

**Análisis de la Inteligencia Artificial para el Diagnóstico y Detección Temprana de  
Osteoporosis mediante Rayos X**

David Alonso Trejos Patiño

Universidad Nacional Abierta y a Distancia  
Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería  
Ingeniería de Sistemas  
Colombia  
2024

**Análisis de la Inteligencia Artificial para el Diagnóstico y Detección Temprana de  
Osteoporosis mediante Rayos X**

David Alonso Trejos Patiño

Docente

Solfi Yaneth Pertuz Santacruz

Monografía para Optar por el Título de Ingeniero de Sistemas

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería

Ingeniería de Sistemas

Colombia

2024

## **Página de Aceptación**

**Notas adicionales**

---

**Firma**

### **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a mis padres, Martin Alonso Trejos y Luz Mery Patiño, quienes siempre han sido mi mayor fuente de inspiración y apoyo. Gracias por su amor incondicional, su paciencia y por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia. A mi hermana, Mariana Trejos Patiño, a quien quiero ser un ejemplo de dedicación y esfuerzo. A mi pareja, Viviana Campo, cuyo amor, apoyo incondicional y paciencia me han dado la fuerza para seguir adelante en los momentos más difíciles. Finalmente, agradecer a cada uno de los docentes de la UNAD, por su guía y por compartir sus conocimientos, que me han permitido crecer tanto en lo académico como en lo personal.

### **Agradecimientos**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han sido parte fundamental de este logro. A mis padres, Martin Alonso Trejos y Luz Mery Patiño, por su apoyo incondicional y sus sabios consejos; a mi hermana, Mariana Trejos Patiño, por siempre estar ahí para celebrar mis triunfos; a mi pareja, Viviana Campo, por su amor y comprensión en cada paso; y a la docente Solfi Yaneth Pertuz, por su guía y orientación profesional. Gracias a todos ellos, he podido alcanzar esta meta.

## Resumen

Este estudio presenta la inteligencia artificial (IA por sus siglas) como una herramienta valiosa para el diagnóstico de la osteoporosis. Su capacidad para realizar análisis avanzados, para el diagnóstico y detección temprana de osteoporosis y optimizar el proceso de rayos X, y determinar que desafíos presenta, que beneficios genera y como opera, pero también que prevenciones debe tener. Para alcanzar el objetivo, se lleva a cabo una metodología investigativa de revisión bibliográfica, donde se determina el nivel de desarrollo del tema con investigaciones actualizadas, donde se concluye que la IA, es una alternativa que mejora el proceso de diagnóstico gracias a su precisión de estudio mediante análisis avanzados de imágenes que puede detectar anomalías en radiografías, y aunque ofrece beneficios significativos, también enfrenta desafíos en su implementación.

**Palabras Clave:** *Enfermedades Crónicas, Inteligencia Artificial, Medicina, Prevención de Enfermedades, Osteoporosis, Radiología, Rayos X.*

### **Abstract**

This study presents artificial intelligence (AI) as a valuable tool for the diagnosis of osteoporosis. Its ability to perform advanced analyzes for the diagnosis and early detection of osteoporosis and optimize the X-ray process, and determine what challenges it presents, what benefits it generates and how it operates, but also what preventions it should have. To achieve the objective, an investigative methodology of bibliographic review is carried out, where the level of development of the topic is determined with updated research, where it is concluded that AI is an alternative that improves the diagnosis process thanks to its precision of study using advanced image analysis that can detect abnormalities in x-rays, and although it offers significant benefits, it also faces challenges in its implementation.

***Keywords:*** *Chronic Diseases, Artificial Intelligence, Medicine, Prevention of Diseases, Osteoporosis, Radiology, Rayos*

## Contenido

Introducción .....	12
Generalidades del estudio.....	14
A. Contextualización del Problema.....	14
B. Planteamiento del Problema.....	15
i. Formulación del Problema .....	15
C. Objetivos .....	16
i. Objetivo General .....	16
ii. Objetivos Específicos .....	16
D. Justificación.....	16
Metodología .....	18
Fase I: Definición del Problema Central .....	18
Fase II: Búsqueda de la Información.....	19
Fase III: Organización de la Información .....	20
Fase IV: Análisis de la Información.....	21
Impacto de la Osteoporosis en la salud pública: Factores de riesgos, complicaciones y causas. ....	22
Diagnostico Tradicional de la osteoporosis .....	31
Capítulo V. Inteligencia Artificial en Medicina.....	43
Aplicación de IA en Rayos X para Osteoporosis .....	53

Estudios de caso .....	61
Presentación y análisis de resultados .....	66
Conclusiones y recomendaciones.....	79
a. Implicaciones y Conclusiones.....	79
b. Recomendaciones para Investigaciones Futuras .....	81
Bibliografía.....	82

**Listado de tablas**

<b>Tabla 1.</b> Prevalencia de la Osteoporosis.....	23
<b>Tabla 2.</b> Causas secundarias de osteoporosis. ....	26
<b>Tabla 3.</b> Comparación de diferentes técnicas de densitometría. ....	37
<b>Tabla 4.</b> Costos asociados al método de diagnóstico de la osteoporosis.....	39
<b>Tabla 5.</b> Comparación entre el Aprendizaje Automático y Aprendizaje Profundo.....	49
<b>Tabla 6.</b> Aplicaciones de la IA en medicina.....	51
<b>Tabla 7.</b> Estudios de caso. ....	63
<b>Tabla 8.</b> Matriz bibliográfica.....	66

## Listado de figuras

<b>Figura 1.</b> Prevalencia de la Osteoporosis. ....	23
<b>Figura 2.</b> Complicaciones por osteoporosis. ....	28
<b>Figura 3.</b> Densitometría ósea.....	33
<b>Figura 4.</b> Radiografía .....	35
<b>Figura 5.</b> Resultado de una radiografía .....	36
<b>Figura 6.</b> Diagnóstico de Osteoporosis en mujeres postmenopáusicas.....	41
<b>Figura 7.</b> Hitos más importantes de la historia del Machine learning.....	47
<b>Figura 8.</b> Procesamiento de imágenes de rayos X con IA.....	55
<b>Figura 9.</b> Línea de tiempo. ....	60

## Introducción

La evolución social ha permitido el desarrollo de la inteligencia artificial (IA) aplicables a diferentes campos, como la medicina. La potencia de la IA para la medicina es increíble, teniendo un impacto desde procesos de diagnóstico hasta el tratamiento completo de enfermedades, que en la actualidad pueden ser consideradas sin cura o de compleja atención. Sin embargo, hay que considerar cientos de variables y generar incertidumbres, desafíos y riesgos significativos que deben abordarse con rigurosidad, y el precio por errores de la IA puede saldarse en vidas humanas (Hamet & Tremblay, 2017). Es clara la necesidad de resolver un problema que tiene vacíos que deben ser mejorados para diagnosticar enfermedades en un sistema como el óseo, por lo cual, se formula la siguiente pregunta: ¿Cómo la inteligencia artificial impacta y beneficia el proceso de diagnóstico y detección temprana de osteoporosis?

La implementación de la IA en el tratamiento médico podría optimizar todo el proceso, mejorar el diagnóstico temprano de enfermedades y facilitar la toma de decisiones clínicas sin correr riesgos como veredictos erróneos o situaciones mal interpretadas por un juicio humano, basado en sentimientos y emociones, en este contexto, se busca analizar el uso de la inteligencia artificial en el diagnóstico de la osteoporosis mediante una revisión bibliográfica con el fin de identificar los beneficios y limitaciones de su implementación. Dicho esto, lo que se busca con este documento, es identificar de qué forma la IA puede impactar en la medicina, específicamente en el tratamiento de enfermedades de huesos, con una detección temprana de una enfermedad degenerativa que agobia gran parte de la población, y la cual cada año tiene mayor participación (Ortega et al., 2020), esto se realiza porque la calidad de vida de las personas es lo primordial, y de esta forma se garantiza una mejor gestión para la prevención de enfermedades.

El estudio se desarrolla iniciando con el primer capítulo identificación del contexto y planteamiento del problema, justificación, objetivos y; en el segundo capítulo representa el

contexto se detalla el diseño metodológico, es decir, el paso a paso de cómo se alcanza el resultado del estudio, el tipo de estudio, fases, técnicas e instrumentos utilizados, basados en la recopilación bibliográfica.

El tercer capítulo, describe que es la osteoporosis, destacando que es una enfermedad ósea caracterizada por la disminución de la densidad ósea y el deterioro de la microarquitectura del tejido óseo. Las causas, factores de riesgos y consecuencias.

El capítulo cuarto, explica cómo se diagnostica la osteoporosis tradicionalmente, las desventajas de estos métodos, costos, la infraestructura y personal capacitado.

El quinto capítulo, explica qué es la inteligencia artificial y su aplicación en el campo médico. Además, los diferentes tipos de IA utilizados en diagnóstico, como el aprendizaje automático y el aprendizaje profundo.

El capítulo sexto, describe cómo se utilizan los rayos X y cómo la IA puede analizar estas imágenes, explica brevemente algunos algoritmos que se utilizan para detectar signos de osteoporosis y discute las ventajas de usar IA.

El séptimo capítulo presenta algunos estudios que han utilizado IA para el diagnóstico de osteoporosis mediante rayos X.

El capítulo octavo, presenta los análisis, resultados, conclusiones y recomendaciones para próximas investigaciones.

Por último, el noveno capítulo, comprende la lista de bibliografía utilizada a lo largo de la monografía.

## **Generalidades del estudio**

### **A. Contextualización del Problema**

La IA es una herramienta excepcional para optimizar los procesos médicos, pero se enfrenta a retos en la interpretación debido a que su inteligencia artificial es susceptible a errores y malas interpretaciones. La radiología, una rama de la medicina, que se centra en el diagnóstico de enfermedades e infecciones clínicas mediante diversas técnicas de imagen como radiografías, tomografía computarizada (TC), resonancia magnética (RM) y ecografías. La forma en que operan los radiólogos es visualizando las estructuras internas humanas con gran detalle, apoyándose en la resolución de la imagen y el conocimiento del profesional sanitario para interpretarla.

El análisis de imágenes permite tomar decisiones sobre el manejo de la salud del paciente, como diagnosticar o descartar tumores, fracturas óseas, anomalías internas o infecciones generales. Este campo juega un papel crucial en la detección temprana de enfermedades como el cáncer, los traumatismos, las enfermedades cardíacas, los trastornos neurológicos e incluso virus como el Covid-19 (Sánchez-Oro et al., 2020).

La radiología también juega un papel importante en el control de enfermedades y tratamientos, ya que permite monitorear el progreso de un tratamiento clínico y evaluar la efectividad de las intervenciones médicas. Sin embargo, existe un problema importante en este campo: la interpretación que hace el profesional sanitario es crucial para su funcionamiento general. La radiología es sólo un puente para dar un diagnóstico médico, ya que proporciona una imagen detallada de un órgano que se sospecha que está causando un problema. Para superar este

problema, un profesional de la radiología debe ver la imagen, analizar patrones y, con su experiencia, dar un diagnóstico.

## **B. Planteamiento del Problema**

La osteoporosis es una enfermedad que afecta a los huesos, volviéndolos frágiles y propensos a fracturas, y su popularidad la ha llevado a convertirse una enfermedad central de estudio para la salud pública (Ortega et al., 2020).

Según (Gregson et al., 2022) se le suele denominar “enfermedad silenciosa” porque no presenta síntomas hasta que se produce una fractura, por lo que el diagnóstico precoz es crucial. Los huesos se renuevan constantemente, los osteoblastos construyen hueso nuevo y los osteoclastos desintegran el hueso viejo. Cuando una persona sufre osteoporosis, este proceso se desequilibra, dando lugar a la pérdida ósea y a la disminución de la calidad ósea.

Para abordar esta problemática, se han producido avances en las estrategias de análisis de imágenes, como el análisis computacional asistido por computadora (CAD), que puede ayudar a estandarizar la interpretación de las imágenes y mejorar la detección de anomalías. Sin embargo, estos métodos requieren un criterio profesional y no son 100% efectivos.

La inteligencia artificial, un avance en términos digitales y tecnológicos, puede verse como una oportunidad para la industria médica y la radiología, al permitir que una máquina programada detecte patrones anormales con mayor precisión que un radiólogo experimentado.

### **i. Formulación del Problema**

Con base en el problema descrito, esta propuesta pretende resolver la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo la inteligencia artificial impacta y beneficia el proceso de diagnóstico y detección temprana de osteoporosis?

### **C. Objetivos**

Para responder el estudio planteado, se han propuestos los siguientes objetivos de investigación.

#### **i. Objetivo General**

Analizar el uso de la inteligencia artificial en el diagnóstico de la osteoporosis mediante una revisión bibliográfica con el fin de identificar los impactos y los beneficios de su implementación.

#### **ii. Objetivos Específicos**

Describir los métodos convencionales utilizados en el diagnóstico de la osteoporosis.

Explorar las aplicaciones de la inteligencia artificial en el análisis de imágenes de rayos X para la detección de osteoporosis.

Investigar estudios previos que hayan evaluado el desempeño del proceso de diagnóstico de osteoporosis mediante el uso de Inteligencia artificial.

### **D. Justificación**

La investigación se centra en el uso de la inteligencia artificial en la medicina, puntualmente, optimizando la práctica de radiología, y esto se propone con el objetivo de mejorar la precisión diagnóstica y la detección temprana de enfermedades crónicas. Las presunciones son variadas, pero hay varias causas que justifican este proyecto.

Primeramente, se resalta la capacidad de los algoritmos de IA para analizar grandes volúmenes de imágenes radiológicas de manera rápida y precisa, pues como establecen (Kelly et al., 2022), la IA implementa métodos como el RAISE, el cual, permite analizar patrones de imágenes de forma profunda, en todas las capas de una imagen radiológica, aspecto que muchas veces los seres humanos pueden pasar por alto por no tener el nivel de detalle o enfoque.

Con este nivel de detalle, se permite una detección más temprana de anomalías y patrones sutiles que podrían pasar desapercibidos para el ojo humano para detectar enfermedades, lo cual, se traduce en una mejora significativa en la precisión diagnóstica, reduciendo así los errores de interpretación y otorgando al paciente un resultado más confiable sobre su diagnóstico, asegurando de forma más precisa posibles enfermedades de las cuales había dudas o que incluso, no se presumían pero se concretan con la IA.

Por otro lado, Pinykh et al., (2020) explican que la IA también ayuda en los tiempos de respuesta a imágenes diagnósticas, esto es una ventaja para priorizar casos que requieren atención urgente. La IA hace el trabajo de análisis de imágenes en segundos, porque funciona con diferentes algoritmos que reciben y automáticamente arrojan los datos de resultados de las imágenes, esto permite un diagnóstico muy preciso en muy poco tiempo, así, para casos críticos se puede empezar con un tratamiento de forma inmediata.

Respecto a lo convencional, un radiólogo debe analizar la imagen y contrastarla con diferentes medios, como un programa de dibujo asistido para ver patrones, y su análisis puede tardar mucho tiempo, mientras que la IA lo hace prácticamente de forma inmediata (Pinykh et al., 2020). Esta capacidad de optimización del tiempo es un determinante que puede incluso tener relación entre la vida y la muerte de un paciente crítico.

Finalmente, el estudio es importante de realizar porque según (Hardy & Harvey, 2020) la capacidad de la IA para permitir la interpretación remota de imágenes radiológicas es muy alta, y este aspecto puede superar las barreras geográficas y económicas al posibilitar un acceso a la atención médica especializada en áreas remotas o desfavorecidas, donde puede haber pacientes que requieran un diagnóstico urgente para tratamientos.

## **Metodología**

En esta sección se detalla el diseño metodológico, es decir, el paso a paso de cómo se alcanza el resultado del estudio, en cual detalla la metodología, el tipo de estudio, fases, técnicas e instrumentos utilizados, basados en la recopilación bibliográfica. Este proyecto será una monografía de investigación, siendo un escrito consolidado a partir de una revisión bibliográfica con el fin de indagar e investigar sobre temas nuevos según el nivel de desarrollo del tema, consolidando principales hallazgos de autores previos que han estudiado el tema.

