

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL DIAGNÓSTICO Y EN EL TRATAMIENTO DE LESIONES MUSCULARES

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE DIAGNOSIS AND TREATMENT OF MUSCULAR INJURIES

Recibido el 22 de agosto de 2024 / Aceptado el 10 de diciembre de 2024 / DOI: 10.24310/riccafd.13.3.2024.20429

Correspondencia: Gallego-Londoño, C. cagallego4@areandina.edu.co

Gallego-Londoño, C^{1FC}; Afanador-Restrepo, DF^{2AD}; Dávila-Castañeda, MC^{3BC}; Bastidas-Ortega, C^{4BC}; Jurado-Carmona, R^{5B}; Martínez-Rodríguez, C^{6B}; Ramírez Gómez, S^{7B}.

¹ Fundación Universitaria del Área Andina, Colombia, cagallego4@areandina.edu.co

² Fundación Universitaria del Área Andina, Colombia, dafanador4@areandina.edu.co

³ Fundación Universitaria del Área Andina, Colombia, mdavila10@areandina.edu.co

⁴ Fundación Universitaria del Área Andina, Colombia, cbastidas9@estudiantes.areandina.edu.co

⁵ Fundación Universitaria del Área Andina, Colombia, rjurado4@estudiantes.areandina.edu.co

⁶ Fundación Universitaria del Área Andina, Colombia, cmartinez196@estudiantes.areandina.edu.co

⁷ Fundación Universitaria del Área Andina, Colombia, sramirez129@estudiantes.areandina.edu.co

Responsabilidades

^ADiseño de la investigación. ^BRecolector de datos. ^CRedactor del trabajo. ^DTratamiento estadístico. ^EApoyo económico. ^FIdea original y coordinador de toda la investigación

RESUMEN

Las lesiones musculoesqueléticas son una carga significativa para los sistemas de salud, destacando la relevancia de un diagnóstico y tratamiento precisos. Sin embargo, los métodos tradicionales pueden ser limitados en términos de precisión y eficacia. En este contexto, la inteligencia artificial (IA) se ha destacado como una herramienta prometedora, capaz de analizar grandes volúmenes de datos clínicos y radiológicos, mejorando tanto el diagnóstico como la personalización de las intervenciones terapéuticas.

Este artículo tiene como objetivo evaluar la eficacia de la IA en el diagnóstico y tratamiento de lesiones musculoesqueléticas con el objetivo de determinar su capacidad para mejorar la precisión diagnóstica y la efectividad terapéutica. Se realizó una revisión exploratoria basada en el marco metodológico PRISMA, en la que se identificaron y analizaron estudios relevantes mediante una búsqueda exhaustiva en bases de datos científicas.



Los resultados indican que la IA mejora significativamente la precisión del diagnóstico temprano de lesiones musculoesqueléticas, superando las limitaciones de los métodos tradicionales al identificar y analizar patologías complejas con mayor rapidez y exactitud. Además, se observa un papel crucial de la IA en la personalización de los tratamientos, adaptando las recomendaciones terapéuticas a las características individuales de los pacientes, contribuyendo potencialmente a mejorar los resultados clínicos.

No obstante, la implementación de la IA en la práctica clínica no está exenta de desafíos. La aceptación por parte de los profesionales de la salud y de los pacientes, y las preocupaciones éticas sobre la seguridad y privacidad de los datos médicos constituyen barreras significativas. Es crucial que la implementación de estas tecnologías considere rigurosamente estos aspectos para garantizar una integración efectiva y ética en la práctica clínica.

Este estudio sugiere que, si bien la IA tiene un gran potencial para transformar el manejo de las lesiones musculoesqueléticas, es necesario continuar con la investigación para abordar los desafíos éticos y prácticos, asegurando así una aplicación segura y eficaz en la medicina clínica.

■ PALABRAS CLAVE

Detección, Diagnóstico, Fisioterapia, Inteligencia Artificial, Lesiones musculoesqueléticas.

■ ABSTRACT

Musculoskeletal injuries represent a significant burden on healthcare systems, highlighting the importance of accurate diagnosis and treatment. However, traditional methods may be limited in terms of precision and efficacy. In this context, artificial intelligence (AI) has emerged as a promising tool, capable of analyzing large volumes of clinical and radiological data, thereby improving both diagnosis and the personalization of therapeutic interventions.

