (2024)		<ul style="list-style-type: none"> - Sensibilidad IA: 71.5% (158/221). - Sensibilidad radiólogos: 88.2% (195/221), $p < 0.001$. 	<ul style="list-style-type: none"> - Especificidad IA: 98.6%. - Especificidad radiólogos: 99.2% (no significativa). 	<ul style="list-style-type: none"> - IA detectó 22 de 26 fracturas no vistas por radiólogos. - Incluye detección de 3/4 lesiones que requieren estabilización. - Puede ser útil como lector 	<ul style="list-style-type: none"> - Estudio monocéntrico y retrospectivo. - IA tiene sensibilidad inferior a radiólogos. - No se evaluó integración en flujo clínico real. - Posible sesgo por selección de pacientes.

				concurrente para no pasar fracturas por alto.	
10. Juan R. Zech (2024)		AUC de residentes mejoró de 0.768 a 0.876 (p<0.001). AUC de pediatras residentes mejoró de 0.706 a 0.844 .		- Mejora significativa en precisión diagnóstica. - Incremento en eficiencia y reducción del tiempo de lectura (de 52.1 s a 38.9 s, p=0.030). - Residente y pediatras alcanzan niveles similares a especialistas. - No se afecta exactitud.	- Estudio monocéntrico con muestra limitada. - Número reducido de lectores. - No hay seguimiento longitudinal. - Falta de validación multicéntrica.
11. Sanskrati Sharma	En los últimos años, se han desarrollado y aplicado diversos algoritmos y técnicas de IA al diagnóstico de fracturas, revolucionando el campo de la imagenología ortopédica. Estos modelos de IA aprovechan el potencial del aprendizaje profundo, en concreto las CNN y sus variantes, para detectar y analizar fracturas en radiografías ortopédicas. Las CNN han demostrado un rendimiento excepcional en tareas de reconocimiento de imágenes, lo que las hace ideales para la detección de fracturas.	Estudios han demostrado que los modelos de IA pueden superar a los expertos humanos en tareas específicas de detección de fracturas. Un estudio de este tipo desarrolló un algoritmo de aprendizaje profundo capaz de detectar fracturas de muñeca en imágenes de rayos X. El algoritmo demostró alta precisión y sensibilidad, superando el rendimiento de los radiólogos humanos en la detección de fracturas. Además de la detección de fracturas, se ha evaluado el rendimiento de los algoritmos de IA en la clasificación de fracturas.	Los sistemas de detección de fracturas basados en IA han demostrado una notable capacidad para reducir errores de diagnóstico. Estos sistemas pueden analizar radiografías ortopédicas e identificar fracturas con alta sensibilidad y especificidad. Al asistir a los radiólogos en el proceso de detección inicial, los algoritmos de IA pueden actuar como una segunda opinión fiable, mejorando la precisión general y reduciendo significativamente las fracturas que pasan desapercibidas en comparación con los radiólogos humanos.	Los algoritmos de IA tienen la ventaja de la consistencia y la reproducibilidad en sus decisiones diagnósticas. Pueden proporcionar interpretaciones estandarizadas y reducir la variabilidad Inter observador, frecuente entre expertos humanos. Esta consistencia puede ser especialmente valiosa en situaciones donde la disponibilidad de radiólogos especializados es limitada.	Sin embargo, existen desafíos y limitaciones en la implementación de algoritmos de IA en la práctica clínica. Es necesario abordar factores como la calidad de los datos, el sesgo y la interpretabilidad de los modelos de IA. Se requiere investigación y perfeccionamiento continuos para garantizar la robustez, la fiabilidad y el uso ético de las tecnologías de IA en el diagnóstico de fracturas.