En ese sentido, el proceso será con una revisión bibliográfica sobre IA en medicina aplicada puntualmente a la lectura de imágenes de rayos X, con el fin de apoyar el proceso de diagnóstico y detección de enfermedades del sistema óseo, especialmente la que tiene mayor incidencia, que es la osteoporosis. Entonces, corresponde a un estudio de monografía investigativa que explica cómo la línea de investigación Ingeniería de software y la temática sistemas inteligentes de la cadena de formación de ingenierías de sistemas de la UNAD, se aplica en el diseño y desarrollo de sistemas que utilizan inteligencia artificial (IA) para la detección de la osteoporosis, además el proceso de análisis de software que integra algoritmos de aprendizaje automático y aprendizaje profundo y cómo estos se traducen en herramientas diagnósticas efectivas.

El estudio está compuesto de cuatro fases fundamentales, las cuales deben retroalimentarse a lo largo de la búsqueda.

### **Fase I: Definición del Problema Central**

Para justificar la importancia de llevar a cabo la investigación, es necesario tener un propósito, un problema, para ello, se construye todo el apartado del primer capítulo que incluye, definir clara y detalladamente el problema que debe ser atendido con la investigación, que, como

se ha podido demostrar, surge a partir de la falta de eficiencia y desempeño general de la radiología para diagnosticar osteoporosis, por veredictos equivocados.

Hay casos complejos, donde se toman imágenes con técnicas radiológicas de los huesos, sin embargo, por diferentes motivos no es claro el resultado, y el profesional en salud puede tener una noción equivocada, o generar opiniones divididas con otros profesionales, razón por la cual, es alta la probabilidad de dar un veredicto erróneo, y la IA tiene el potencial de analizar objetivamente todos los aspectos de la imagen, incluyendo los más ocultos que no están visibles fácilmente, y dar un diagnóstico más adecuado, pero esto conlleva retos, desafíos y una serie de factores que se deben considerar, de ahí radica la importancia de llevar a cabo esta investigación.

## **Fase II: Búsqueda de la Información**

Tras definir el tema central que se debe abordar con este proyecto a partir de las causas que lo fundamentan, se pasa a la segunda fase, la cual corresponde a las técnicas utilizadas para conseguir la información a utilizar para el proceso investigativo, siendo:

- Artículos académicos y científicos actualizados sobre el eje central de estudio
- Su fecha de publicación no debe exceder los 5 años de antigüedad (deben ser publicados entre 2019 a 2024).
- Deben ser de revistas indexadas, de alta fiabilidad y priorizando su cuartil de evaluación.

Para cumplir esos parámetros, se emplea una investigación bibliográfica, en esta es esencial contar con materiales confiables como libros, revistas científicas, indexadas, sitios web y demás recursos necesarios como bases de datos especializadas. En el proceso, la búsqueda debe ser estructurada, razón por la que se debe evitar a toda costa documentación sin fundamentos o fiabilidad, por eso deben aplicarse los criterios de exclusión como origen de la fuente (solo de

bases de datos, revistas indexadas o repositorios institucionales certificados), fecha de publicación, y delimitación al tema.

Para tener la información más acorde al proceso, se priorizan por dos aspectos:

- Fecha de Publicación: Entre más actualizada sea la fuente a utilizar, mayor prioridad tendrá frente a diferentes artículos o documentos que estudien un eje central, esto aclarando que sean del mismo enfoque y con un alcance similar.
- Origen de la Publicación: La prioridad se da a artículos académicos de revistas reconocidas y calificadas por entidades como la IEEE Explore como de primera categoría (o cuartil 1).

Para conseguir esta información, se emplean bases tales como Google Scholar, Science Direct, IEEE Explore, Redalyc, Scielo, PubMed, entre otras.

En ese sentido, el proceso será con una revisión bibliográfica sobre IA en medicina aplicada puntualmente a la lectura de imágenes de rayos X, con el fin de apoyar el proceso de diagnóstico y detección de enfermedades del sistema óseo, especialmente la que tiene mayor incidencia, que es la osteoporosis. Entonces, corresponde a un estudio de monografía investigativa que explica cómo la línea de investigación Ingeniería de software se aplica en el diseño y desarrollo de sistemas que utilizan inteligencia artificial (IA) para la detección de la osteoporosis, además el proceso de análisis de software que integra algoritmos de aprendizaje automático y aprendizaje profundo y cómo estos se traducen en herramientas diagnósticas efectivas.

### **Fase III: Organización de la Información**

Para organizar toda la información empleada en el estudio, se utilizan técnicas de filtrado como pertinencia, concordancia e integración eficiente de la información con el objetivo general de este proyecto, utilizando tablas, gráficos y diagramas. La organización documental se realiza a

través del gestor de referencia Mendeley para gestionar las bibliografías se utiliza el esquema de las normas APA en una séptima edición.

#### **Fase IV: Análisis de la Información**

En esta fase se busca evaluar y sintetizar la literatura seleccionada para poder extraer los aspectos más importantes, se realiza una clasificación temática identificando patrones, resultados recurrentes y enfoques metodológicos, así como cualquier información relevante en los hallazgos de los estudios para su análisis.

## **Impacto de la Osteoporosis en la salud pública: Factores de riesgos, complicaciones y causas.**

En este capítulo se abordarán los diferentes aspectos de la osteoporosis incluyendo su definición, clasificación, factores de riesgo y complicaciones, para comprender como esta enfermedad no solo afecta físicamente sino también psicológicamente reduciendo la calidad de vida de las personas que la padecen.

### **Definición**

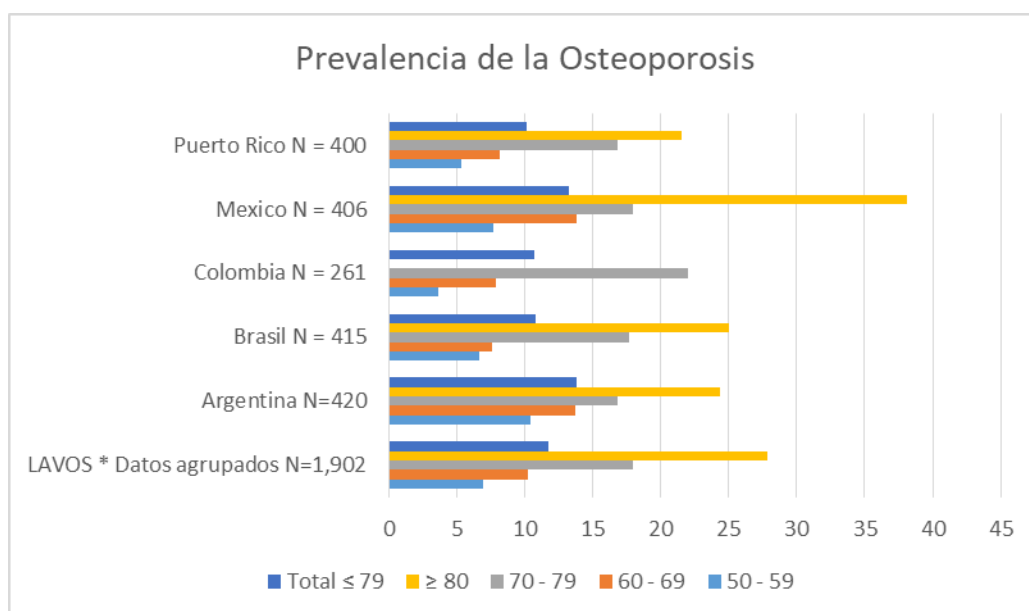
Inicialmente, es necesario comprender que la osteoporosis es una enfermedad que debilita los huesos, haciéndolos frágiles y propensos a fracturas incluso con mínimos traumas, así lo afirman Aibar Almazán et al. (2022). De igual forma, hay escenarios que hacen más propensa a una persona de padecer de esta enfermedad, de hecho, de acuerdo con Johnston & Dagar, (2020) la osteoporosis es especialmente común en mujeres postmenopáusicas y personas mayores.

De acuerdo a los estudios realizados por González, et al., (2019) en diferentes países como Argentina, Colombia, México, Brasil y Puerto Rico, se estableció el promedio de padecimiento de la enfermedad de acuerdo a las edades, como se muestra en la tabla 1 Prevalencia de la osteoporosis y en la gráfica 1 Prevalencia de la Osteoporosis.

**Tabla 1.** Prevalencia de la Osteoporosis

Edad (años)	LAVOS* Datos agrupados N = 1,902	Argentina N = 420	Brasil N = 415	Colombia † N = 261	México N = 406	Puerto Rico N = 400	Valor de p
50-59	6,9 (4,6-9,1)	10,4 (4,5-16,4)	6,7 (1,8-11,7)	3,6 (0,48-7,7)	7,7 (2,5-13,0)	5,3 (1,1-9,5)	0,39
60-69	10,2 (7,6-12,8)	13,7 (6,9-20,5)	7,6 (2,4-12,7)	7,9 (2,5-13,2)	13,8 (7,0-20,7)	8,2 (3,0-13,5)	0,32
70-79	18,0 (14,7-21,3)	16,8 (9,9-23,6)	17,7 (10,3-25,1)	22,0 (12,6-31,5)	18,0 (10,6-25,5)	16,8 (9,8-23,8)	0,89
≥ 80	27,8 (23,1-32,4)	24,4 (15,6-33,3)	25,0 (16,3-33,6)	-	38,1 (28,3-47,9)	21,5 (11,2-31,8)	0,06
Total ≤ 79	11,77 (10,16-13,38)	13,8 (10,03-17,56)	10,79 (7,34-14,23)	10,72 (6,94-14,50)	13,26 (9,46-17,07)	10,14 (6,89-13,39)	0,49
Todas las edades	14,77 (13,17-16,37)	16,19 (12,65-19,72)	14,21 (10,84-17,59)		19,21 (15,36-23,06)	12 (8,8-15,19)	0,03‡

**Fuente:** González, et al., (2019)

**Figura 1.** Prevalencia de la Osteoporosis.

**Fuente:** González, et al., (2019)

La osteoporosis se clasifica en dos categorías: primaria y secundaria. La osteoporosis primaria incluye la osteoporosis idiopática que afecta tanto a niños como a adultos jóvenes y cuya causa es desconocida y la osteoporosis involutiva que se asocia con el envejecimiento y afecta tanto a hombres como a mujeres. A su vez la osteoporosis involutiva se subdivide en tipo I o postmenopáusicas que afecta principalmente a mujeres de entre 51 y 75 años y se caracteriza por una pérdida ósea y tipo II o senil que se presenta en personas mayores de 75 años y se distingue por la pérdida de hueso trabecular y cortical asociada al envejecimiento. Por último, la osteoporosis secundaria que representa menos del 5% de los casos y se desarrolla como consecuencia de alguna enfermedad o del uso de ciertos medicamentos (Aibar Almazán et al., 2022).

### **Factores de riesgo y causas**

El desarrollo de la osteoporosis está influenciado por múltiples factores algunos de ellos modificables y otros no modificables. En los modificables se tienen los ambientales y ciertos factores endocrinos.

Entre los factores ambientales se destacan:

- Aspectos nutricionales como una ingesta insuficiente de calcio, la deficiencia de vitamina D causada por una mala absorción, problemas de nutrición o baja exposición solar, consumo excesivo de proteínas, fosfatos o sal lo cual aumenta la pérdida urinaria de calcio.
- El sedentarismo, la falta de ejercicio anaeróbico y la carga mecánica excesiva.
- El uso prolongado de ciertos fármacos como anti convulsionantes, glucocorticoides, sedantes o quimioterapia.
- El consumo elevado de cafeína, alcohol o tabaco.

- El peso corporal que influye entre el 15% y el 30% en la variación de la densidad mineral ósea (DMO) a cualquier edad y en cualquier región ósea medida.

Entre los factores endocrinos se incluye:

- La menarquia tardía o las alteraciones en el ciclo menstrual que se asocian con una baja masa ósea.

- La menopausia ya sea quirúrgica o natural antes de los 45 años

- La infertilidad hormonal en mujeres

- La deficiencia de estrógenos antes de la menopausia como consecuencia de anovulación causada por anorexia nerviosa, ejercicio excesivo o estrés mental.

Entre los riesgos no modificables se tiene la predisposición genética que es importante para la determinación de la densidad y masa ósea; la raza ya que las personas de origen caucásico y asiático presentan un mayor riesgo en comparación con las de origen africano o polinesio. El sexo con mayor prevalencia en mujeres que en hombres y la edad puesto que con cada década el riesgo aumenta entre 1,4 y 1,8 veces, este no solo se relaciona con la disminución de los niveles hormonales sino también con cambios histológicos como la reducción del espesor de la pared ósea y la persistencia de una alta tasa de resorción ósea a medida que se envejece (Aibar Almazán et al., 2022).

En la tabla 2 se detalla las causas de la osteoporosis según (Rondón et al., 2023).

**Tabla 2.** Causas secundarias de osteoporosis.

<b>Grupo</b>	<b>Causas</b>
Endocrinopatías	Hipogonadismo, hipercortisolismo, hiperparatiroidismo, hiperprolactinemia, diabetes melitus tipo 1, acromegalia, deficiencia de hormona de crecimiento (GH).
Enfermedades hematológicas	Mieloma múltiple, enfermedades mielo o linfoproliferativas, mastocitosis sistémica, talasemia.
Enfermedades gastrointestinales	Enfermedad hepática crónica, enfermedad celiaca, enfermedad inflamatoria intestinal, mal absorción intestinal, insuficiencia pancreática exocrina.
Enfermedades reumatológicas	Artritis reumatoide, lupus eritematoso sistémico, espondilitis anquilosante, artritis psoriásica, esclerosis sistémica.
Enfermedades renales	Hipercalciuria idiopática e hipercalcemia hipocalciúrica familiar, acidosis tubular renal, enfermedad renal crónica.
Otras enfermedades	Anorexia, fibrosis quística, hemocromatosis, EPOC
Colagenopatías	Osteogénesis imperfecta, síndrome de Ehlers Danlos, síndrome de Marfán, homocistinuria.
Medicamentos	Ciclosporina, anticonvulsionantes, glucocorticoides, metotrexate, anticoagulantes, diuréticos de asa, antidepresivos y acetato de

---

	medroxiprogesterona de depósito, litio, inhibidores de bomba de protones a largo plazo	
Otros	Alcoholismo, inmovilización.	tabaquismo,

---

**Fuente:** (Rondón et al., 2023)

### **Complicaciones**

(Clynes et al., 2020) explican que esta enfermedad afecta gravemente la calidad de vida de las personas al aumentar la susceptibilidad a fracturas óseas, que pueden ocurrir con mínimos traumas e incluso en casos severos, lesiones permanentes que afecten su movilidad de forma radical.

Los autores explican que en un contexto “normal”, las fracturas más comunes en personas que padecen la enfermedad están en la cadera, la columna vertebral y las muñecas, y son lesiones de poco dolor, más bien que generan molestia general e interrumpen actividades cotidianas, pero que, si no son atendidas, al largo plazo pueden evolucionar hasta generar limitaciones de movilidad, en cualquier caso, ya hay reducción en la calidad de vida.

Ahora bien, las fracturas de cadera son particularmente más graves y según (Nieto Lucio et al., 2019) estas tienden a requerir cirugía y rehabilitación prolongada porque afectan la movilidad de la persona, especialmente de las mujeres, y genera dolores muy fuertes.

Figura 2. Complicaciones por osteoporosis.



Fuente: Elaboración propia

En relación con lo anterior, se explica la gravedad de la fractura como una lesión común de la osteoporosis, que gran parte de los afectados nunca recuperan completamente su movilidad, lo que puede llevar a una pérdida de independencia y la necesidad de asistencia a largo plazo, un daño considerable a la calidad de vida de la persona.

De igual forma, las fracturas vertebrales tienden a generar impactos variados, que van desde pequeñas pérdidas de altura, hasta complejas deformidades espinales y dolores crónicos, afectando la capacidad de realizar actividades diarias y reduciendo la calidad de vida de la persona por un entorno difícil de afrontar.

Finalmente, (Kimball et al., 2021) explican que la osteoporosis genera un impacto no solo físico, sino también psicológico en la persona que lo padece, porque al tener una enfermedad que debilita los huesos, la persona crea una psicosis que hace que tenga pensamientos constantes de caídas, fracturas o daños en los huesos, lo que reduce su confianza general para realizar actividades, y aunque el cuidado es necesario, hace que la prevención no le permita llevar una vida plena sin pensar constantemente en los daños que podría padecer por un hueso roto por debilidad.