This article aims to evaluate the effectiveness of AI in the diagnosis and treatment of musculoskeletal injuries, aiming to assess its capacity to improve diagnostic accuracy and therapeutic efficacy. An exploratory review was conducted following the PRISMA methodological framework, in which relevant studies were identified and analyzed through a comprehensive search of scientific databases. The inclusion criteria focused on studies evaluating the use of AI in real clinical settings.

The results indicate that AI significantly improves the accuracy of early diagnosis of musculoskeletal injuries, surpassing the limitations of



traditional methods by identifying and analyzing complex pathologies with greater speed and precision. Additionally, AI plays a crucial role in the personalization of treatments, tailoring therapeutic recommendations to the individual characteristics of patients, which potentially improves clinical outcomes.

However, the implementation of AI in clinical practice is not without challenges. Acceptance by healthcare professionals and patients, as well as ethical concerns regarding data security and privacy, represent significant barriers. It is crucial that the implementation of these technologies rigorously considers these aspects to ensure effective and ethical integration into clinical practice.

This study suggests that while AI holds great potential to transform the management of musculoskeletal injuries, further research is necessary to address ethical and practical challenges, thus ensuring safe and effective application in clinical medicine.

■ KEY WORDS

Detection, Diagnosis, Physiotherapy, Artificial Intelligence, Musculoskeletal Injuries.

■ INTRODUCCIÓN

Las lesiones musculoesqueléticas representan una carga significativa para los sistemas de salud en todo el mundo, tanto en términos de costos como de morbilidad. Un diagnóstico preciso y un tratamiento adecuado son cruciales para obtener resultados óptimos en pacientes con este tipo de lesiones. Sin embargo, los métodos tradicionales de diagnóstico y tratamiento presentan limitaciones en términos de precisión, eficacia y personalización (1)

En este sentido, la inteligencia artificial (IA) ha surgido como una herramienta prometedora para mejorar el diagnóstico y tratamiento de las lesiones musculoesqueléticas. La IA puede analizar grandes cantidades de datos clínicos, radiológicos y genómicos para identificar patrones y variables relevantes que los profesionales médicos podrían pasar por alto (2) Sin embargo, a pesar del creciente interés en el uso de la IA en el campo de la salud, aún existen preguntas e inquietudes sobre su utilidad real y su aceptación por parte de los profesionales médicos y los pacientes. Es necesario examinar críticamente hasta qué punto la IA puede mejorar el diagnóstico y tratamiento de las lesiones musculoesqueléticas y comprender cómo se percibe esta tecnología en el entorno clínico, clarificando la brecha entre el potencial teórico y la implementación práctica.



La IA se centra en la capacidad de las máquinas para imitar el comportamiento humano y realizar tareas complejas (3). Surgió en la década de 1950, siendo la conferencia de Dartmouth un evento fundacional. El aprendizaje automático y el aprendizaje profundo son subcampos especializados enfocados en mejorar el rendimiento de las máquinas en tareas específicas como el aprendizaje, el razonamiento y la resolución de problemas (4).

Este enfoque dio paso al desarrollo de subcampos como el aprendizaje automático, que se centra en la creación de algoritmos y técnicas que permiten a las máquinas mejorar el desempeño de tareas específicas a través de la experiencia. Estos algoritmos, que generalmente requieren preprocesamiento de datos y extracción manual de características, se basan en métodos estadísticos, matemáticos e informáticos para identificar patrones en los datos y mejorar el rendimiento en tareas sin necesidad de programación detallada (5)

El aprendizaje profundo, un subcampo más especializado del aprendizaje automático, se enfoca en redes neuronales profundas diseñadas para imitar la estructura y función del cerebro humano. Estas redes aprenden automáticamente características y representaciones útiles directamente de los datos, eliminando la necesidad de preprocesamiento exhaustivo. El aprendizaje profundo ha impulsado avances significativos en áreas como el procesamiento de imágenes, el procesamiento del lenguaje natural, el reconocimiento de voz y el análisis de datos no estructurados (5)

El desarrollo acelerado de la IA ha sido impulsado por incentivos tecnológicos, financieros y humanos, resultando en avances importantes en diversas áreas (6). Por ejemplo, en la agricultura, se han desarrollado tecnologías para diagnosticar enfermedades en cosechas y sistemas de vigilancia del suelo (7), en la manufactura, se utilizan robots con capacidades de desplazamiento y localización de objetos; y en la educación, la IA está transformando el papel del profesor en el aula y facilitando tutorías personalizadas para los estudiantes (8) (9).