12. Susan C. Shelmerdine, Cato Pauling, Emma Allan, et al.		La IA puede ayudar a resolver este problema actuando como una ayuda para los radiólogos, contribuyendo a acelerar y mejorar el diagnóstico de las fracturas.	Se estima que el 3,3 % de las fracturas no se detectan en la interpretación inicial del personal de urgencias. La tasa de error es mayor en las radiografías interpretadas fuera del horario laboral diurno, lo que sugiere que la fatiga, la carga de trabajo y los patrones de turnos pueden afectar el rendimiento del médico.	Este estudio utiliza un algoritmo de detección de fracturas asistido por IA con marcado CE (Conformidad Europea) y un conjunto de datos derivado del NHS. Este conjunto de datos mejorado permitirá la evaluación de una amplia gama de patologías, incluyendo fracturas raras pero significativas, y su composición se ha mapeado para reflejar las proporciones de fracturas omitidas observadas en el informe de Resolución del NHS.	Si bien el estudio de lectores explorará eficazmente el impacto del algoritmo en los lectores que interpretan un conjunto de datos amplio y detallado, los resultados no reflejarán la prevalencia de las patologías presentes en la práctica clínica habitual, por lo que se requerirán estudios prospectivos adicionales para determinar su eficacia.
13. Christian Bluethgn / Revive Entrenamiento Médico Integral	Es aquí donde la Inteligencia Artificial, en particular modelos como GPT-4V y el nuevo avance RoentGen de Stable Diffusion, está demostrando su valía. Estos modelos tienen la capacidad de analizar imágenes médicas con una precisión sorprendente.	El nuevo modelo RoentGen de Stable Diffusion ha dado un paso adelante en la generación de imágenes médicas a partir de texto. Este modelo puede generar imágenes de alta fidelidad a partir de indicaciones de texto médico, revolucionando la forma en que se crean imágenes médicas. Esta innovación no solo tiene aplicaciones en la generación de imágenes para la formación y la educación médica, sino que también podría acelerar el proceso de diagnóstico y tratamiento.			
14. Idriss Gasmi et al. (Universidad de Caen)		El algoritmo predijo con éxito 174 de 182 fracturas con una puntuación de sensibilidad del 95,6 % y una especificidad del 91,6 % en comparación con una puntuación de sensibilidad del 98,35 %	El algoritmo predijo con éxito 174 de 182 fracturas con una puntuación de sensibilidad del 95,6 % y una especificidad del 91,6 %.		"La falla en el diagnóstico temprano de fracturas en los niños puede tener graves consecuencias para el crecimiento", dijo el autor principal Idriss Gasmi, del Departamento de Radiología del Centro Médico de la Universidad de Caen en Francia. "Este estudio sugiere que los algoritmos de aprendizaje profundo pueden

		para radiólogos pediátricos y del 95,05 % para residentes senior. Los médicos de emergencia mostraron una puntuación de sensibilidad de solo el 81,87 % y los residentes juniors alcanzaron el 90,1 %.			ser útiles para mejorar la detección de fracturas en niños”.
15. John R. Zech	OsteoDetect (Imagen Technologies) FractureDetect (Imagen Technologies) BoneView (Gleamer) BriefCase (Aidoc Medical) HealthVCF (Zebra Medical Vision) El algoritmo uAI EasyTriage-Rib (Shanghai United Imaging Intelligence).	Los modelos de aprendizaje profundo para la detección de fracturas en radiografías han demostrado una precisión de más del 90%, con niveles de rendimiento diagnóstico iguales o cercanos a los de los radiólogos, cirujanos ortopédicos y otros médicos, utilizando métodos tanto débilmente como fuertemente supervisados que abarcan una variedad de regiones anatómicas, incluidas las extremidades superiores e inferiores.	En una revisión sistemática y metaanálisis de 42 estudios publicados que describen algoritmos de IA para la detección de fracturas (37 utilizando radiografías y cinco utilizando TC), Kuo et al. informaron una sensibilidad y especificidad combinadas del 92% y el 91%, respectivamente.		Varios desafíos actuales pueden limitar el desarrollo de productos de IA clínicamente relevantes para la detección de fracturas. En primer lugar, faltan pruebas prospectivas en situaciones reales y la evaluación de modelos en múltiples instituciones, pero serán importantes para generar confianza en el rendimiento esperado en situaciones reales y comprender los puntos de fricción en la interacción persona-computadora. Esta evaluación en situaciones reales es fundamental dado el comportamiento inesperado y potencialmente dañino de los algoritmos de IA, que puede no ser fácilmente evidente en las evaluaciones de rendimiento estándar.
16. BBC News / NICE (Mark Chapman)		"Estas tecnologías de IA facilitarán el trabajo de los profesionales al ayudar a detectar fracturas que de otro modo podrían escapar a la atención de los médicos", afirmó Mark Chapman, director de tecnología sanitaria de NICE, quien también enfatizó que el uso de la IA puede acelerar el diagnóstico y reducir la		El potencial de la IA en la atención sanitaria es enorme y también se está utilizando para detectar los primeros signos de cáncer de mama, identificar a quienes corren mayor riesgo de sufrir un ataque cardíaco y predecir futuras pandemias.	

		necesidad de realizar más pruebas.			
17. UVirtual		La inteligencia artificial (IA) está revolucionando amplios campos de la vida humana cotidiana y profesional, así pues, la radiología no es una excepción. La combinación de algoritmos avanzados y grandes cantidades de datos está permitiendo a los profesionales de la salud mejorar la precisión del diagnóstico y el tratamiento.			Precisión y rapidez en los diagnósticos, reducción de errores humanos, optimización del flujo de trabajo, personalización del tratamiento.
18. Rachel Kuo et al. / NICE UK / BBC		La IA es una herramienta eficaz para la detección de fracturas que tiene el potencial de ayudar a los médicos en los departamentos de emergencia ocupados. La sensibilidad de IA para detectar fracturas fue del 91-92%	Los investigadores no encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el desempeño del médico y el de la IA. La sensibilidad de IA para detectar fracturas fue del 91-92%.		
19. Carlos Rodríguez	La Herramienta de Inteligencia Artificial de Rayos X (XRAIT), utiliza el procesamiento con IA de lenguaje natural para detectar fracturas en los informes de radiología.	De 327 informes de fracturas y no fracturas conocidas confirmadas, XRAIT identificó con exactitud el 70% de las fracturas y descartó correctamente el 90% de los pacientes sin fracturas.	De 327 informes de fracturas y no fracturas conocidas confirmadas, XRAIT identificó con exactitud el 70% de las fracturas y descartó correctamente el 90% de los pacientes sin fracturas.		
20. Rachel Kuo et al. (Centro de Investigación Botnar,		"Los resultados del estudio apuntan a varias aplicaciones educativas y clínicas prometedoras	"Sigue siendo importante que los clínicos continúen ejerciendo su propio juicio. La IA no es	La IA puede ayudar a resolver este problema actuando como una ayuda para los radiólogos, contribuyendo a	