Igualmente (Gao & Zhao, 2023) explican que en las mujeres de la tercera edad, que están en una etapa de menopausia, tienen mayor prevalencia a sufrir de osteoporosis debido a la disminución de estrógenos, una hormona que protege los huesos, y esta pérdida hormonal acelera la disminución de densidad ósea, aumentando el riesgo de fracturas, especialmente en la cadera, columna y muñeca, afectando su movilidad y calidad de vida, lo cual demuestra que esta enfermedad tiene un impacto aún más fuerte en la calidad de vida de la mujer que lo padece, y demanda soluciones radicales para responder a la crisis.

Por todo lo anterior, la osteoporosis debe ser tratada desde el primer momento que sea diagnosticada, y de ahí la importancia de un diagnóstico oportuno y funcional, que, proyectando a los objetivos de esta investigación, la IA tiene potencial de aportar en el medio.

## **Diagnostico Tradicional de la osteoporosis**

El diagnóstico temprano de la osteoporosis es fundamental para prevenir complicaciones graves y mejorar la calidad de vida de las personas que poseen esta enfermedad. Los métodos convencionales de diagnóstico como la densitometría ósea y las radiografías han sido herramientas principales para la identificación y evaluación de esta enfermedad. A lo largo de este capítulo se evaluará en detalle estos procedimientos tradicionales, sus características, aplicaciones y limitaciones, así como otros métodos que han ido surgiendo, pero son menos usados.

### **Densitometría ósea**

(Rocha, 2021) define la densitometría ósea también conocida como absorciometría de rayos X de energía dual (DEXA o DXA) es una versión avanzada de la tecnología de rayos X y se considera la prueba estándar más concluyente para medir la densidad de calcio en los huesos y evaluar la densidad mineral ósea (DMO) como un predictor de riesgo de fracturas. La medición de la DMO es primordial para la detección temprana de trastornos óseos y la prevención de la osteoporosis además de ser una herramienta que ayuda a monitorear y guiar los tratamientos para preservar la salud ósea.

La DXA se ha consolidado como la técnica densitométrica de referencia por varias razones:

- Permite evaluar áreas anatómicas donde se localizan las fracturas osteoporóticas más comunes desde un punto de vista epidemiológico como la columna vertebral y el fémur proximal.
- Posee una excelente precisión lo que facilita el monitoreo de la evolución ósea.

- La variación de la masa ósea con la edad en las regiones analizadas es consistente con la epidemiología de la enfermedad.
- Permite evaluar la respuesta del hueso al tratamiento.
- La exposición a la radiación es baja siendo menor a una décima parte de la radiación de una radiografía de tórax convencional y predice el riesgo de fracturas en cualquier área anatómica de forma similar a la densitometría periférica.

La absorciometría de energía dual de rayos X que se procesa a través de un ordenador es la técnica más comúnmente empleada para medir la densidad ósea. Este equipo utiliza radiaciones ionizantes y genera dos haces de rayos X de alta y baja energía: uno es absorbido por el hueso y el otro por los tejidos blandos circundantes. La absorción de cada haz se detecta al atravesar el cuerpo del paciente y con esta información se calcula densidad mineral ósea (DMO) del hueso examinado mediante un proceso matemático. El T-Score es el parámetro principal para evaluar la densidad ósea y establecer un diagnóstico densitométrico, este parámetro compara la densidad mineral ósea del paciente con la de un adulto joven sano. Un valor de 0 indica una densidad normal. Los resultados se expresan en desviaciones estándar:

- T-Score entre +1 y -1: densidad ósea normal.
- T-Score entre -1 y -2.5: Densidad ósea baja (osteopenia).
- T-Score de -2.5 o menor: Diagnostico de osteoporosis.

**Figura 3.**Densitometría ósea



**Fuente:** Sempértégui (2018)

Cuanto más negativo sea el valor mayor es el riesgo de fractura y más grave la osteoporosis (Jácome et al., 2019).

(Rocha, 2021) indica que la DXA es un procedimiento radiográfico costoso y no se considera un examen de rutina para la detección de osteoporosis en mujeres posmenopáusicas.

### **Radiografías**

Las radiografías funcionan mediante la emisión de rayos X que atraviesan el cuerpo y son absorbidos en diferentes grados por los tejidos permitiendo la visualización de estructuras óseas en una imagen bidimensional. La densidad del tejido determina cuantos rayos X llegan a la placa o al detector digital generando imágenes donde los huesos parecen radiopacos (blancos) y otros tejidos radiolúcidos (oscuros) (Machado et al., 2023).

De igual forma, las imágenes radiológicas pueden identificar fracturas existentes y deformidades óseas mínimas que una persona no haya sentido dolor, y esto facilita el diagnóstico

así como la planificación de tratamientos para su gestión, sin embargo, la efectividad no es la más alta, porque estas fracturas mínimas, o fisuras de huesos que no generan dolor, pueden pasar desapercibidas por el profesional de la salud debido a su tamaño (Johnston & Dagar, 2020).

La evolución de la radiología desde la interpretación manual de imágenes hasta la adopción de tecnologías digitales y el apoyo de programas en línea y, más recientemente, de la inteligencia artificial, ha sido un proceso arduo, donde cada vez el proceso cambia más, pero así mismo, su efectividad es mayor, por la necesidad de innovar en un campo de la medicina que puede ser incluso más importante que el tratamiento, siendo el diagnóstico que define, que tiene un paciente, y que medidas deben tomarse para su control (García et al., 2021).

De acuerdo con (Ferreira et al., 2021) en sus primeras etapas, la radiología implicaba la visualización manual de imágenes radiológicas, éstas eran tomadas con maquinaria especializada de alto costo, tamaño y complejidad de instalación e utilización, y muy demoradas en arrojar los resultados, obteniendo como producto radiografías, tomografías y resonancias magnéticas, las cuales, un profesional especialista en el área, es decir, un radiólogo, analizaba de forma manual con el apoyo de un elemento especial que arrojaba luz sobre la imagen.

Con el avance de la tecnología y la incursión de la famosa industria 4.0, la radiología cambió, hay un enfoque más digitalizado, dónde hubo una introducción de sistemas de imágenes digitales, estos permitieron la adquisición, almacenamiento y visualización de imágenes radiológicas en formato digital, lo que permitió optimizar el proceso gracias a un aumento en la calidad de las imágenes y facilitado su manipulación y distribución (Pérez, 2023).

Pese a ello, la interpretación de estas imágenes seguía siendo en gran medida un proceso manual y subjetivo, con radiólogos dependiendo de su experiencia y habilidades para identificar patrones y anomalías, solo que lo hacían más eficientemente y pudiendo hacer zoom en medios

digitales, y contrastándolo con posibles plantillas, por eso se innovó aún más, llegando cada vez más lejos.

La siguiente fase en la evolución de la radiología digital fue la introducción de programas de análisis asistido por computadora (CAD), dónde estos programas utilizan patrones de dibujo técnico computacional para ayudar a los radiólogos en la detección de anomalías y la interpretación de imágenes mediante el contraste de una radiografía, con la armonía que debería tener naturalmente el patrón celular, por ejemplo.

**Figura 4.** Radiografía



**Fuente:** Instituto Nacional del Cáncer

**Figura 5.** Resultado de una radiografía



**Fuente:** Rodríguez (2018)

### **Otros métodos**

Entre los otros métodos se encuentra:

#### **Marcadores de remodelado óseo**

Varo (2024) los define como “productos liberados a la circulación sanguínea durante la formación y resorción ósea, pudiendo así evaluarse la tasa de estos dos procesos”. Los marcadores óseos se han clasificado en dos categorías: formación y resorción ósea. Desde la introducción de la fosfatasa alcalina en la práctica clínica en 1929 se han desarrollado y optimizado métodos para medir estos marcadores. A partir de los años 80 debido al creciente interés en las enfermedades metabólicas óseas se introdujeron ensayos más específicos como la osteocalcina y la fosfatasa alcalina ósea. En los años 90 se desarrollaron ensayos para medir el entrecruzamiento de piridinolina y desoxipiridinolina asociados a la pérdida ósea

posmenopáusica y métodos automatizados para CTX y PINP. A pesar de su potencial la implementación clínica de estos marcadores ha sido limitada por la variabilidad en los ensayos. La IOF y la IFCC recomiendan el uso de PINP y CTX como marcadores de referencia y abogan por la estandarización de los ensayos para su uso clínico.

(Filella & Guañabens, 2024) afirman que si bien no son eficaces para diagnosticar la osteoporosis ni proporcionan la información suficiente para reemplazar la densitometría en la evaluación de la masa ósea son útiles para identificar a los pacientes con un mayor riesgo de fractura cuando se combinan con otros factores de riesgo, además permiten valorar de manera temprana la respuesta a los tratamientos antirresortivos o a terapias con fármacos anabólicos.

En la tabla 3 Comparación de diferentes técnicas de densitometría, (Urta-Albornoz et al., 2021) plantea la comparación de diferentes técnicas de densitometría, se realiza el análisis de las diferentes técnicas de densitometría, sus ventajas, limitaciones y aplicaciones

**Tabla 3.** Comparación de diferentes técnicas de densitometría.

<b>Técnica de densitometría</b>	<b>Principio</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Limitaciones</b>	<b>Aplicación</b>
Radiología convencional	Imágenes mediante exposición a rayos X	Económico y ampliamente disponible	Baja precisión para medir la densidad ósea	Diagnóstico general de fracturas óseas
Radiología Digital	Versión digital de rayos X con imágenes en formato digital	Mejora la calidad de la imagen, menor radiación	Dependencia de la resolución del equipo	Usada en diagnóstico y seguimiento.
Absorciometría Radiológica de	Uso de haces de rayos X	Alta precisión para medir la	Limitado en áreas con alta	Diagnóstico de osteoporosis y

Doble Energía (DXA)	con diferentes energías	densidad mineral ósea	mineralización o artefactos	control de tratamiento
Tomografía Computarizada (TC)	Imágenes en 3D mediante rayos X rotatorios	Alta resolución espacial y detallada de la estructura ósea.	Mayor radiación que otras técnicas	Evaluación de fracturas complejas y análisis detallado del hueso.
Ultrasonografía Cuantitativa (QUS)	Uso de ondas sonoras para medir propiedades del hueso.	No utiliza radiación, portátil y económico.	Menos precisa que DXA y limitada a huesos específicos	Cribado de osteoporosis, especialmente en zonas rurales o sin acceso a DXA.
Resonancia magnética (MRI)	Uso de campos magnéticos y ondas de radio para imágenes	Sin radiación, imágenes detalladas de tejidos blandos y óseos.	Alto costo y disponibilidad limitada	Evaluación de la calidad ósea y lesiones asociadas al hueso.

**Fuente:** (Urrea-Albornoz et al., 2021)

### **Limitaciones en la Detección Temprana**

(Sánchez, 2019) afirma que la radiografía convencional permite realizar una evaluación cualitativa y semicuantitativa de la osteoporosis. Por otro lado, técnicas como la densitometría ósea y la tomografía permiten cuantificar la pérdida ósea, evaluar la presencia de fracturas y analizar las propiedades del hueso. Aunque estas técnicas más avanzadas y precisas están disponibles, la osteoporosis sigue siendo diagnosticada principalmente mediante radiografía convencional. No obstante, esta modalidad solo puede detectar la pérdida de masa ósea cuando supera el 30% - 50%, lo que la hace insuficiente en cuanto a sensibilidad y especificidad para un diagnóstico temprano de la osteoporosis

### **Limitaciones de los métodos convencionales**

A continuación, se abordarán las principales limitaciones de los métodos convencionales utilizados en el diagnóstico de la osteoporosis como la densitometría ósea y las radiografías, aunque estas técnicas clínicas son aceptadas ampliamente presentan restricciones que afectan su precisión y accesibilidad.

### **Costos**

En la tabla 4 Costos asociados al método de diagnóstico de la osteoporosis, (Flores et al, 2022) informa los costos asociados al uso de estos métodos de diagnóstico:

**Tabla 4.** Costos asociados al método de diagnóstico de la osteoporosis.

<b>Método de Diagnóstico</b>	<b>Costo aproximado por prueba (USD)</b>
Densitometría ósea	34.45
Radiología Convencional	27.5

**Fuente:** (Flores et al., 2022)

Los métodos convencionales para el diagnóstico de la osteoporosis como la densitometría ósea y las radiografías convencionales presentan varias limitaciones que impactan su efectividad en la detección temprana y precisa de esta enfermedad metabólica. Primero la radiografía convencional tiene una sensibilidad y especificidad limitadas, esta técnica solo puede detectar la pérdida de masa ósea una vez que ha alcanzado un umbral crítico sustancialmente entre el 30% y el 50%, lo que significa que muchas personas con osteoporosis pueden no ser diagnosticadas hasta que ya han experimentado una pérdida ósea considerable y potencialmente una fractura. Esta limitación se traduce en un diagnóstico tardío lo que aumenta el riesgo de complicaciones y afecta negativamente la calidad de vida del paciente.

La densitometría ósea específicamente la absorciometría de rayos X de energía dual, aunque se considera la prueba estándar para medir la DMO también presenta sus propias restricciones, aunque tiene una alta precisión su costo elevado limita su disponibilidad como examen de rutina, también puede verse limitada en áreas con alta mineralización ósea o en pacientes con artefactos en las imágenes lo que puede afectar la exactitud de los resultados. Otro aspecto a tener en cuenta es que estas tecnologías no siempre son accesibles en todas las localidades, esto resulta en una dependencia de métodos menos precisos como las radiografías convencionales perpetuando un ciclo de diagnóstico inadecuado.

Por otro lado, la interpretación de las imágenes obtenidas por estos métodos puede ser subjetiva dependiendo en gran medida de la experiencia y el juicio clínico del radiólogo, introduciendo variabilidad en los diagnósticos donde dos especialistas pueden llegar a conclusiones diferentes sobre la misma imagen.

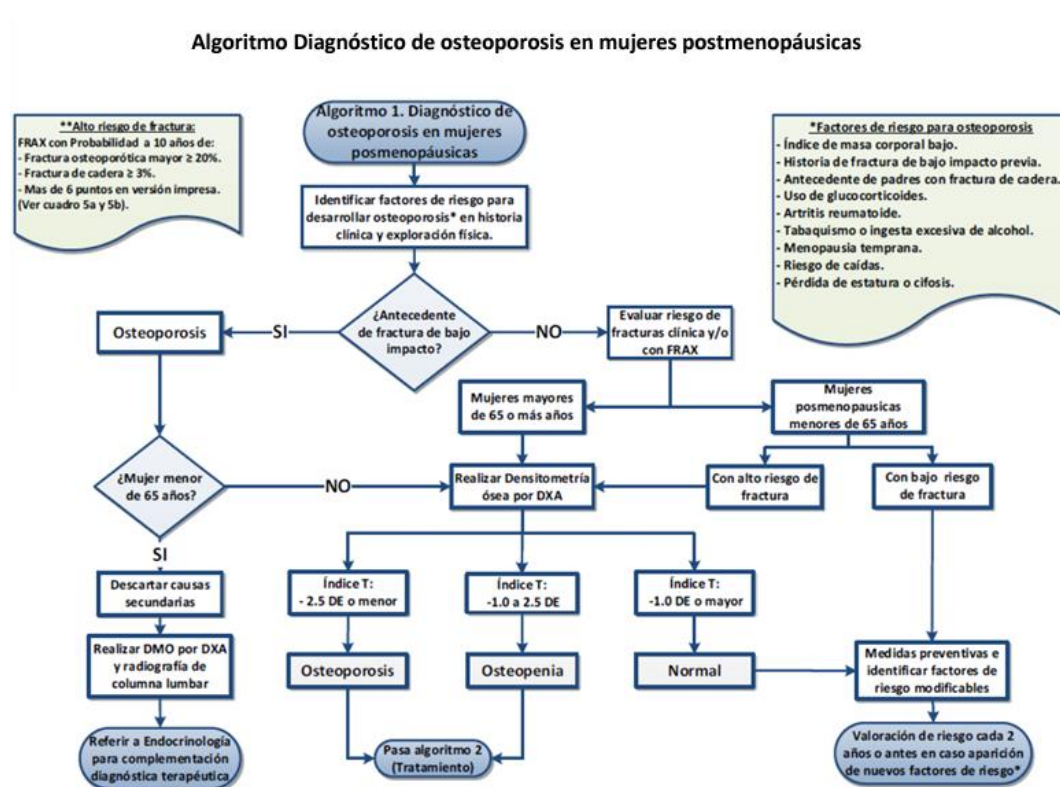
Por último, los marcadores de remodelado óseo, aunque útiles para evaluar el riesgo de fractura y monitorear la respuesta a tratamientos no son eficaces para diagnosticar la osteoporosis por sí solos, su implementación clínica ha sido limitada debido a la variabilidad en los ensayos y

la falta de estandarización lo que dificulta su integración en la práctica. En conjunto estas limitaciones subrayan la necesidad de desarrollar e implementar métodos de diagnóstico más sensibles y específicos que permitan una detección más temprana de la osteoporosis.