En el ámbito clínico, la IA se utiliza para apoyar el trabajo de los profesionales de la salud, facilitando diagnósticos y tratamientos más objetivos y eficientes. Sin embargo, no es completamente confiable y debe complementarse con el razonamiento clínico humano. Los algoritmos de IA pueden ser una herramienta valiosa, pero es fundamental evaluar su validez clínica y la confiabilidad de los algoritmos en comparación con los métodos tradicionales (8). Esto subraya la necesidad de que los profesionales de la salud adquieran nuevas habilidades para interactuar con la IA y supervisar sus procesos clínicos, asegurando la reproducibilidad y precisión de los resultados (10).



La IA facilita una asistencia terapéutica más eficaz y promueve la innovación clínica al aprender de grandes bases de datos que contienen información sobre marcadores biológicos de numerosos usuarios. Esto ofrece a los pacientes un mayor control sobre sus patologías y facilita intervenciones más precisas por parte de los profesionales de salud (9). Aunque los algoritmos de IA pueden mejorar la predicción de eventos relacionados con la salud, es necesario evaluar el impacto de su implementación en la relación médico-paciente y en la percepción de los pacientes sobre la incorporación de esta tecnología (10).

Los modelos de aprendizaje automático tienen el potencial de identificar relaciones complejas en los datos, mejorando el rendimiento predictivo y brindando respuestas relevantes para los pacientes y los profesionales de la salud. En salud pública y medicina, estudios han demostrado mejoras significativas en la calidad de vida de los pacientes, la gestión anticipada de enfermedades y la automatización de procesos, logrando altas tasas de sensibilidad, especificidad, precisión, valor predictivo positivo y valor predictivo negativo (11).

Estudios previos han explorado la utilidad de la IA en el diagnóstico y tratamiento de diversas patologías musculoesqueléticas, como el impacto de programas de salud asistidos por IA en trabajadores con dolor cervical y lumbar (12), el uso de la IA en condiciones musculoesqueléticas, destacando su aplicación en radiología, traumatología y rehabilitación (13), la mejora en la detección y diagnóstico de lesiones musculoesqueléticas, lo que puede tener un impacto significativo en la atención de emergencia y en la gestión de pacientes con este tipo de traumatismos (14), y su uso en la medicina para el análisis de datos complejos para diagnóstico, tratamiento y predicción de resultados clínicos (15).

En este contexto, el objetivo de esta revisión exploratoria fue realizar un análisis exhaustivo de la literatura existente sobre la aplicación de la inteligencia artificial en el diagnóstico y tratamiento de lesiones musculoesqueléticas. Se buscó evaluar la eficacia comparativa de la IA frente a métodos tradicionales, como el diagnóstico clínico y radiológico, y su capacidad para personalizar los planes de tratamiento basados en las características individuales de cada paciente. Esta revisión proporciona una visión integral de los avances y limitaciones actuales de la IA en este campo, identificando áreas prometedoras para futuras investigaciones. Además, pretende ampliar el cuerpo de conocimiento existente, estableciendo una conexión crítica entre la aplicación práctica de la IA en la clínica y su potencial para transformar la atención médica de manera significativa, destacando tanto sus beneficios como los retos éticos y operativos en su implementación.



■ MÉTODO

Se diseñó una revisión exploratoria siguiendo el marco metodológico establecido por PRISMA. La elección de realizar una revisión exploratoria se fundamentó con el objetivo de hacer una inspección que abarque diferentes tipos de revisiones enmarcadas en la utilidad de la IA. El proceso de revisión se dividió en 5 pasos secuenciales: (I) identificación de la pregunta de investigación; (II) identificación de estudios relevantes; (III) elección de estudios; (IV) extracción y análisis de datos y (V) recopilación, resumen y presentación de resultados.

Recopilación de datos:

La pregunta de investigación (Paso I) de esta revisión exploratoria fue: ¿Qué uso se le da a la Inteligencia Artificial para el diagnóstico y tratamiento de lesiones musculoesqueléticas? Para la identificación de los estudios relevantes (Paso II), se llevó a cabo una exhaustiva búsqueda en bases de datos electrónicas utilizando términos adecuados. Inicialmente, se realizó una búsqueda en la base de datos utilizando una consulta de términos como “IA”, “Lesiones osteomusculares”, “diagnóstico” y “Tratamiento” con el fin de identificar artículos pertinentes y las palabras clave más utilizadas. Posteriormente, se definió una cadena de búsqueda que empleaba términos MeSH y palabras de texto libre, utilizando operadores booleanos como “OR” y “AND”, y agrupando las palabras clave entre comillas y dividiendo diferentes conceptos a través de paréntesis. Este enfoque meticuloso permitió asegurar la exhaustividad de la búsqueda y la inclusión de la mayor cantidad posible de fuentes relevantes. Para la construcción de la cadena de búsqueda se combinaron términos MeSH junto con palabras clave observadas en la literatura unidas con operadores booleanos dando como resultado lo siguiente: (“Injuries” OR “skeletal injuries” OR “Musculoskeletal injuries”) AND (“Early diagnostic” OR “Diagnostic” OR “Early detection” OR “Physiotherapy” OR “Exercise prescription” OR “Physical therapy” OR “Exercise” OR “Rehabilitation” AND (“artificial intelligence” OR “AI”).