Universidad de Oxford)		para la IA en la detección de fracturas", señala Kuo. Además, subraya que "podría reducir la tasa de diagnósticos erróneos tempranos en circunstancias difíciles en el ámbito de las urgencias, incluidos los casos en los que los pacientes pueden sufrir múltiples fracturas.	infalible y está sujeta a sesgos y errores", concluye Kuo..	acelerar y mejorar el diagnóstico de las fracturas.	
21. Tableau (s.f.)				<ul style="list-style-type: none"> - La IA emula procesos cognitivos humanos. - Permite automatizar tareas, optimizar decisiones y mejorar procesos. - Puede integrarse como apoyo al personal, no como reemplazo. 	
22. Expertos en Ciencia y Tecnología (2024)				Presenta la IA como motor de cambio estructural, transformando ámbitos clínico, empresarial y personal.	
23. Radiology, 2021		IA mejoró sensibilidad diagnóstica en médicos de urgencias.	IA mejoró especificidad diagnóstica en médicos de urgencias.	<ul style="list-style-type: none"> - IA puede apoyar la detección clínica en múltiples entornos. - Mejora la precisión diagnóstica. 	<ul style="list-style-type: none"> - Exclusión de imágenes de baja calidad. - Solo evaluó fracturas apendiculares. - Necesidad de validación prospectiva y en otras regiones anatómicas.
24. Rachel Kuo (2022)		Sensibilidad de IA entre 91-92%, comparable a médicos humanos.		<ul style="list-style-type: none"> - Aplicaciones educativas y clínicas. - Utilidad en servicios de urgencias. - Complementa la práctica clínica. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pocos estudios prospectivos. - Mayoría de estudios en fase preclínica. - Falta evaluación en escenarios clínicos reales.
25. Martín, I. (2022)				<ul style="list-style-type: none"> - Prioriza radiografías con hallazgos críticos. - Mejora la eficiencia clínica. - Reduce omisiones diagnósticas. 	<ul style="list-style-type: none"> - No se ha validado su impacto directo en resultados clínicos. - Requiere estudios longitudinales adicionales.
26. Rachel Kuo et al. (Oxford University, 2022)		Sensibilidad reportada entre 91% y 92%, comparable a médicos humanos		<ul style="list-style-type: none"> - Alta precisión diagnóstica. - Aplicaciones clínicas y educativas. - Útil en entornos de urgencia. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pocas validaciones en entornos clínicos reales. - Mayoría de estudios realizados en entornos controlados.
27. Organización Mundial de la				<ul style="list-style-type: none"> - Promueve equidad, seguridad y transparencia. - Enfatiza la validación clínica y participación comunitaria. 	<ul style="list-style-type: none"> - Dificultad para establecer regulaciones globales aplicables a todos los contextos. - Requiere adaptación local.

Salud (OMS, 2021)					
28. U.S. Food and Drug Administration (FDA, 2022)				<ul style="list-style-type: none"> - IA puede apoyar el diagnóstico como herramienta complementaria. - Promueve seguridad mediante supervisión médica. 	<ul style="list-style-type: none"> - Riesgo en el uso de decisiones automatizadas sin juicio clínico. - Requiere evidencia clínica robusta para aprobación.
29. Rajpurkar et al. (Stanford ML Group, 2017)	CheXNet	CNN entrenada con >100,000 radiografías; mostró sensibilidad superior a radiólogos en neumonía	Superó a radiólogos en ciertas métricas de detección específica de neumonía	<ul style="list-style-type: none"> - IA alcanza nivel humano con datasets adecuados. - Demuestra potencial del deep learning en diagnóstico por imágenes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Solo se evaluó neumonía. - No incluye fracturas ni otras patologías musculoesqueléticas.
30. Rachel Kuo et al. (2022)		IA reduce errores diagnósticos en escenarios clínicos complejos, especialmente en urgencias	Mejora la toma de decisiones en médicos jóvenes y apoya el triage inicial	<ul style="list-style-type: none"> - Clave en formación médica y mejora del aprendizaje. - Fortalece el diagnóstico en situaciones críticas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aún no está implementada ampliamente en hospitales. - Faltan estudios sobre costo-beneficio y eficacia a gran escala.

Nota: Elaboración propia