### Necesidad de equipos especializados

Uno de los pasos a pasos para la detección de la osteoporosis se observa en la siguiente figura:

**Figura 6.** Diagnóstico de Osteoporosis en mujeres postmenopáusicas.



**Fuente:** Secretaria de salud (2019)

La realización de pruebas diagnósticas requiere de infraestructura y personal altamente capacitado para garantizar resultados precisos y confiables, la radiografía aunque es más accesible en términos de costos y disponibilidad aún necesita equipos especializados y técnicos

para operar los aparatos de rayos X y obtener imágenes adecuadas para su interpretación, además un radiólogo debe analizar estas imágenes para identificar signos de pérdida ósea lo que demanda tanto experiencia clínica como equipos adecuados.

Mientras que la densitometría ósea siendo un método más avanzado requiere una infraestructura aún más especializada, los dispositivos de DXA son más complejos y costosos por lo tanto deben instalarse en centros médicos con capacidad para mantener su funcionamiento y garantizar la precisión de las mediciones, igualmente el personal que opera estos equipos deben estar debidamente entrenado para calibrarlos y asegurar que los resultados reflejen con precisión el estado de la densidad ósea del paciente y por ultimo un especialista en densitometría o medico con experiencia debe interpretar los resultados y generar un diagnostico detallado.

## Capítulo V. Inteligencia Artificial en Medicina

### Definición

La Inteligencia Artificial (IA) es definido como un campo de la informática producto del desarrollo y avance digital y tecnológico (Angelov et al., 2021) se enfoca en desarrollar sistemas y programas capaces de realizar tareas que requieren inteligencia humana, pero de forma automática por redes de computación, por lo que basan una propia inteligencia desarrollada por Softwares, análisis de datos y el uso de diferentes herramientas tecnológicas.

La inteligencia artificial (IA) tiene sus raíces en la creación de máquinas inteligentes capaces de realizar tareas con mínima intervención humana. Aunque el término "IA" fue acuñado en 1956, su desarrollo tiene antecedentes en la invención de los robots un concepto inspirado por la palabra checa robota, que significa trabajo forzado (Hamet & Tremblay, 2017). Este tiene sus orígenes en los años 40 del siglo XX con los primeros trabajos teóricos que sentaron las bases de lo que hoy conocemos como IA. En 1943, Warren McCulloch y Walter Pitts propusieron un modelo que demostraba que los eventos neuronales podían tratarse mediante la lógica proposicional. Esta investigación fue fundamental para el desarrollo de la IA, aunque fue hasta 1956, en la Conferencia de Dartmouth, cuando se consolidó el campo de estudio de la inteligencia artificial como una disciplina formal.

A lo largo de los años 50 y 60 el desarrollo de la IA y las redes neuronales avanzó con la creación de sistemas como el "Perceptron" (1957), el primer sistema capaz de identificar patrones geométricos, y "Adaline" (1959), una red neuronal utilizada en aplicaciones como el reconocimiento de voz. Sin embargo, en los años 60 y 70 la comunidad científica comenzó a cuestionar la aplicabilidad práctica de estas investigaciones lo que llevó a un estancamiento en su desarrollo. Fue en los años 80 cuando John Hopfield desarrolló el algoritmo de

"backpropagation", lo que revitalizó el interés en las redes neuronales y permitió su aplicación más efectiva en el aprendizaje automatizado.

En el campo médico la IA y la robótica han tenido un impacto notable. La robótica médica ha evolucionado desde la década de 1980 cuando se introdujo el uso de robots en procedimientos quirúrgicos. Uno de los hitos más importantes fue el uso del robot PUMA 560 en 1985 para realizar una biopsia cerebral. Desde entonces el campo ha avanzado con el desarrollo de sistemas robóticos específicos como el Da Vinci, un sistema quirúrgico utilizado en múltiples especialidades médicas que permite incisiones más precisas y minimiza el tiempo de recuperación de los pacientes.

Por lo tanto, la IA se aplica en dos ramas principales de la medicina: la virtual y la física. La rama virtual se refiere al uso de la IA para gestionar información médica y guiar a los médicos en la toma de decisiones mediante herramientas como el aprendizaje profundo y los registros médicos electrónicos. La rama física abarca la robótica como los robots que asisten en cirugías complejas o que ayudan a pacientes ancianos, además de innovaciones como los nanorobots que están diseñados para administrar fármacos de manera precisa en el cuerpo humano (Hamet & Tremblay, 2017).

Las aplicaciones de la IA son variadas y pueden desarrollar tareas que van desde el reconocimiento de patrones y el aprendizaje automático hasta la toma de decisiones y la resolución de problemas.

En su esencia, la IA busca emular la inteligencia humana mediante algoritmos y modelos matemáticos complejos, y a diferencia de los programas tradicionales que siguen instrucciones predefinidas, los sistemas de IA tienen la capacidad de adaptarse y mejorar con la experiencia, lo que les permite aprender y evolucionar a lo largo del tiempo (Rouhiainen, 2018).

## **Tipos de IA**

Hay diferentes tipos de IA como una de menor intensidad, que Escolano et al. (2020) define como la que se centra en tareas sencillas, concretas, específicas y limitadas, por ejemplo, un reconocimiento de voz, la traducción de idiomas o la conducción autónoma. En contraste, la IA de tipo “fuerte” o intensa, tiene un impacto mayor y no es vista como un apoyo sino como un esquema completo que busca desarrollar sistemas capaces de realizar cualquier tarea intelectual humana, incluso superando la inteligencia humana en algunos aspectos, y esto se consigue gracias al análisis de datos e información.

De acuerdo con (Rouhiainen, 2018) en la IA no todo es perfección, se debaten cuestiones como la privacidad, la seguridad y el impacto en el empleo, la implementación responsable de la IA requiere considerar estos aspectos y garantizar que los beneficios se distribuyan equitativamente, y se debe considerar que, al manejarse en sistemas informáticos, siempre habrá riesgos de información, seguridad, certeza y garantía de funcionalidad.

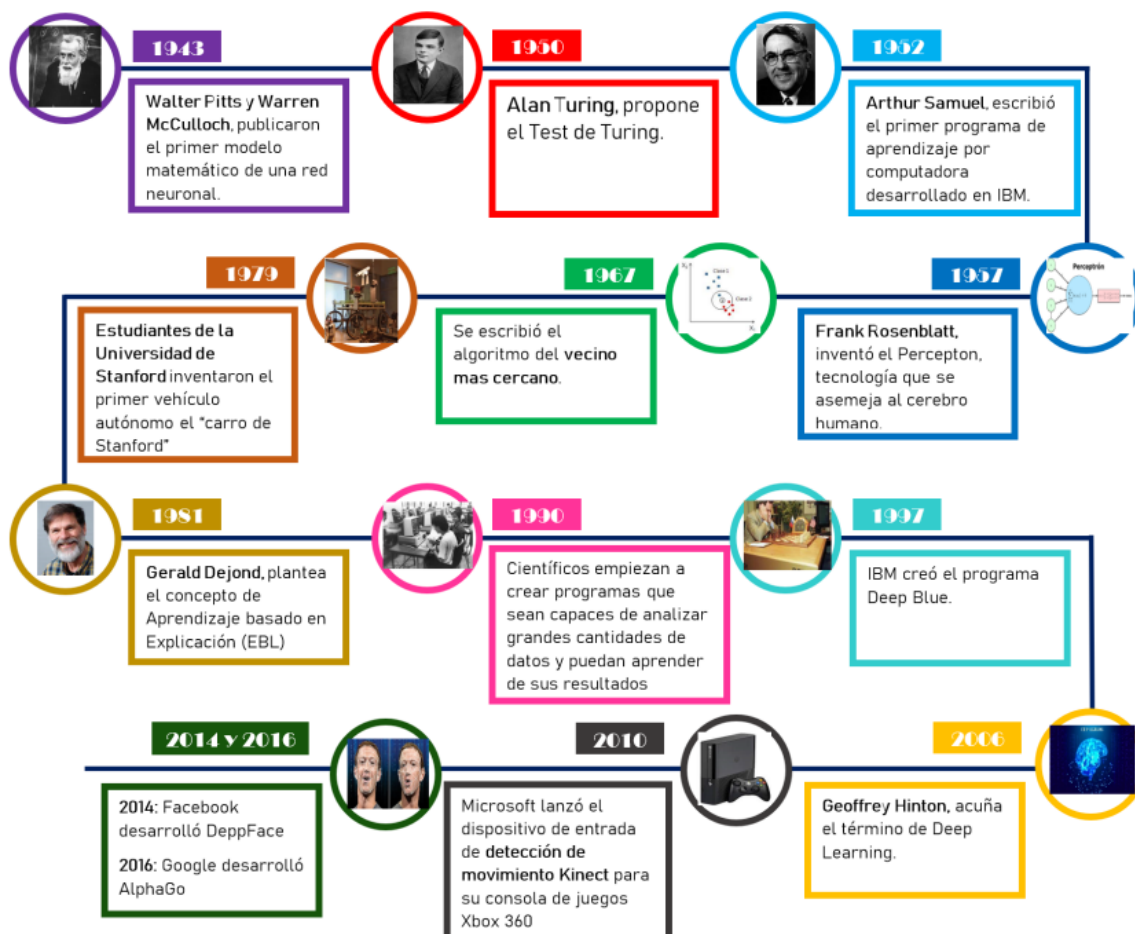
La historia del Machine Learning se remonta en varios siglos atrás, los primeros pasos en 1642 cuando Blaise Pascal creó la calculadora mecánica y en 1801 cuando Joseph María Jacquard utilizó tarjetas perforadas para automatizar el tejido dando como resultado el primer dispositivo de almacenamiento de datos. En 1847 la creación de la lógica booleana y en 1890 la máquina de Hollerith que ayudó en el censo de EE.UU le dio origen a la industria de procesamiento de datos; en 1943 Walter Pitts y Warren McCulloch publicaron un artículo que sentaba las bases de las redes neuronales artificiales.

Para la década de 1950 Alan Turing propuso la prueba de Turing para evaluar si una máquina podía simular el pensamiento humano, en 1952 Arthur Samuel desarrolló en IBM un programa de damas que aprendía mientras jugaba; para el año 1957 Frank Rosenblatt creó el perceptrón que es conocida como la primera red neuronal que imitaba procesos neuronales

humanos. En 1967 surgió el algoritmo del vecino más cercano para reconocer patrones y en los años 90 se dio un cambio hacia el análisis de grandes cantidades de datos impulsando la minería de datos y el aprendizaje automático.

La década de los 2000 marco el inicio de algoritmos avanzados, en 2006 Geoffrey Hinton acuñó el término Deep Learning para describir algoritmos avanzados capaces de reconocer objetos y texto en imágenes y videos impulsando el desarrollo de sistemas de reconocimiento facial más preciso. En 2010 Microsoft lanzó Kinect un sensor de movimiento para la consola Xbox 360 y ese mismo año IBM Watson demostró su capacidad para vencer a competidores humanos en el programa Jeopardy. Google por su parte impulsó en 2011 el proyecto Google Brain que logró crear una red neuronal capaz de identificar gatos en vídeos de YouTube y Facebook presentó en 2014 su sistema DeepFace alcanzando una precisión en el reconocimiento facial comparable a la humana. En 2016 AlphaGo de DeepMind se convirtió en campeón mundial del juego de mesa Go un logro que mostró el potencial de los algoritmos para enfrentar desafíos complejos. Para 2020 en plena pandemia se lanzó GPT-3 de OpenAI un modelo de lenguaje innovador con 175 mil millones de parámetros, capaz de generar texto de manera similar a los humanos (Velasquez, 2022). En la siguiente imagen se destacan los hitos más importantes de la historia del Machine learning:

**Figura 7.** Hitos más importantes de la historia del Machine learning



**Fuente:** Velasquez, 2022.

Ahora bien, el Machine Learning es una rama de la inteligencia artificial que se enfoca en desarrollar algoritmos y modelos que permiten a las máquinas aprender a partir de datos y realizar tareas sin ser explícitamente programadas, pues en lugar de seguir instrucciones específicas, los sistemas de Machine Learning utilizan patrones y experiencias pasadas para tomar decisiones y mejorar su rendimiento con el tiempo (Ahmadzia et al., 2024).

La IA utiliza algoritmos de aprendizaje automático para analizar grandes volúmenes de datos, como imágenes médicas y antecedentes clínicos, identificando patrones complejos que

ayudan en el diagnóstico. El proceso comienza con el preprocesamiento de datos donde se limpian y organizan los datos relevantes. Luego se extraen características clave que se convierten en valores numéricos útiles para el análisis. A continuación, se realiza la selección de características para centrarse en las más predictivas. Los datos preparados se utilizan para entrenar y validar algoritmos como redes neuronales profundas y máquinas de vectores de soporte que han demostrado ser efectivos en el análisis de imágenes médicas. Ejemplos de IA en diagnóstico incluyen el uso de machine learning en oncología para predecir la recurrencia del cáncer y en cardiología para evaluar la función cardíaca a partir de ecocardiogramas, estos sistemas no solo mejoran la precisión, sino que también reducen los errores médicos y optimizan el tiempo de respuesta en situaciones críticas (Álvarez et al., 2020).

Sarmiento (2020) resalta el aprendizaje profundo (Deep Learning) como una subcategoría del aprendizaje automático que utiliza redes neuronales profundas las cuales están compuestas por múltiples capas de neuronas que permiten modelar y aprender patrones complejos en grandes volúmenes de datos. Esta técnica es especialmente relevante en el análisis de imágenes médicas ya que facilita la identificación y clasificación de patrones sutiles en imágenes de resonancia magnética, tomografía computarizada y radiografías. Gracias a su capacidad para extraer características automáticamente y aprender de datos etiquetados el aprendizaje profundo ha demostrado mejorar la precisión en el diagnóstico de enfermedades como el cáncer, enfermedades cardiovasculares y trastornos neurológicos. Además, las redes neuronales convolucionales (CNN), una arquitectura clave dentro del aprendizaje profundo han revolucionado el campo de la imagenología médica al permitir la segmentación y clasificación de imágenes con un alto grado de exactitud, contribuyendo así a la toma de decisiones clínicas más informadas y rápidas.

A continuación, se presenta la tabla 5 Comparación entre el Aprendizaje Automático y Aprendizaje Profundo, esta tabla resume sus principales características, resaltando su definición, estructura, complejidad, cantidad de datos, aplicaciones, interpretabilidad y ejemplos de algoritmos.