Después de realizada la búsqueda de estudios, se procedió a su selección (Paso III). Los títulos y resúmenes fueron revisados para determinar la relevancia de los artículos. Posteriormente, se realizó una revisión integral de los textos completos de los artículos seleccionados para identificar aquellos que cumplieran con los criterios de selección previamente definidos.



Análisis y tratamiento de datos:

El flujo de trabajo estándar del se centrará en las introducciones y resúmenes para que después en la toda la información necesaria se pueda adquirir de los textos completos, para que de esta manera sea posible organizar y manejar la información necesaria que cumpla los criterios de selección. Para establecer un acuerdo y resolver las discrepancias en la aplicación de los criterios de selección de estudios, los revisores examinaron las introducciones, resúmenes y textos completos. Adicionalmente, al principio y al final, y a lo largo de la etapa de selección del estudio, los revisores se reunirán con el equipo del estudio para analizar los desafíos e inconvenientes y mejorar la estrategia de búsqueda o los criterios de inclusión si es necesario (Paso IV). Luego se recopilan todos los datos y hallazgos obtenidos de los estudios seleccionados (durante el paso IV), en forma de citas relevantes. Los resultados recopilados se resumen y organizan de manera coherente y comprensible, se realiza un análisis más detallado de las búsquedas y resultados resumidos y analizados se presentan de manera clara y concisa en el informe final de la revisión exploratoria (Paso V).

■ RESULTADOS

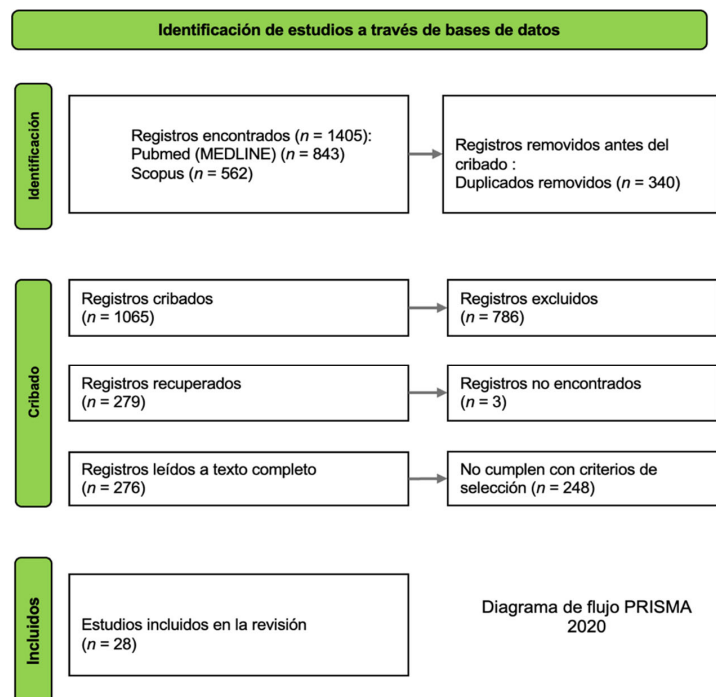


Fig. 1. Identificación de estudios a través de bases de datos

Descripción general de los estudios incluidos.

En la revisión se identificaron un total de 28 estudios relevantes en bases de datos científicas como Pubmed y scopus, enfocados en la aplicación de la IA en el ámbito médico. Los estudios seleccionados cubren diversas áreas, como diagnósticos médicos, predicción de enfermedades y toma de decisiones clínicas. De los 28 artículos, se incluyen estudios de tipo monográficos, revisiones y ensayos clínicos. Los estudios provienen de una amplia variedad de países, incluyendo Estados Unidos, España, Japón, Pakistán, Perú, entre otros. Los resultados indican que la IA tiene un potencial significativo para mejorar la precisión diagnóstica y la eficiencia en los tratamientos médicos, aunque también se destacan retos relacionados con la ética y la necesidad de una validación clínica rigurosa.