**Tabla 5.** Comparación entre el Aprendizaje Automático y Aprendizaje Profundo

<b>Aspecto</b>	<b>Aprendizaje Automático</b>	<b>Aprendizaje Profundo</b>
<b>Definición</b>	Rama de la IA que utiliza algoritmos para aprender de datos sin programación específica	Subcategoría del Machine Learning que utiliza redes neuronales profundas para modelar datos complejos.
<b>Estructura de datos</b>	Trabaja con datos tabulares o estructurados.	Funciona mejor con datos no estructurados (imágenes, texto, audio)
<b>Complejidad del modelo</b>	Modelos menos complejos como regresión lineal, arboles de decisión, etc.	Modelos complejos con múltiples capas de neuronas (redes neuronales)
<b>Cantidad de datos</b>	Puede funcionar con conjuntos de datos más pequeños	Requiere grandes volúmenes de datos para un entrenamiento efectivo.
<b>Aplicaciones</b>	Reconocimiento de patrones,	Identificación de imágenes, procesamiento del

	clasificación, predicciones	lenguaje natural, diagnóstico médico avanzado A menudo
<b>Interpretabilidad</b>	Más fácil de interpretar y entender por los humanos.	considerado como caja negra debido a la complejidad de los modelos.
<b>Ejemplos de algoritmos</b>	Regresión logística, máquinas de soporte vectorial, arboles de decisión.	Redes neuronales convolucionales (CNN), redes neuronales recurrentes (RNN)

**Fuente:** Elaboración propia

La Inteligencia Artificial (IA) está transformando la medicina moderna al permitir diagnósticos más precisos, tratamientos personalizados y una gestión eficiente de la información médica. Gracias al análisis de grandes volúmenes de datos y la capacidad de aprendizaje automático la IA no solo mejora la precisión de los diagnósticos, sino que también optimiza los procesos clínicos y reduce los errores médicos. Aplicaciones como la automatización de tareas, el análisis de imágenes médicas y la robótica quirúrgica demuestran cómo la IA puede elevar la calidad de la atención médica permitiendo a los profesionales de la salud centrados más en la atención al paciente.

La IA tiene un largo camino lleno de desafíos y retos por afrontar, como las regulaciones gubernamentales ocasionadas por la incertidumbre que genera este proceso (Kimball et al., 2021). La incertidumbre que León (2023) explica se tiene en la lectura de imágenes con IA pues la

calidad de los datos utilizados para entrenar los algoritmos puede ser insuficiente o poco fiable y generar diagnósticos equivocados por la IA.

La diferencia de opinión con profesionales en salud que hallen o no, una DMO distinta en las imágenes, o que la IA confunda los patrones, son retos que se deben afrontar, esta debe ser mejorada constantemente para que evite cometer errores en el proceso de diagnóstico.

En la tabla 6 Aplicaciones de la IA en medicina (Lanzagorta et al., 2022) señala las aplicaciones de la inteligencia artificial en la medicina.

**Tabla 6.** Aplicaciones de la IA en medicina

<b>Aplicación</b>	<b>Descripción</b>
Diagnóstico Médico	La IA ayuda a integrar información médica (expedientes clínicos, estudios de laboratorio e imágenes) para hacer diagnósticos más rápidos y precisos.
Tratamiento personalizado	Los algoritmos de IA analizan datos clínicos y farmacogenéticos para personalizar tratamientos, ajustando dosis y medicamentos según las características del paciente.
Análisis de Imágenes Médicas	La IA mejora la interpretación de imágenes en radiología, patología y oftalmología, detecta anomalías y defiere lesiones benignas de malignas con gran precisión.
Seguridad del paciente	Detenta errores médicos y eventos adversos mejorando la seguridad en la administración de medicamentos y la estratificación de pacientes según su riesgo.
Automatización de tareas médicas	Libera a los médicos de tareas repetitivas como la elaboración de notas, solicitud de estudios y revisión

---

		de interacciones farmacológicas mediante asistentes virtuales.
Autonomía del paciente	del	Asistentes virtuales y dispositivos inteligentes permiten a los pacientes gestionar enfermedades comunes y monitorear su salud.
Simulación y formación médica	y	Los simuladores de IA crean escenarios clínicos para la formación de médicos, ajustando las pruebas según los logros y habilidades adquiridas.
Cirugía asistida por IA		La IA ayuda en la planificación quirúrgica, mejora la toma de decisiones intraoperatorias y permite la detección temprana de complicaciones en el postoperatorio.
Psiquiatría		Analiza el estado emocional de los pacientes mediante dispositivos portátiles y selecciona tratamientos basados en datos de neuroimagen y clínica.

---

**Fuente:** (Lanzagorta et al., 2022)

## **Aplicación de IA en Rayos X para Osteoporosis**

En este capítulo se explorará como la IA mejora el diagnóstico de la osteoporosis mediante imágenes de rayos X, se explicará el uso de algoritmos como las redes neuronales convolucionales, el proceso de análisis de las imágenes de rayos X y las ventajas de la IA para el análisis de rayos X.

### **Algoritmos**

Al momento de realizar la detección de la osteoporosis existen algunos algoritmos que contribuyen en el proceso, como lo son los siguientes

**Red neuronal convolucional:** Las CNN aplicadas a las imágenes diagnósticas buscan replicar el funcionamiento de la corteza visual primaria del cerebro humano. Los humanos son capaces de clasificar y diferenciar objetos de manera precisa gracias a su habilidad para identificar diversas características, como el color, los bordes, las curvas y las sombras, lo que les permite distinguir y clasificar cada objeto de forma individual. Por esta razón, muchos de estos sistemas intentan imitar la actividad de las neuronas en la corteza visual.

Las CNN pueden trabajar tanto con imágenes en 2D como en 3D y generalmente se componen de tres tipos de capas: la capa de convolución, la capa de reducción (max pooling) y las capas densas (fully connected). Las dos primeras capas realizan una extracción de características, mientras que las capas densas son responsables de la fase de clasificación. De este modo tienen una amplia gama de aplicaciones en la interpretación de imágenes de rayos X, especialmente en el campo de la radiología, donde se utilizan para ayudar en el diagnóstico médico (Lubinus et al., 2021).

**Support Vector Machine:** Se usa para la clasificación de fracturas, donde las máquinas de soporte vectorial son un conjunto de algoritmos de aprendizaje supervisado. Estos métodos están indicados para resolver situaciones en los que se requiere una separación óptima entre

componentes de una cohorte, y en la que se pueden presentar problemas de clasificación y regresión (Ruiz et al., 2020).

Las Máquinas de Vectores de Soporte (SVM) son una herramienta poderosa para la clasificación de imágenes de rayos X y se utilizan ampliamente para tareas como la detección de fracturas, diagnóstico de enfermedades pulmonares, análisis de mamografías y evaluación de la densidad ósea, entre otros. Aunque requieren una buena selección de características y pueden ser exigentes en términos de recursos para grandes conjuntos de datos.

### **Proceso de análisis de imágenes mediante rayos X**

Los rayos X son ondas electromagnéticas que atraviesan el cuerpo, y dependiendo del tejido son absorbidos en diferentes grados por este, lo que permite que se genere una visualización de las estructuras óseas en una imagen bidimensional, y a su vez la densidad de estos al determinar la cantidad de rayos X que llegan a la placa o al detector digital, hacen que se genere imágenes donde los huesos parecen radiopacos (blancos) y otros tejidos radiolúcidos (oscuros) (Machado et al., 2023).

Las imágenes de rayos X son una de las técnicas más comunes en la medicina para visualizar los órganos internos sin necesidad de intervención quirúrgica. A través de ellas, se pueden detectar diversas enfermedades, como la osteoporosis. Sin embargo, el principal reto es que las imágenes de personas con osteoporosis son muy similares a las de individuos saludables, lo que complica su clasificación. A pesar de este obstáculo, se han logrado resultados positivos que alientan a seguir investigando en esta área. Desde una perspectiva teórica, las imágenes de huesos saludables y afectados pueden diferenciarse mediante métodos de aprendizaje automático supervisado, que se centran en el análisis de la textura de las imágenes. Esta característica ofrece una amplia gama de datos que permiten distinguir y clasificar correctamente las imágenes. De

hecho, la evaluación de la cantidad de pérdida ósea, y por lo tanto la posibilidad de osteoporosis, depende en gran medida del tamaño y densidad de las líneas de textura (Mebarkia et al., 2023).

**Figura 8.** Procesamiento de imágenes de rayos X con IA.



**Fuente:** Elaboración Propia

## **Análisis de imágenes mediante IA**

La IA realiza el análisis de imágenes óseas para la detección de osteoporosis a través de técnicas avanzadas de procesamiento de imágenes y aprendizaje automático supervisado, enfocándose principalmente en el análisis de textura de las imágenes. El proceso general se puede desglosar de la siguiente manera:

1. Extracción de características texturales:
  - Filtros Gabor: Antes de aplicar los métodos de extracción de características, la imagen se analiza utilizando filtros Gabor. Estos filtros ayudan a extraer líneas en diferentes orientaciones, lo que permite captar la textura del hueso en la imagen, crucial para identificar diferencias entre huesos sanos y huesos afectados por osteoporosis.
    - Estos filtros destacan la densidad y el tamaño de las líneas de textura en las imágenes, lo que es fundamental para evaluar la pérdida ósea.
2. Extracción de características adicionales:
  - HOG (Histograma de Gradiente Orientado): Este método detecta patrones en las imágenes basándose en las orientaciones de los gradientes, lo cual es útil para identificar bordes y formas en la estructura ósea.
    - LPQ (Cuantización de Fase Local): Se utiliza para capturar información de textura en la imagen mediante el análisis de la fase de las frecuencias espaciales locales, proporcionando detalles adicionales sobre la superficie del hueso.
3. Optimización del clasificador:
  - Un algoritmo inspirado en murciélagos se usa para optimizar los parámetros de los filtros Gabor, mejorando el rendimiento del modelo y la precisión del análisis. Este tipo de

algoritmo es eficiente en la búsqueda de configuraciones óptimas para el análisis de las características extraídas.

4. Fusión multimodal:

- Los datos obtenidos mediante HOG y LPQ pueden fusionarse para aumentar la precisión del análisis, ya que cada método resalta diferentes aspectos de la textura ósea. Este enfoque de multimodalidad permite que el sistema sea más robusto y preciso en la detección de diferencias entre huesos sanos y enfermos.

5. Clasificación:

- Los algoritmos de aprendizaje automático supervisado se entrenan con imágenes de huesos sanos y enfermos para identificar patrones específicos y, con base en esos patrones, clasificar las imágenes como pertenecientes a personas con osteoporosis o no.

En resumen, el análisis de imágenes para detectar osteoporosis se realiza utilizando una combinación de filtros Gabor, algoritmos de extracción de características como HOG y LPQ, optimización de parámetros mediante algoritmos evolutivos (como el algoritmo inspirado en murciélagos), y técnicas de fusión de datos multimodales para mejorar la precisión del diagnóstico (Mebarkia et al., 2023).

Para el análisis de imágenes radiográficas con Deep learning, se realiza a través de redes neuronales convolucionales (CNN), estas comienzan con una capa de convolución que aplica filtros (kernels) a la imagen para extraer características importantes como bordes, texturas y patrones permitiendo identificar estructuras o lesiones dentro de la imagen. Posteriormente la capa de max pooling reduce la dimensión de los datos conservando solo las características más relevantes y eliminando información no esencial. Por último las capas densas o totalmente conectadas procesan las características extraídas y las utilizan para realizar una clasificación

final. Las funciones de activación como ReLU o Softmax permiten que el modelo aprenda patrones complejos y realice predicciones con alta precisión mejorando la exactitud del diagnóstico (Lubinos, et al. 2021).

### **Ventajas de usar IA para análisis de rayos X**

La inteligencia artificial (IA) ha surgido como una herramienta de gran valor en la interpretación de imágenes radiológicas incluyendo las radiografías (rayos X) aportando múltiples beneficios que están transformando el campo del diagnóstico médico. Uno de los principales aportes de la IA es su capacidad para mejorar la detección temprana de enfermedades, al emplear algoritmos avanzados como las redes neuronales convolucionales (CNN) la IA puede identificar patrones sutiles en las radiografías que podrían pasar desapercibidos para los especialistas. Este aspecto es primordial en enfermedades como la osteoporosis donde las primeras señales de debilitamiento óseo pueden ser mínimas y difíciles de detectar, pero si se identifican a tiempo pueden permitir la intervención médica antes de que el problema avance a fases más graves.

Además de la detección temprana la IA ha demostrado aumentar la precisión en los diagnósticos. Numerosos estudios científicos han revelado que los sistemas de IA son capaces de igualar o incluso superar a los radiólogos humanos en la interpretación de imágenes de rayos X. Esta mejora en la precisión reduce los errores médicos que pueden tener consecuencias graves para los pacientes. La IA al procesar grandes volúmenes de datos es capaz de reconocer patrones complejos en las imágenes que en ocasiones escapan a la percepción humana, minimizando la posibilidad de diagnósticos incorrectos o de subestimar una condición patológica.

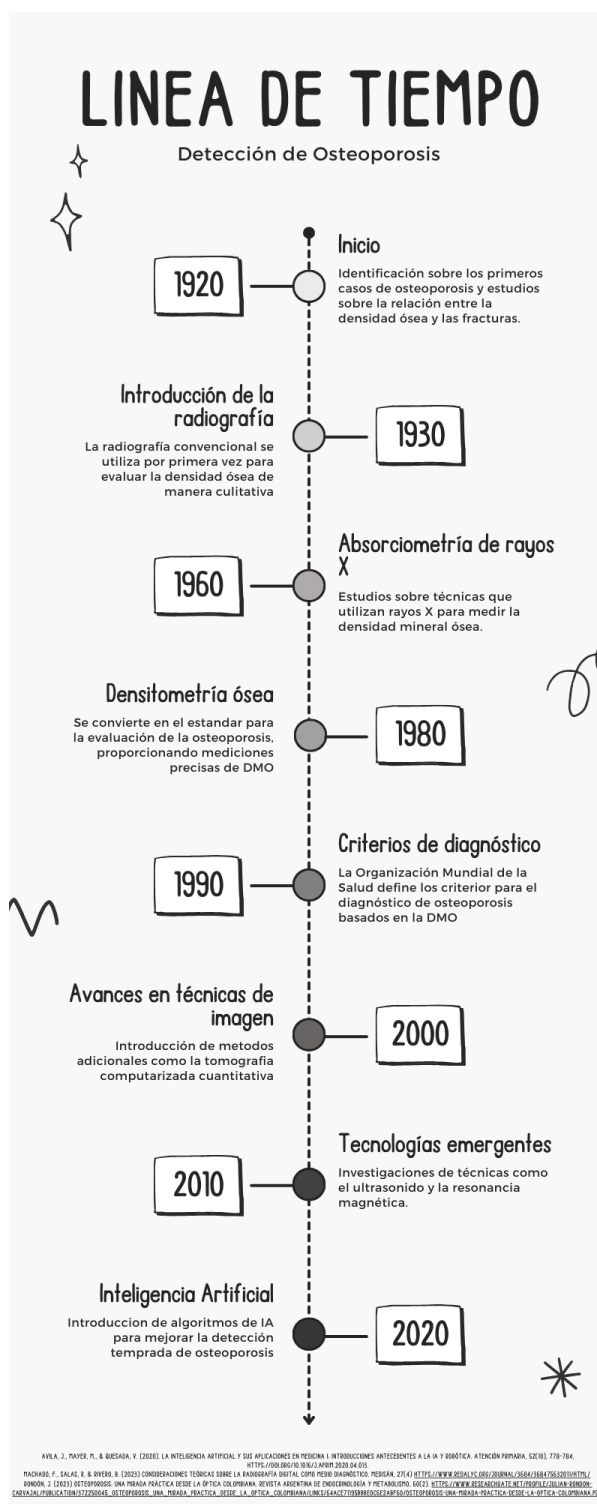
Otro beneficio considerable es la reducción de la carga de trabajo que experimentan los radiólogos. En muchas instituciones médicas estos especialistas se enfrentan a una gran cantidad de imágenes por analizar diariamente lo que puede generar fatiga y aumentar el riesgo de errores

debido a la sobrecarga laboral. La IA puede desempeñar un papel crucial al realizar un análisis preliminar de las radiografías identificando regiones de interés o posibles anomalías lo que permite al radiólogo enfocar su atención en los casos más complejos o urgentes. Esto no solo mejora la eficiencia, sino que también contribuye a una mayor precisión en los diagnósticos debido a que el radiólogo puede dedicar más tiempo y energía a los casos que realmente lo requieren.

La velocidad con la que la IA puede procesar las imágenes es otro factor clave. En cuestión de segundos o minutos los algoritmos de IA pueden analizar grandes volúmenes de radiografías lo que permite un diagnóstico más rápido y oportuno. Aspecto importante en situaciones críticas como en las salas de emergencia donde el tiempo es esencial para la toma de decisiones que pueden salvar vidas. La rapidez de la IA no solo acelera el flujo de trabajo, sino que también mejora la experiencia del paciente al reducir los tiempos de espera y agilizar el inicio de los tratamientos necesarios. Un aspecto igualmente relevante es la capacidad de la IA para estandarizar los diagnósticos radiológicos (Xing et al., 2020).

La osteoporosis es una enfermedad ósea que afecta la densidad y calidad de los huesos incrementando el riesgo de fracturas, la ilustración 8 presenta la línea del tiempo del diagnóstico de la osteoporosis el cual tradicionalmente se ha basado en métodos como la densitometría ósea y la radiografía los cuales son efectivos, pero pueden ser limitados en cuanto accesibilidad y rapidez. Con el avance de la IA han surgido nuevas oportunidades para mejorar la detección temprana de la osteoporosis como las redes neuronales y el aprendizaje profundo.

**Figura 9.** Línea de tiempo.



**Fuente:** Elaboración propia.

## Estudios de caso

En este capítulo se presentan investigaciones que han utilizado artificial (IA) para el diagnóstico de osteoporosis mediante rayos X.

(Fang et al., 2021) llevo a cabo un estudio para explorar la aplicación del aprendizaje profundo en pacientes con osteoporosis primaria y desarrollar un método totalmente automático basado en una red neuronal convolucional profunda (DCNN) para la segmentación del cuerpo vertebral y el cálculo de la densidad mineral ósea (DMO) en imágenes de TC. Para ajustar y evaluar el modelo el estudio incluyó a 1,449 pacientes que se sometieron a una tomografía computarizada (TC) abdominal o lumbar entre 2018 y 2020. De estos 586 casos se utilizaron para entrenar la inteligencia artificial mientras que los 863 restantes fueron empleados para realizar pruebas.

Una primera red neuronal convolucional (CNN) se encargó de segmentar automáticamente las vértebras lumbares en cada imagen, logrando una buena medición con la localización manual de L1-L4. Por otro lado, otra CNN calculó la densidad mineral ósea (DMO) de manera automatizada y los resultados promedio mostraron una alta clasificación con los valores de DMO obtenidos a través de tomografía computarizada cuantitativa. El modelo clasificó a los pacientes evaluados como osteoporóticos, osteopénicos o sanos según el cálculo de DMO. Los autores sugieren que esta metodología podría facilitar la extracción de información adicional de las TC rutinarias y contribuir a la detección temprana y oportuna de la osteoporosis lo que podría ayudar a frenar el progreso y las complicaciones asociadas con esta patología ósea.

Por otra parte, Krogue et al. (2020) investiga la viabilidad de identificar y clasificar automáticamente fracturas de cadera mediante aprendizaje profundo para mejorar los resultados clínicos, reduciendo errores de diagnóstico y el tiempo hasta la operación. Se revisaron 1,118 radiografías de cadera y pelvis, etiquetando 3,026 caderas. Se utilizó un modelo de detección de

objetos y se entrenó una red neuronal convolucional (DenseNet) para clasificar las imágenes en varias categorías. Su rendimiento se comparó con el de radiólogos y ortopedistas experimentados, así como con residentes superiores.

El modelo alcanzó una precisión del 93.7% en la detección de fracturas, con una sensibilidad del 93.2% y una especificidad del 94.2%. La precisión en la clasificación multiclase fue del 90,8%. Además, el rendimiento del modelo se equiparó al de expertos y al usarlo como apoyo mejoró la precisión diagnóstica de los profesionales humanos. Por lo tanto, el modelo de aprendizaje profundo logró una identificación y clasificación de fracturas de cadera con desempeño de nivel experto mejorando la precisión diagnóstica de los médicos cuando se utiliza como herramienta de apoyo lo que sugiere un gran potencial para su integración en la práctica clínica.

(Yamada et al., 2020) evaluó el rendimiento de una red neuronal convolucional (CNN) para diagnosticar fracturas del cuello femoral, fracturas trocantéricas y ausencia de fractura mediante radiografías de cadera anteroposteriores (AP) y laterales. Se utilizaron 1.703 radiografías AP y 1.220 laterales, separando 150 imágenes de cada vista para la evaluación. La CNN logró una precisión, recuperación, precisión y puntuación F1 promedio de 0.98 al usar ambas vistas. Su rendimiento fue comparable o superior al de cirujanos ortopédicos con una precisión significativamente mejor cuando se utilizaron ambas vistas en comparación con las radiografías individuales. Estos resultados destacan el potencial de las CNN en el diagnóstico automatizado de fracturas de cadera en la práctica clínica.

Por otro lado, el estudio de (Devnath et al., 2022) concluyó que el diagnóstico que es asistido por computadora mediante el análisis de imágenes digitales de rayos X es más efectivo, esto mediante la aplicación de Machine Learning para determinar patrones y con base en registros anteriores, desarrollar un concepto médico más efectivo, funcional y orientado a la

realidad, cuyo margen de error a medida que avanzan los estudios, es menor, ya que es un aprendizaje progresivo del Software que lo analiza.

Los hallazgos de estos estudios indican que la IA puede ser una herramienta valiosa en el diagnóstico de osteoporosis. A continuación, se presenta la tabla 7 Estudios de casos que resume los resultados.

**Tabla 7.** Estudios de caso.

Autor	Objetivo	Método	Resultados principales	Conclusiones
Fang y otros (2021)	Aplicar aprendizaje profundo para la segmentación vertebral y cálculo de DMO en TC.	1.449 pacientes con TC abdominal o lumbar.	Segmentación automatizada de vértebras con buena evaluación con mediciones manuales; Clasificación de pacientes como osteoporóticos, osteopénicos o sanos.	Potencial para las detecciones tempranas de osteoporosis a partir de TC rutinarias.
Krogue y otros (2020)	Identificar y clasificar fracturas de cadera automáticamente.	1.118 radiografías de cadera y pelvis; 3.026 caderas etiquetadas.	Precisión del 93,7% en la detección de fracturas; sensibilidad del 93,2% y especificidad del 94,2%. Precisión en clasificación	Desempeño de nivel experto en identificación de fracturas; mejora en la precisión diagnóstica de los médicos cuando se usa como apoyo.

			multiclase del 90,8%.	
			Precisión promedio de 0,98 en el diagnóstico utilizando ambas vistas;	Destaca el potencial de las CNN para diagnóstico automatizado de fracturas de cadera.
Yamada y otros (2020)	Diagnosticar fracturas del cuello femoral y trocántéricas.	1.703 radiografías AP y 1.220 laterales.	rendimiento comparable o superior al de cirujanos ortopédicos.	
		Análisis de imágenes digitales de rayos X mediante Machine Learning.	Mayor efectividad en el diagnóstico asistido; margen de error menor a medida que avanza el aprendizaje.	Potencial para desarrollar un concepto médico más efectivo y funcional mediante el aprendizaje progresivo.
Devnath y otros (2022)	Evaluar eficacia del diagnóstico asistido por computadora.			

**Fuente:** Elaboración propia

Estos estudios destacan la capacidad de la IA para mejorar la precisión y eficiencia en la interpretación de imágenes médicas las investigaciones demuestran que las redes neuronales convolucionales (CNN) pueden segmentar estructuras óseas y calcular la densidad mineral ósea de manera automatizada, logrando resultados comparables o superiores a los de profesionales experimentados. Este enfoque no solo facilita una evaluación más rápida, sino que también permite la detección temprana de condiciones que podrían pasar desapercibidas en análisis convencionales.

También el uso de modelos de aprendizaje profundo en el diagnóstico de fracturas de cadera ha mostrado una notable precisión en la identificación y clasificación de diferentes tipos de fracturas, mejorando la precisión diagnóstica de los médicos al ser utilizados como herramientas de apoyo. La integración de estas tecnologías en la práctica clínica podría no solo reducir errores de diagnóstico sino también optimizar los tiempos de respuesta y tratamiento para los pacientes.

## Presentación y análisis de resultados

En este capítulo se presentan los resultados principales del proceso investigativo que se ha descrito en apartados anteriores, los resultados son discutidos y analizados para cumplir los objetivos planteados, por lo que están categorizados por secciones.

**Tabla 8.** Matriz bibliográfica.

Análisis de la Inteligencia Artificial para el Diagnóstico y Detección Temprana de Osteoporosis mediante Rayos X				
Título de Artículo / Investigación en idioma original	Referencia en APA 7	Objetivo General	Problema que Aborda	Conclusiones y Hallazgos Principales
Current status of the diagnosis and management of osteoporosis. International Journal of Molecular Sciences	Aibar, A., Voltes, A., Castellote, Y., Afanador, D., Carcelén, M., & López, E. (2022). Current status of the diagnosis and management of osteoporosis. <i>International Journal of Molecular Sciences</i> , 23(16), 9465-9476, <a href="https://doi.org/10.3390/ijms23169465">https://doi.org/10.3390/ijms23169465</a> .	Proporcionar una visión general de las bases teóricas en relación con la biología ósea, los métodos existentes para el diagnóstico y los tratamientos de la osteoporosis, incluyendo el desarrollo de nuevas estrategias.	La insuficiencia de los métodos actuales para el diagnóstico efectivo de enfermedades óseas. Resaltando la situación crítica que genera la Osteoporosis, y propone nuevas estrategias apoyándose en nuevas tecnologías 4,0 como la IA.	La IA tiene el potencial de cambiar por completo la industria médica, en el estudio de los huesos puede generar diagnósticos precisos y funcionales con base en análisis por IA u otras tecnologías de información que la industria 4,0 permite.
Explainable artificial intelligence: an analytical review. International	Angelov, P., Soares, E., Jiang, R., Arnold, N., & Atkinson, P. (2021). Explainable artificial intelligence: an analytical review. <i>International Journal of Intelligent Systems WIRE</i> , 11(5), 387-399, <a href="https://doi.org/10.1002/widm.1424">https://doi.org/10.1002/widm.1424</a> .	Realizar una revisión analítica del estado actual de la técnica en relación con la explicabilidad de la inteligencia	Evolución de la IA en la Medicina	La IA evolucionó el mundo, las redes neuronales son un modelo de computación, cuya capacidad de cálculo está acotada por la capacidad de la

<p>La inteligencia artificial y sus aplicaciones en medicina I: introducciones antecedentes a la IA y robótica</p>	<p>Avila, J., Mayer, M., &amp; Quesada, V. (2020). La inteligencia artificial y sus aplicaciones en medicina I: introducciones antecedentes a la IA y robótica. <i>Atención Primaria</i>, 52(10), 778-784, <a href="https://doi.org/10.1016/j.aprim.2020.04.013">https://doi.org/10.1016/j.aprim.2020.04.013</a>.</p>	<p>artificial en el contexto de los recientes avances en el aprendizaje automático y el aprendizaje profundo</p>	<p>Evolución de la IA en la Medicina</p>	<p>máquina de Turing, que es hasta el día de hoy nuestra mejor formalización de la idea de algoritmo o proceso mecánico. La IA va a ser una tecnología presente en nuestro trabajo cotidiano a través de máquinas o programas informáticos, que de manera más o menos transparente para el usuario, van a ir siendo una realidad cotidiana en los procesos sanitarios. Los profesionales sanitarios tenemos que conocer esta tecnología, sus ventajas y sus inconvenientes, porque va a ser una parte integral de nuestro trabajo. A pesar de los avances en la detección de la osteoporosis, una minoría de hombres y mujeres con alto riesgo de fractura en todo el mundo reciben tratamiento. La carga económica y social que causa la osteoporosis es una clara motivación para</p>
<p>The epidemiology of osteoporosis</p>	<p>Clynes, M., Harvey, N., Curtis, E., Fuggle, N., Dennison, E., &amp; Cooper, C. (2020). The epidemiology of osteoporosis. <i>British Medical Bulletin</i>, 133(1), 105-117, doi: 10.1093/bmb/ldaa005.</p>	<p>Revisar en detalle la epidemiología de las fracturas por fragilidad, cómo las intervenciones farmacológicas influyen en ella y cómo los nuevos programas de detección pueden reducir la carga clínica y económica</p>	<p>La insuficiencia de los métodos actuales para el diagnóstico efectivo de enfermedades óseas. Resaltando la situación crítica que genera la Osteoporosis, y propone nuevas estrategias</p>	<p>La insuficiencia de los métodos actuales para el diagnóstico efectivo de enfermedades óseas. Resaltando la situación crítica que genera la Osteoporosis, y propone nuevas estrategias</p>

		de las fracturas osteoporóticas.	apoyándose en nuevas tecnologías 4,0 como la IA.	mejorar la detección y el tratamiento de la osteoporosis en todo el mundo.
Inteligencia artificial: modelos, técnicas y áreas de aplicación	Escalona, A. (2020). Inteligencia artificial: modelos, técnicas y áreas de aplicación. Editorial Área Universitaria, Cuarta Edición, p. 88.	Analizar como la IA funciona en la actualidad (Modelos y técnicas), y en qué áreas es aplicable, resaltando la medicina	Explicar la importancia de la IA en Medicina	La IA optimiza procesos médicos
Apuntes para la historia de la radiología en Matanzas (I): precursores y notas complementarias	Ferreira, V., García, J., & Martí, M. (2021). Apuntes para la historia de la radiología en Matanzas (I): precursores y notas complementarias. Revista Médica Electrónica, 43(6), 209-231, URI: <a href="http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1684-18242021000601759&amp;script=sci_arttext">http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1684-18242021000601759&amp;script=sci_arttext</a> .	Analizar históricamente como la radiología contribuye al diagnóstico de enfermedades óseas pero los problemas que genera en el diagnóstico.	Problema de la Radiología para el diagnóstico de Osteoporosis	La radiología es una de las especialidades con más desarrollo en las ciencias médicas. Los objetivos de este trabajo fueron rescatar y compartir elementos de la historia de la radiología en la provincia de Matanzas. En el mismo se utilizaron métodos como el analítico-sintético y el deductivo-inductivo, al igual que los submétodos cronológico y geográfico. La IA tiene el potencial de cambiar por completo la industria médica, en el estudio de los huesos puede generar diagnósticos
Reseña histórica sobre la evolución de la especialidad Medicina General Integral	García, N., San Juan, B., & García, S. (2021). Reseña histórica sobre la evolución de la especialidad Medicina General Integral. Medisur, 19(3), 399-412, URI: <a href="https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=109449">https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=109449</a> .	Analizar la evolución de la medicina general	La Industria Médica debe tener especialidades con tecnologías de punta como la IA	

Artificial Intelligence in Molecular Medicine	Gomes, B., & Ashley, E. (2023). Artificial Intelligence in Molecular Medicine. <i>The New England Journal of Medicine</i> , (388), 2456-2465, DOI: 10.1056/NEJMra2204787.	Analizar los aportes de la IA al tratamiento de medicina molecular para diagnóstico de enfermedades	Diagnóstico de Enfermedades	precisos y funcionales con base en análisis por IA u otras tecnologías de información que la industria 4,0 permite. Los métodos de aprendizaje automático para analizar conjuntos de datos genómicos, transcriptómicos, epigenómicos, proteómicos y metabolómicos han producido información clínicamente directiva, principalmente para enfermedades genéticas raras. Se revisa la evidencia y se brindan recomendaciones para el diagnóstico de osteoporosis, evaluación del riesgo de fractura y umbrales de intervención, manejo de fracturas vertebrales, tratamientos no farmacológicos y farmacológicos, incluyendo duración y monitoreo de terapia antirresortiva, osteoporosis inducida por glucocorticoides y modelos de atención para prevención de fracturas.
UK clinical guideline for the prevention and treatment of osteoporosis	Gregson, C., Armstrong, D., Bowden, J., Cooper, C., Edwards, J., Gittoes, N., . . . Stone, M. (2022). UK clinical guideline for the prevention and treatment of osteoporosis. <i>Archives of Osteoporosis</i> , 17(58), 1688-1711, <a href="https://doi.org/10.1007/s11657-022-01061-5">https://doi.org/10.1007/s11657-022-01061-5</a> .	Caracterizar la osteoporosis como una enfermedad que afecta la salud pública especialmente del adulto mayor, e identificar formas de diagnosticar la enfermedad	Importancia del Diagnóstico Oportuno de Osteoporosis	