Tabla 1. Características de los estudios incluidos.

Estudio	Autor(es)	Año de Publicación	Tipo de Estudio	Tamaño de la muestra	Contexto de la IA	Modalidad de IA Utilizada	Resultados Clave
1	Soriano et al.	2018	Artículo de revisión	No Aplica	No aplica	No aplica	Dolor de espalda y cervical fueron los mayores contribuyentes a la discapacidad en 2016. Aumento significativo en la carga debida a Alzheimer y demencias. El tabaco es el riesgo más relevante que debe abordarse.
2	Ahmed et al.	2020	Artículo de revisión	No aplica	Mejorar la atención y precisión médica.	Plataformas multifuncionales de aprendizaje automático	La implementación de plataformas de aprendizaje automático en la medicina de precisión puede mejorar los resultados del paciente y reducir costos, proporcionando diagnósticos avanzados y tratamientos personalizados.
3	Saqib et al.	2023	Revisión integral	No aplica	Diagnóstico, predicción de progresión de enfermedades y ayuda en la toma de decisiones.	Aprendizaje automático, redes neuronales, refuerzo de aprendizaje	La IA tiene un gran potencial para mejorar la atención en enfermedades críticas, ayudando en el diagnóstico, predicción de la progresión de la enfermedad y toma de decisiones clínicas. Los desafíos incluyen la necesidad de transparencia y confiabilidad en las recomendaciones de IA. La implementación adecuada puede revolucionar la atención a pacientes críticos y mejorar la eficiencia de los sistemas de salud.

Estudio	Autor(es)	Año de Publicación	Tipo de Estudio	Tamaño de la muestra	Contexto de la IA	Modalidad de IA Utilizada	Resultados Clave
4	Jordan	2015	Artículo de revisión	No aplica	Visión general de la IA	No aplica	Proporciona una visión general de las definiciones de IA, desarrollo histórico, relación con otras disciplinas y áreas principales.
5	Gyftopoulos et al.	2019	Artículo de revisión	No aplica	Diagnóstico por imagen en el sistema musculoesquelético	Redes neuronales convolucionales, Algoritmos de aprendizaje profundo	Discute los avances en el uso de la IA para el diagnóstico por imagen en el sistema musculoesquelético, destacando mejoras en la precisión diagnóstica y la reducción de errores.
6	Incio Flores et al.	2021	Artículo de revisión	No aplica	Aportes del uso de la IA en la educación	Redes neuronales, Big Data, Asistentes digitales virtuales, Visión por computador, Aprendizaje profundo, Aprendizaje automático	La revisión analiza el uso de la IA en la educación, destacando mejoras en la motivación del aprendizaje, rendimiento académico, prevención de la deserción escolar, retroalimentación de conocimientos y tutorías inteligentes.
7	Jung et al.	2021	Revisión sistemática	No aplica	Mejora de la resiliencia en la producción agrícola	Sensores remotos y sistemas no tripulados	Los sistemas no tripulados y AI pueden medir con precisión la información fenotípica en campo a gran escala e integrarla en herramientas predictivas y prescriptivas.
8	Cuestas	2023	Artículo de revisión	No aplica	Diagnóstico clínico	Redes neuronales profundas	La IA puede igualar o superar en diagnóstico, pero el razonamiento humano sigue siendo crucial por su capacidad de pensamiento moral y creativo.
9	Cox	2021	Eexploración conceptual y narrativa.	No aplica	Educación superior, con un enfoque en cómo la inteligencia artificial y los robots podrían influir en este campo en el futuro.	Conceptos sobre IA y robots en la educación.	El artículo presenta "design fictions" para explorar potenciales impactos, beneficios y desafíos asociados con la implementación de IA y robots en la educación superior, y cómo podrían influir en el aprendizaje, la enseñanza y la administración universitaria.