Artificial intelligence in medicine	Hamet, P., & Tremblay, J. (2017). Artificial intelligence in medicine. <i>Metabolism</i> , 69(2), 636-640, <a href="https://doi.org/10.1016/j.metabol.2017.01.011">https://doi.org/10.1016/j.metabol.2017.01.011</a> .	Determinar beneficios, retos, problemas y oportunidades de la IA en Medicina	La medicina debe mejorar, y esto se consigue gracias a nuevas técnicas y usos de tecnología como IA.	La IA tiene el potencial de cambiar por completo la industria médica, en el estudio de los huesos puede generar diagnósticos precisos y funcionales con base en análisis por IA u otras tecnologías de información que la industria 4,0 permite. En los últimos años, la investigación sobre inteligencia artificial (IA) se ha desarrollado y emergente rápidamente en el campo de la radiología dental y maxilofacial. La radiografía dental, que se utiliza comúnmente en las prácticas diarias, proporciona un recurso increíblemente rico para el desarrollo de la IA y atrajo a muchos investigadores a desarrollar su aplicación para diversos fines.
Current applications and development of artificial intelligence for digital dental radiography	Hardani, R., Doi, C., Yoda, N., Renwi, E., & Sasaki, K. (2022). Current applications and development of artificial intelligence for digital dental radiography. <i>Dentomaxillofacial Radiology</i> , 51(1), 619-632, <a href="https://doi.org/10.1259/dmfr.20210197">https://doi.org/10.1259/dmfr.20210197</a> .	Explicar los beneficios de la IA aplicados a la radiología dental.	Explica la evolución de las tecnologías como la IA en radiología, enfocados a los dientes, sirve como referente para el tema de los problemas de huesos como osteoporosis para diagnosticar con radiología	La radiografía dental, que se utiliza comúnmente en las prácticas diarias, proporciona un recurso increíblemente rico para el desarrollo de la IA y atrajo a muchos investigadores a desarrollar su aplicación para diversos fines.
Artificial intelligence in diagnostic imaging: impact on the radiography profession	Hardy, M., & Harvey, H. (2020). Artificial intelligence in diagnostic imaging: impact on the radiography profession. <i>The British Journal of Radiology</i> , 93(1108), 3478-3489, <a href="https://doi.org/10.1259/bjr.20190840">https://doi.org/10.1259/bjr.20190840</a> .	Analizar el posible impacto de la inteligencia artificial (IA) en la profesión de radiología mediante la evaluación del flujo de trabajo	Evolución de la IA en la Medicina	Se destacan las oportunidades que aporta la IA, incluida la mejora de la atención al paciente, el aumento de la educación y el trabajo

<p>Deep learning for detection of pulmonary metastasis on chest radiographs</p>	<p>Hwang, E. J., Su, J., Hyuk, J., Hyeon, W., Hyun, J., Sung, K., . . . Min, C. (2021). Deep learning for detection of pulmonary metastasis on chest radiographs. <i>Radiology</i>, 301(2), 669-688, <a href="https://doi.org/10.1148/radiol.2021210578">https://doi.org/10.1148/radiol.2021210578</a>.</p>	<p>actual y el mapeo cruzado de áreas potenciales de automatización de la IA</p>	<p>intermodales, el aumento de la experiencia tecnológica y la expansión de la responsabilidad del radiólogo hacia funciones de auditoría e informes de imágenes respaldadas por la IA.</p>
<p>Impacto de la Inteligencia Artificial en la Radiología</p>	<p>Iglesias, D. (2023). Impacto de la Inteligencia Artificial en la Radiología. <i>Revista Cubana de Informática Médica</i>, 15(1), 267-281, URI: <a href="http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1684-18592023000100013&amp;script=sci_arttext">http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1684-18592023000100013&amp;script=sci_arttext</a>.</p>	<p>Evaluar si un sistema CAD basado en aprendizaje profundo (DL) puede mejorar el rendimiento diagnóstico en enfermedades terminales gracias al uso de IA.</p>	<p>La IA tiene el potencial de cambiar por completo la industria médica, en el estudio de los huesos puede generar diagnósticos precisos y funcionales con base en análisis por IA u otras tecnologías de información que la industria 4,0 permite.</p>
		<p>Un sistema de detección asistida por computadora basado en aprendizaje profundo mejoró el rendimiento diagnóstico de las metástasis recientemente visibles en las radiografías de tórax en pacientes con cáncer con una tasa de derivaciones falsas similar.</p>	<p>La IA evolucionó el mundo, las redes neuronales son un modelo de computación, cuya capacidad de cálculo está acotada por la capacidad de la máquina de Turing, que es hasta el día de hoy nuestra mejor formalización de la idea de algoritmo o proceso mecánico.</p>

---

Osteoporosis in Older Adults	Johnston, C., & Dagar, M. (2020). Osteoporosis in Older Adults. <i>The Medical Clinics of North America</i> , 104(5), 873-884, <a href="https://doi.org/10.1016/j.mcna.2020.06.004">https://doi.org/10.1016/j.mcna.2020.06.004</a> .	Evolución de la IA en la Medicina	La IA va a ser una tecnología presente en nuestro trabajo cotidiano a través de máquinas o programas informáticos, que de manera más o menos transparente para el usuario, van a ir siendo una realidad cotidiana en los procesos sanitarios. Los profesionales sanitarios tenemos que conocer esta tecnología, sus ventajas y sus inconvenientes, porque va a ser una parte integral de nuestro trabajo.
Radiology artificial intelligence: a systematic review and evaluation of methods (RAISE)	Kelly, B., Judge, C., Bollard, S., Clifford, S., Healy, G., Aziz, A., . . . Killeen, R. (2022). Radiology artificial intelligence: a systematic review and evaluation of methods (RAISE). <i>European Radiology</i> , 32(48), 7998-8007, URI: <a href="https://link.springer.com/article/10.1007/s00330-022-08784-6">https://link.springer.com/article/10.1007/s00330-022-08784-6</a> .	La insuficiencia de los métodos actuales para el diagnóstico efectivo de enfermedades óseas. Resaltando la situación crítica que genera la Osteoporosis, y propone nuevas estrategias apoyándose en nuevas tecnologías 4,0 como la IA.	La IA tiene el potencial de cambiar por completo la industria médica, en el estudio de los huesos puede generar diagnósticos precisos y funcionales con base en análisis por IA u otras tecnologías de información que la industria 4,0 permite.

---

---

Oxidative stress and osteoporosis	Kimball, J., Johnson, J., & Carlson, D. (2021). Oxidative stress and osteoporosis. <i>The Journal of Bone and Joint Surgery</i> , 103(15), 1451-1461, DOI: 10.2106/JBJS.20.00989.	Evolución de la IA en la Medicina	<p>La IA evolucionó el mundo, las redes neuronales son un modelo de computación, cuya capacidad de cálculo está acotada por la capacidad de la máquina de Turing, que es hasta el día de hoy nuestra mejor formalización de la idea de algoritmo o proceso mecánico. La IA va a ser una tecnología presente en nuestro trabajo cotidiano a través de máquinas o programas informáticos, que de manera más o menos transparente para el usuario, van a ir siendo una realidad cotidiana en los procesos sanitarios. Los profesionales sanitarios tenemos que conocer esta tecnología, sus ventajas y sus inconvenientes, porque va a ser una parte integral de nuestro trabajo.</p>
Uso de inteligencia artificial en radiología. Revisión de la literatura	León, J. (2023). Uso de inteligencia artificial en radiología. Revisión de la literatura. Repositorio Institucional Universidad Católica de Cuenca [revisión de literatura], URI: <a href="https://dspace.ucacue.edu.ec/items/5fa8b9ee-79dd-4303-891e-9905e5ad0547">https://dspace.ucacue.edu.ec/items/5fa8b9ee-79dd-4303-891e-9905e5ad0547</a> .	Evolución de la IA en la Medicina	

---

Inteligencia artificial y su uso en la radiología	Mejía, L., & Zabala, A. (2024). Inteligencia artificial y su uso en la radiología. <i>Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS</i> , 6(3), 134-147, <a href="https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v6i3.1082">https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v6i3.1082</a> .	La insuficiencia de los métodos actuales para el diagnóstico efectivo de enfermedades óseas. Resaltando la situación crítica que genera la Osteoporosis, y propone nuevas estrategias apoyándose en nuevas tecnologías 4,0 como la IA.	La IA tiene el potencial de cambiar por completo la industria médica, en el estudio de los huesos puede generar diagnósticos precisos y funcionales con base en análisis por IA u otras tecnologías de información que la industria 4,0 permite.
Tratamiento quirúrgico de la fractura de cadera por osteoporosis	Nieto, L., Reyes, P., Aguilar, E., & Torres, G. (2019). Tratamiento quirúrgico de la fractura de cadera por osteoporosis. <i>Orthotips AMOT</i> , 15(2), 105-111, URI: <a href="https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=90138">https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=90138</a> .	Evolución de la IA en la Medicina	La IA evolucionó el mundo, las redes neuronales son un modelo de computación, cuya capacidad de cálculo está acotada por la capacidad de la máquina de Turing, que es hasta el día de hoy nuestra mejor formalización de la idea de algoritmo o proceso mecánico. La IA va a ser una tecnología presente en nuestro trabajo cotidiano a través de máquinas o programas informáticos, que de manera más o menos transparente para el usuario, van a ir siendo una
Nutrición en la prevención y el control de la osteoporosis	Ortega, R., Jiménez, A., Martínez, R., Cuadrado, E., Aparicio, A., & López, A. (2020). Nutrición en la prevención y el control de la osteoporosis. <i>Nutrición Hospitalaria</i> , 38(2), 336-351, <a href="https://dx.doi.org/10.20960/nh.03360">https://dx.doi.org/10.20960/nh.03360</a> .	Evolución de la IA en la Medicina	La IA evolucionó el mundo, las redes neuronales son un modelo de computación, cuya capacidad de cálculo está acotada por la capacidad de la máquina de Turing, que es hasta el día de hoy nuestra mejor formalización de la idea de algoritmo o proceso mecánico. La IA va a ser una tecnología presente en nuestro trabajo cotidiano a través de máquinas o programas informáticos, que de manera más o menos transparente para el usuario, van a ir siendo una

---

Osteoporosis: generalidades, estrategia diagnóstica	Paccou, J., & Cortet, B. (2023). Osteoporosis: generalidades, estrategia diagnóstica. <i>EMC - Podología</i> , 25(2), 1-9, <a href="https://doi.org/10.1016/S1762-827X(23)47629-8">https://doi.org/10.1016/S1762-827X(23)47629-8</a> .	<p>La insuficiencia de los métodos actuales para el diagnóstico efectivo de enfermedades óseas. Resaltando la situación crítica que genera la Osteoporosis, y propone nuevas estrategias apoyándose en nuevas tecnologías 4,0 como la IA.</p>	<p>realidad cotidiana en los procesos sanitarios. Los profesionales sanitarios tenemos que conocer esta tecnología, sus ventajas y sus inconvenientes, porque va a ser una parte integral de nuestro trabajo.</p> <p>La IA tiene el potencial de cambiar por completo la industria médica, en el estudio de los huesos puede generar diagnósticos precisos y funcionales con base en análisis por IA u otras tecnologías de información que la industria 4,0 permite.</p>
Historia de la Sociedad Chilena de Radiología: reflexiones para el futuro	Pérez, C. (2023). Historia de la Sociedad Chilena de Radiología: reflexiones para el futuro. <i>Revista chilena de radiología</i> , 29(3), 93-108, <a href="http://dx.doi.org/10.24875/rchrad.23000051">http://dx.doi.org/10.24875/rchrad.23000051</a>	Evolución de la IA en la Medicina	<p>La IA evolucionó el mundo, las redes neuronales son un modelo de computación, cuya capacidad de cálculo está acotada por la capacidad de la máquina de Turing, que es hasta el día de hoy nuestra mejor formalización de la idea de algoritmo o</p>

---

			proceso mecánico.
Continuous learning AI in radiology: implementation principles and early applications	Pianykh, O., Langs, G., Dewey, M., Enzmann, D., Herold, C., Schoenberg, S., & Brink, J. (2020). Continuous learning AI in radiology: implementation principles and early applications. <i>Radiology</i> , 297(1), 7-16, <a href="https://doi.org/10.1148/radiol.2020200038">https://doi.org/10.1148/radiol.2020200038</a> .	Evolución de la IA en la Medicina	La IA va a ser una tecnología presente en nuestro trabajo cotidiano a través de máquinas o programas informáticos, que de manera más o menos transparente para el usuario, van a ir siendo una realidad cotidiana en los procesos sanitarios. Los profesionales sanitarios tenemos que conocer esta tecnología, sus ventajas y sus inconvenientes, porque va a ser una parte integral de nuestro trabajo.
La radiología en el diagnóstico de la neumonía por SARS-CoV-2 (COVID-19)	Sánchez, R., Nuez, J., & Martínez, G. (2020). La radiología en el diagnóstico de la neumonía por SARS-CoV-2 (COVID-19). <i>Medicina clínica</i> , 155(1), 36-40, doi: 10.1016/j.medcli.2020.03.004.	La insuficiencia de los métodos actuales para el diagnóstico efectivo de enfermedades óseas. Resaltando la situación crítica que genera la Osteoporosis, y propone nuevas estrategias apoyándose en nuevas	La IA tiene el potencial de cambiar por completo la industria médica, en el estudio de los huesos puede generar diagnósticos precisos y funcionales con base en análisis por IA u otras tecnologías de información que la industria 4,0 permite.

---

			tecnologías 4,0 como la IA.
Interventional radiology techniques for the management of abnormal uterine bleeding (AUB)	Serrano, E., Vas, D., Matute, M., & Gómez, F. (2023). Interventional radiology techniques for the management of abnormal uterine bleeding (AUB). <i>Clínica e Investigación en Ginecología y Obstetricia</i> , 50(1), 1007-1029, <a href="https://doi.org/10.1016/j.gine.2022.100797">https://doi.org/10.1016/j.gine.2022.100797</a> .	Evolución de la IA en la Medicina	La IA evolucionó el mundo, las redes neuronales son un modelo de computación, cuya capacidad de cálculo está acotada por la capacidad de la máquina de Turing, que es hasta el día de hoy nuestra mejor formalización de la idea de algoritmo o proceso mecánico. La IA va a ser una tecnología presente en nuestro trabajo cotidiano a través de máquinas o programas informáticos, que de manera más o menos transparente para el usuario, van a ir siendo una realidad cotidiana en los procesos sanitarios. Los profesionales sanitarios tenemos que conocer esta tecnología, sus ventajas y sus inconvenientes, porque va a ser una parte
Possibilities of radiography in the diagnosis of pneumonia in newborns	Мардиева, Г., & Ашуров, Ж. (2022). Possibilities of radiography in the diagnosis of pneumonia in newborns. <i>Uzbek journal of case reports</i> , 32(21), 67-94, URI: <a href="https://cyberleninka.ru/article/n/possibilities-of-radiography-in-the-diagnosis-of-pneumonia-in-newborns">https://cyberleninka.ru/article/n/possibilities-of-radiography-in-the-diagnosis-of-pneumonia-in-newborns</a> .	Evolución de la IA en la Medicina	

---

---

integral de  
nuestro trabajo.

---

**Fuente:** Elaboración propia

## **Conclusiones y recomendaciones**

Este es el capítulo final del proyecto, establece las conclusiones de los hallazgos presentados, así como las recomendaciones que surgen a partir de la experiencia con este proyecto, para que futuras investigativas de la misma línea puedan acoger para tener un mejor desempeño.

### **a. Implicaciones y Conclusiones**

La osteoporosis es una enfermedad ósea de alta prevalencia especialmente en poblaciones envejecidas que representa un importante problema de salud pública debido a su asociación con fracturas y complicaciones a largo plazo. La detección temprana de esta condición es crucial para implementar medidas preventivas y de tratamiento con el fin de reducir el riesgo de fracturas y mejorar la calidad de vida de los pacientes, sin embargo, los métodos convencionales de diagnóstico como densitometría ósea y las radiografías presentan limitaciones en términos de accesibilidad, costo y capacidad para detectar cambios sutiles en la densidad ósea.

Por ello la inteligencia artificial ha surgido como una herramienta prometedora que puede revolucionar el diagnóstico de la osteoporosis mediante el análisis de imágenes de rayos X, a través de algoritmos avanzados de aprendizaje automático y aprendizaje profundo, la IA puede ofrecer análisis precisos y rápidos de las imágenes superando algunas de las limitaciones de los métodos tradicionales.

La aplicación de inteligencia artificial en la radiología es un avance grande que la comunidad científica ha optimizado y mejorado los últimos cinco años y del cual se considera hay un potencial grande para transformar la práctica clínica con medios como el diagnóstico de osteoporosis, una enfermedad degenerativa que afecta de gran forma la calidad de vida de las personas.

La capacidad de los algoritmos de IA, especialmente las redes neuronales convolucionales, permiten analizar imágenes radiológicas con una precisión muy alta, muy superior a la de una persona que es propensa a equivocaciones por factores externos como sentimientos o agotamiento físico. Con esta capacidad de análisis profunda es posible detectar patrones sutiles de osteoporosis o de pequeñas fisuras óseas que podrían pasar desapercibidas en otros contextos y permitirían demostrar la enfermedad en una persona.

Los estudios revisados indican que la IA no solo mejora la precisión en la detección de osteoporosis, sino que también reduce significativamente el tiempo de diagnóstico. Por ejemplo, investigaciones recientes han demostrado que los sistemas basados en IA pueden alcanzar tasas de precisión superiores al 90% lo que subraya su potencial para transformar el enfoque del diagnóstico de esta enfermedad. Además, la comparación de los resultados de la IA con las evaluaciones manuales por radiólogos resalta cómo la IA puede complementar el juicio clínico humano mejorando la sensibilidad y especificidad del diagnóstico.

Lo anterior generaría una mejora radical en la detección oportuna de osteoporosis y anomalías en la densidad mineral ósea (DMO) y esto no solo optimiza la precisión diagnóstica, sino que permitiría atender oportunamente un problema de salud pública que afectaría bastante la vida de una persona.

El problema es que estos avances no están exentos de desafíos, los resultados no son siempre efectivos y actualmente deben ser revisados y corroborados por profesionales en salud si bien en la actualidad son herramientas de apoyo y gran ayuda para la comunidad médica, aún falta optimizar la IA para que esto sea una realidad aplicada.

## **b. Recomendaciones para Investigaciones Futuras**

Al momento de seguir la línea de investigación, se recomienda seguir las siguientes estrategias:

- Analizar como la IA puede ser mejorada u optimizada para la lectura de imágenes, no centrar la investigación general a la IA aplicada a radiología, sino a lectura de imágenes como tal, estudios han demostrado que la IA, pese a ser muy exacta, tiende a equivocarse con cosas simples, como normalizar que una persona tenga 6 dedos o que tenga más huesos, y esto puede generar errores en lectura, se debe estudiar como optimizar estos errores.
- Emplear fuentes de información de preferencia, publicados después de 2023, ya que entre los estudios se encontró que a partir de finales de 2022 se dieron avances considerables en el desarrollo de la IA, y, por ejemplo, si un artículo de 2019, que sigue siendo “actualizado” afirma que la IA no sirve, posiblemente ese concepto haya cambiado con las implementaciones y mejoras realizadas a estas tecnologías emergentes en 2022.
- Definir un alcance más específico, si bien se habla de radiología aplicada a osteoporosis, se recomienda alienar futuras investigaciones a un elemento concreto de este concepto, como bien podría ser las causas de diagnósticos equivocados, las causas que generan la enfermedad o los elementos puntuales para definir la enfermedad.

## Bibliografía

- Ahmadzia, H., Dzienny, A., Bopf, M., Phillips, J., Federspiel, J., Amdur, R., Rice, M., & Rodriguez, L. (2024). Machine Learning Models for Prediction of Maternal Hemorrhage and Transfusion: Model Development Study. *JMIR Bioinformatics and Biotechnology*. <https://doi.org/10.2196/52059>
- Aibar Almazán, A., Voltés Martínez, A., Castellote Caballero, Y., Afanador Restrepo, D. F., Carcelén Fraile, M. del C., & López Ruiz, E. (2022). Current Status of the Diagnosis and Management of Osteoporosis. *International Journal of Molecular Sciences*, *23*(16), 9465–9476. <https://doi.org/10.3390/ijms23169465>
- Álvarez, M., Quirós, L., & Cortés, M. (2020). Inteligencia artificial y aprendizaje automático en medicina. *Revista Medica Sinergia*, *5*(8). <https://doi.org/10.31434/rms.v5i8.557>
- Angelov, P., Soares, E., Jiang, R., Arnold, N., & Atkinson, P. (2021). Explainable artificial intelligence: an analytical review. *International Journal of Intelligent Systems WIRE*, *11*(5), 387–399. <https://doi.org/10.1002/widm.1424>
- Clynes, M., Harvey, N., Curtis, E., Fuggle, N., Dennison, E., & Cooper, C. (2020). The epidemiology of osteoporosis. *British Medical Bulletin*, *133*(1), 105–117. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldaa005>
- Devnath, L., Summons, P., Luo, S., Wang, D., Shaukat, K., Hameed, I., & Aljuaid, H. (2022). Computer-Aided Diagnosis of Coal Workers' Pneumoconiosis in Chest X-ray Radiographs Using Machine Learning: A Systematic Literature Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(11), 6439–6457.
- Escolano, F., Cazorla, M., Alfonso, M., Colomina, O., & Lozano, M. (2020). *Inteligencia artificial: modelos, técnicas y áreas de aplicación* (Cuarta Edición). Editorial Área Universitaria.

[https://books.google.com.co/books?id=\\_spC6S7UfZgC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.co/books?id=_spC6S7UfZgC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Fang, Y., Li, W., Chen, X., Chen, K., Kang, H., Yu, P., Zhang, R., Liao, J., Hong, G., & Li, S. (2021). Opportunistic osteoporosis screening in multi-detector CT images using deep convolutional neural networks. *Eur Radiol*, *31*, 1831–1842.

Ferreira, V., García, J., & Martí, M. (2021). Apuntes para la historia de la radiología en Matanzas (I): precursores y notas complementarias. *Revista Médica Electrónica*, *43*(6), 209–231. <https://www.medigraphic.com/pdfs/revmedele/me-2021/me216y.pdf>

Filella, X., & Guañabens, N. (2024). Utilidad clínica de los biomarcadores óseos: un desafío a la variabilidad. *Advances in Laboratory Medicine*, *5*(1), 15–23. <https://doi.org/10.1515/almed-2023-0041>

Flores, F., Diaz, S., & Arredondo, A. (2022). Análisis costo-efectividad de alternativas de tratamiento para osteoporosis en mujeres postmenopáusicas en México. *Horizonte Sanitario*, *21*(3). [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-74592022000300485](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-74592022000300485)

Gao, S., & Zhao, Y. (2023). Quality of life in postmenopausal women with osteoporosis: a systematic review and meta-analysis. *Quality of Life Research*, *32*(23), 1551–1563. <https://doi.org/10.1007/s11136-022-03281-1>

García, R., San Juan, M., & García, C. (2021). Reseña histórica sobre la evolución de la especialidad Medicina General Integral en Cienfuegos. *Medisur*, *19*(3), 399–412. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=109449>.

Gregson, C. L., Armstrong, D. J., Bowden, J., Cooper, C., Edwards, J., Gittoes, N. J. L., Harvey, N., Kanis, J., Leyland, S., Low, R., McCloskey, E., Moss, K., Parker, J., Paskins, Z., Poole, K., Reid, D. M., Stone, M., Thomson, J., Vine, N., & Compston, J. (2022). UK clinical

- guideline for the prevention and treatment of osteoporosis. *Archives of Osteoporosis*, 17(58), 1688–1711. <https://doi.org/10.1007/s11657-022-01061-5>
- Hamet, P., & Tremblay, J. (2017). Artificial intelligence in medicine. *Metabolism: Clinical and Experimental*, 69, 636–640. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2017.01.011>
- Hardy, M., & Harvey, H. (2020). Artificial intelligence in diagnostic imaging: Impact on the radiography profession. *British Journal of Radiology*, 93 (1108), 3478–3489. <https://doi.org/10.1259/bjr.20190840>
- Jácome, J., Camacho, M., Hidalgo, A., & Ruiz, C. (2019). Interpretación de la densitometría ósea. *RECIMUNDO*, 3(3), 428–443. [https://doi.org/10.26820/recimundo/3.\(3\).septiembre.2019.428-443](https://doi.org/10.26820/recimundo/3.(3).septiembre.2019.428-443)
- Johnston, C. B., & Dagar, M. (2020). Osteoporosis in Older Adults. *Medical Clinics of North America*, 104(5), 873–884. <https://doi.org/10.1016/j.mcna.2020.06.004>
- Kelly, B. S., Judge, C., Bollard, S. M., Clifford, S. M., Healy, G. M., Aziz, A., Mathur, P., Islam, S., Yeom, K. W., Lawlor, A., & Killeen, R. P. (2022). Radiology artificial intelligence: a systematic review and evaluation of methods (RAISE). *European Radiology*, 32 (11), 7998–8007. <https://doi.org/10.1007/s00330-022-08784-6>
- Kimball, J., Johnson, J., & Carlson, D. (2021). Oxidative Stress and Osteoporosis. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 103(15), 1451–1461. <https://doi.org/10.2106/JBJS.20.00989>
- Kroque, J. D., Cheng, K. V., Hwang, K. M., Toogood, P., Meinberg, E. G., Geiger, E. J., Zaid, M., McGill, K. C., Patel, R., Sohn, J. H., Wright, A., Darger, B. F., Padrez, K. A., Ozhinsky, E., Majumdar, S., & Pedoia, V. (2020). Automatic hip fracture identification and functional subclassification with deep learning. *Radiology: Artificial Intelligence*, 2(2). <https://doi.org/10.1148/RYAI.2020190023>

- Lanzagorta, D., Carrillo, D., & Carrillo, R. (2022). Inteligencia artificial en medicina: presente y futuro. *Gaceta Medica de Mexico*, *158*(1). <https://doi.org/10.24875/GMM.M22000688>
- León, J. (2023). *Uso de inteligencia artificial en radiología. Revisión de la literatura* [Universidad Católica de Cuenca ]. <https://dspace.ucacue.edu.ec/items/5fa8b9ee-79dd-4303-891e-9905e5ad0547>.
- Lubinus, F., Rueda, C., Marconi, B., & Arias, Y. (2021). Redes neuronales convolucionales: un modelo de Deep Learning en imágenes diagnósticas. Revisión de tema. *Revista Colombiana de Radiología*, *32*(3), 5591–5599. <https://doi.org/10.53903/01212095.161>
- Machado, F., Salas, R., & Rivero, B. (2023). Consideraciones teóricas sobre la radiografía digital como medio diagnóstico. *MEDISAN*, *27*(4). <https://orcid.org/0000-0002-1416-5725>
- Mebarkia, M., Meraoumia, A., Houam, L., & Khemaissia, S. (2023). X-ray image analysis for osteoporosis diagnosis: From shallow to deep analysis. *Displays*, *76*. <https://doi.org/10.1016/j.displa.2022.102343>
- Nieto Lucio, L., Reyes Padilla, E., Vanessa Aguilar Esparza, G., Torres González, R., colaboración con grupo FLS-MEX, en, Aguilar-Esparza, G., Clark, P., Coronado-Zarco, R., Denova-Gutiérrez, E., Kassim Javid, M., Medina-Rodríguez, F., Méndez-Sánchez, L., Montiel-Ojeda, D., Olascoaga Gómez de León, A., Quiroz Williams, J., Ramírez-Pérez, E., Reyes-Padilla, E., Sánchez-Trampe, B. I., Torres-González, R., & Viruega-Ávalos, J. M. (2019). Tratamiento quirúrgico de la fractura de cadera por osteoporosis. *Ortho-Tips*, *15*(2), 105–111. <http://www.medigraphic.com/orthotips>
- Ortega, R. M., Ortega, A. I. J., Martínez García, R. M., Cuadrado-Soto, E., Aparicio, A., & López-Sobaler, A. M. (2020). Nutrición en la prevención y el control de la osteoporosis. *Nutricion Hospitalaria*, *37*, 336–351. <https://doi.org/10.20960/nh.03360>

- Pérez, C. (2023). Historia de la Sociedad Chilena de Radiología: reflexiones para el futuro. *Revista Chilena de Radiología*, 29(3), 93–108. <https://doi.org/10.3171/jns.1974.41.2.0125>
- Pianykh, O., Langs, G., Dewey, M., Enzmann, D., Herold, C., Schoenberg, S., & Brink, J. (2020). Continuous learning AI in radiology: Implementation principles and early applications. *Radiology*, 297(1), 7–16. <https://doi.org/10.1148/radiol.2020200038>
- Rocha, J. (2021). Osteoporosis en los maxilares y sus métodos de diagnóstico: Revisión de literatura. *Odovtos - International Journal of Dental Sciences*, 23(1). <https://doi.org/10.15517/IJDS.2020.39367>
- Rondón, J., De la Espriella, V., & Sánchez, J. (2023). Osteoporosis: Una mirada práctica desde la óptica colombiana. *Revista Argentina de Endocrinología y Metabolismo*, 60(2), 37–50. [https://www.researchgate.net/publication/372250045\\_Osteoporosis\\_Una\\_mirada\\_practica\\_desde\\_la\\_optica\\_colombiana](https://www.researchgate.net/publication/372250045_Osteoporosis_Una_mirada_practica_desde_la_optica_colombiana)
- Rouhiainen, L. (2018). *INTELIGENCIA ARTIFICIAL 101 COSAS QUE DEBES SABER HOY SOBRE NUESTRO FUTURO INTELIGENCIA ARTIFICIAL*. Editorial Planeta, S.A. [www.planetadelibros.com](http://www.planetadelibros.com)
- Ruiz, C., Tassani, S., Di Gregorio, S., Martínez, S., González, M. A., Humbert, L., Noailly, J., & Del Río, L. M. (2020). Fragilidad relativa de fémures osteoporóticos evaluados con DXA y simulación de caídas con elementos finitos guiados por radiografías de urgencias. *Revista de Osteoporosis y Metabolismo Mineral*, 12(2), 62–70. <https://doi.org/10.4321/S1889-836X2020000200005>
- Sánchez, C. (2019). Osteoporosis y diagnóstico por radiografía convencional de fracturas vertebrales osteoporóticas. *Revista Medica Sinergia*, 3(10), 7–11. <https://doi.org/10.31434/rms.v3i10.143>

- Sánchez-Oro, R., Torres Nuez, J., & Martínez-Sanz, G. (2020). La radiología en el diagnóstico de la neumonía por SARS-CoV-2 (COVID-19). *Medicina Clinica*, 155 (1). <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2020.03.004>
- Sempértégui, E. (2018) Densitometría Ósea – Definición, Concepto y Qué es. <https://doctorsempertegui.com/densitometria-osea-definicion-concepto/>
- Velasquez, E. (2022) Estado del Arte de Machine Learning y su Aplicacion en el Experimento LHCb. Universidad Nacional Autónoma de Honduras. <https://mm.unah.edu.hn/dmsdocument/13661-estado-del-arte-de-machine-learning-y-su-aplicacion-en-el-experimento-lhcb-pdf>
- Urra-Albornoz, C., Vidal-Espinoza, R., Rivera-Portugal, M., Alul, A. U., Marques De Moraes, A., Lázari, E., Cossio-Bolaños, M., & Gomez-Campos, R. (2021). Densidad mineral ósea en adultos: Una revisión sistemática sobre las técnicas de medición. *Revista Especial Nutrición Comunitaria*, 27(4).
- Xing, L., Giger, M. L., & Min, J. K. (2020). Artificial Intelligence in Medicine: Technical Basis and Clinical Applications. In *Artificial Intelligence in Medicine: Technical Basis and Clinical Applications*. <https://doi.org/10.1016/C2019-0-02587-3>
- Yamada, Y., Maki, S., Kishida, S., Nagai, H., Arima, J., Yamakawa, N., Iijima, Y., Shiko, Y., Kawasaki, Y., Kotani, T., Shiga, Y., Inage, K., Orita, S., Eguchi, Y., Takahashi, H., Yamashita, T., Minami, S., & Ohtori, S. (2020). Automated classification of hip fractures using deep convolutional neural networks with orthopedic surgeon-level accuracy: ensemble decision-making with antero-posterior and lateral radiographs. *Acta Orthopaedica*, 91(6), 699–704. <https://doi.org/10.1080/17453674.2020.1803664>