Estudio	Autor(es)	Año de Publicación	Tipo de Estudio	Tamaño de la muestra	Contexto de la IA	Modalidad de IA Utilizada	Resultados Clave
10	Aguirre et al.	2021	Artículo de revisión	No aplica	Análisis de imágenes médicas	Aprendizaje profundo (deep learning), redes convolucionales	La IA ha revolucionado la imagenología médica mediante el análisis de imágenes digitales, mejorando el reconocimiento de estructuras y la segmentación automática de lesiones. La implementación de deep learning ha permitido una mayor precisión y eficiencia en el diagnóstico radiológico. La revisión destaca el crecimiento exponencial de estas tecnologías y su potencial para transformar la práctica médica al optimizar los procesos diagnósticos y de tratamiento.
11	Martinez et al.	2022	Revisión sistemática	147 artículos	Toma de decisiones en medicina y procedimientos quirúrgicos	Sistemas expertos, aprendizaje de máquinas, robótica	Aplicaciones de IA en medicina y procedimientos quirúrgicos aportan innovación y un cambio revolucionario en lo académico, clínico y epidemiológico. 29 de 147 artículos tuvieron impacto positivo en la toma de decisiones.
12	Anan et al.	2021	Ensayo clínico aleatorizado controlado	94 participantes	Programa de salud asistido por IA para trabajadores	Chatbot de mensajería móvil para ejercicios y promoción de salud	El programa asistido por IA mejoró significativamente el dolor y la rigidez de cuello/hombros y el dolor lumbar en los trabajadores en comparación con el grupo de control. La adherencia al programa fue alta, con un 92% de participantes completándolo.
13	Román-Belmonte et al.	2021	Artículo de revisión	No aplica	Varias aplicaciones en medicina musculoesquelética	Aprendizaje profundo, redes neuronales convolucionales	IA está en etapas tempranas en medicina musculoesquelética pero muestra potencial en radiología, traumatología, cirugía ortopédica, medicina física y de rehabilitación, y medicina deportiva.
14	Ajmera et al.	2021	Artículo de revisión	No aplica	Diagnostico	Aprendizaje profundo	La IA puede analizar imágenes médicas con sensibilidad y especificidad similar a la de expertos.
15	Ramesh et al.	2004	Artículo de revisión	No aplica	Diagnóstico y tratamiento	Redes neuronales artificiales, sistemas expertos difusos, computación evolutiva, sistemas híbridos	Las técnicas de IA tienen el potencial de ser aplicadas en casi todos los campos de la medicina. Las redes neuronales artificiales son las herramientas analíticas más utilizadas. Se necesitan más ensayos clínicos para validar su aplicación práctica en entornos clínicos reales.

Estudio	Autor(es)	Año de Publicación	Tipo de Estudio	Tamaño de la muestra	Contexto de la IA	Modalidad de IA Utilizada	Resultados Clave
16	Fritz et al.	2022	Artículo de revisión de alcance	No aplica	Diagnóstico de desórdenes articulares mediante resonancia magnética	Aprendizaje profundo	Algoritmos de IA pueden detectar desgarros del ACL, menisco y trastornos del manguito rotador con rendimiento similar al humano.
17	Itoh et al.	2022	Ensayo clínico abierto, aleatorizado, en paralelo	99 pacientes (48 en el grupo de ejercicio, 51 en el grupo convencional)	Educación y terapia de ejercicio para el dolor lumbar crónico	Chatbot de mensajería móvil	La terapia de ejercicio y educación mediante una aplicación móvil no mostró un impacto significativo en la productividad laboral, pero mejoró los síntomas del dolor lumbar, la calidad de vida y el miedo al movimiento en comparación con el grupo convencional.
18	Chen et al.	2021	Diario académico	Datos de más de 100,000 usuarios activos de la plataforma Joisports	Prescripción de ejercicio para mejorar la condición física de grupos sub-saludables	Red neuronal de cuatro capas	El sistema desarrollado proporciona prescripciones de ejercicio cuantitativas y personalizadas, mostrando una alta precisión en la recomendación de modos de ejercicio de uno, dos y tres meses, con errores medios absolutos en la predicción de la frecuencia cardíaca en reposo de 3.15, 2.89 y 2.75 BPM respectivamente.
19	Joison et al.	2021	Artículo de revisión	No aplica	Educación médica y predicción en salud	Aprendizaje profundo, algoritmos genéticos	La IA tiene el potencial de transformar la educación médica y la predicción de enfermedades, mejorando el desempeño diagnóstico y la personalización de la atención en salud.
20	Pankhania	2020	Artículo de revisión	No aplica	Diagnóstico en radiología musculoesquelética	Redes neuronales convolucionales, aprendizaje profundo	La IA ha mejorado la pre-procesamiento, adquisición, y análisis de imágenes radiológicas musculoesqueléticas, como la segmentación de imágenes y detección de fracturas.
21	Insuasti et al.	2022	Artículo de revisión	49 artículos	Diagnóstico en radiología	Aprendizaje automático, aprendizaje profundo	La IA es esencial para mejorar la precisión diagnóstica y la eficiencia en radiología, pero su implementación requiere superar barreras como la desconfianza y el costo elevado.
22	Tack	2018	Artículo de revisión	No aplica	Diagnóstico, planificación de tratamiento, seguimiento del progreso y automatización de tareas	Aprendizaje automático	La IA y el aprendizaje automático muestran potencial para mejorar la fisioterapia a través de la automatización de tareas, pero se necesita más educación en datos para su implementación efectiva.

Estudio	Autor(es)	Año de Publicación	Tipo de Estudio	Tamaño de la muestra	Contexto de la IA	Modalidad de IA Utilizada	Resultados Clave
23	Laur et al.	2021	Artículo de revisión	No aplica	Diagnóstico de trauma musculoesquelético	Aprendizaje profundo (redes neuronales convolucionales)	La IA y ML están bien posicionadas para ayudar a los radiólogos en la detección de fracturas, mejorando la precisión diagnóstica y reduciendo el agotamiento. Los algoritmos han mostrado una alta precisión, comparable a la de radiólogos expertos.
24	Seow et al.	2020	Revisión sistemática	10 estudios	Predicción de lesiones musculoesqueléticas en deportes profesionales	Árbol de decisión, regresión logística	Los modelos de predicción evaluados presentan un rendimiento deficiente debido a la dificultad para detectar efectos reales en tamaños de muestra pequeños con bajas tasas de lesiones.
25	Pelle et al.	2020	Ensayo controlado aleatorizado	427 participantes	Aplicación de la IA para manejo de osteoartritis	Aprendizaje automático	El estudio encontró que la aplicación dr. Bart no alteró significativamente las consultas de atención sanitaria secundaria y solo mostró pequeños efectos no clínicamente relevantes en el dolor, síntomas y actividades diarias de personas con osteoartritis de rodilla y/o cadera.
26	Christopoulou et al.	2019	Artículo de revisión	No aplica	No aplica	No aplica	ANGPTL3 (Angiopietin-Like 3) podría ser un objetivo terapéutico para la dislipidemia y la disglucemia, especialmente en resistencia a la insulina. Se requieren más estudios en humanos.
27	Ávila et al.	2020	Artículo de revisión	No aplica	Diagnóstico y seguimiento de pacientes	Algoritmos lógicos y aprendizaje automático	La IA está revolucionando la medicina, con aplicaciones en diagnóstico, tratamiento, seguimiento de pacientes, y en la predicción y prevención de enfermedades. Se destaca la importancia de conocer la IA en la práctica médica cotidiana.
28	Calivà et al.	2022	Artículo de revisión	No aplica	Diagnóstico y pronóstico de la osteoartritis mediante resonancia magnética	Aprendizaje profundo	La IA mejora la adquisición de imágenes, postprocesamiento, diagnóstico y pronóstico de la osteoartritis. Potencial para mejorar la investigación clínica y la atención al paciente.



■ DISCUSIÓN

Análisis de los Estudios Seleccionados

El análisis de los estudios seleccionados revela un notable interés en la aplicación de la inteligencia artificial (IA) en el ámbito de la medicina musculoesquelética, con enfoques que abarcan desde la imagenología hasta la gestión de la salud digital. Por ejemplo, Gyftopoulos et al. (2019) discuten el estado actual de la IA en la imagenología musculoesquelética y sus direcciones futuras, destacando la importancia de su implementación para mejorar el diagnóstico y la planificación del tratamiento. Además, la investigación de Román-Belmonte et al. (2021) subraya el papel de la IA en condiciones musculoesqueléticas, ofreciendo una visión comprensiva del impacto de estas tecnologías en la mejora de la atención de los pacientes. Otros estudios, como el de Ajmera et al. (2021), realizan análisis del uso de plataformas de IA en el trauma musculoesquelético, evidenciando su aplicabilidad clínica y su potencial para optimizar el manejo de lesiones. Además, el trabajo de Fritz y Fritz (2021) resalta la utilidad de las técnicas de aprendizaje profundo para el diagnóstico por imagen en articulaciones, sugiriendo que estas tecnologías pueden superar los métodos tradicionales en términos de precisión diagnóstica (16).

Síntesis de los Resultados

Los resultados sintetizados indican que la IA puede mejorar significativamente la precisión y eficacia de las intervenciones médicas en lesiones musculoesqueléticas. Los estudios muestran que la IA se utiliza efectivamente en la interpretación de imágenes médicas, donde algoritmos avanzados logran detectar y clasificar lesiones con un alto grado de exactitud (5)(16). Además, los programas de salud digital que incorporan IA, como los chatbots y aplicaciones móviles, han demostrado ser beneficiosos para la autogestión de pacientes con problemas musculoesqueléticos, lo que potencia la adherencia al tratamiento y mejora los resultados clínicos (12)(17). La personalización de recomendaciones terapéuticas mediante sistemas de IA también aparece como una estrategia prometedora para mejorar los resultados de los pacientes (18).

Temas emergentes y brechas en la literatura.

La formación sobre el uso de tecnologías de IA en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades musculoesqueléticas está en aumento,



aunque existe una necesidad clara de estructuras educativas estandarizadas que preparen a los médicos para utilizar estas herramientas eficazmente en la práctica clínica (19) (9).

Adicionalmente se observa un creciente enfoque en desarrollar aplicaciones que posibiliten que los pacientes gestionen su condición musculoesquelética mediante herramientas digitales, reflejando un cambio hacia la atención centrada en el paciente y la autogestión (2)(12). Sin embargo, se necesita más investigación para validar la efectividad de estas aplicaciones en diversos grupos poblacionales.

Aunque a medida que la IA se integra más en la atención médica, surgen importantes consideraciones éticas relacionadas con la privacidad, la responsabilidad y la toma de decisiones automatizadas. La literatura actual discute la necesidad de establecer marcos claros que guíen el uso ético de la IA en la clínica (9)(11).

Resumen de la Evidencia

IA en el diagnóstico de lesiones musculares.

La implementación de la inteligencia artificial (IA) ha revolucionado el campo de la radiología musculoesquelética, particularmente en la detección y análisis de lesiones musculares. A pesar del potencial de los algoritmos de aprendizaje profundo, su aplicación en imágenes por resonancia magnética (RM) musculoesquelética ha enfrentado limitaciones debido a la complejidad de los protocolos de imagen. No obstante, los recientes avances en el desarrollo de algoritmos de aprendizaje profundo para la detección de lesiones internas en la RM musculoesquelética demuestran un claro potencial para transformar la práctica clínica y superar estas limitaciones (16).

La creciente complejidad y diversidad de los desafíos en la radiología musculoesquelética impulsa la búsqueda de soluciones innovadoras. La integración estratégica de la IA y el aprendizaje automático presenta un gran potencial para abordar las limitaciones existentes en el diagnóstico de lesiones musculares (20). Los avances en visión por computadora y en algoritmos de aprendizaje profundo han permitido el desarrollo de herramientas sofisticadas que pueden identificar y analizar patologías complejas con mayor precisión y rapidez (5). Por ejemplo, las redes neuronales convolucionales se han utilizado en varios estudios para detectar lesiones de ligamentos y meniscos, mostrando resultados prometedores en la identificación temprana de estas lesiones (16).

Estos avances representan un hito importante en el desarrollo de la práctica clínica, abriendo la posibilidad de una evaluación más precisa e integral de las lesiones musculoesqueléticas mediante técnicas



avanzadas de imagen como la RM y la tomografía computarizada (TC) (20). Se ha demostrado, por ejemplo, que las redes neuronales profundas en serie son efectivas para detectar roturas del ligamento cruzado anterior, mejorando así la precisión del diagnóstico en estos casos específicos (16). La implementación estratégica de estos avances tecnológicos tiene el potencial de mejorar significativamente la calidad del diagnóstico y la atención médica en radiología musculoesquelética (20).

Sin embargo, es crucial considerar las diferencias regionales en la incidencia de patologías, ya que no es adecuado emplear el mismo algoritmo para la clasificación de datos en regiones distintas a aquellas en las que fue entrenado. Incluso cuando los algoritmos han sido entrenados con una cantidad adecuada de datos, pueden no desempeñarse de manera óptima en situaciones poco comunes (21).

Papel de la IA en la identificación de lesiones musculares.

La IA desempeña un papel crucial en la identificación y tratamiento de lesiones musculares, especialmente en situaciones traumáticas que requieren atención de emergencia. La creciente demanda de imágenes médicas ha aumentado la presión sobre los radiólogos, contribuyendo al agotamiento y a errores de interpretación. La IA y el aprendizaje automático ofrecen soluciones al automatizar procesos, mejorar la precisión diagnóstica y reducir la carga de trabajo (22).

En el contexto específico de las lesiones musculares, la capacidad de la IA para analizar imágenes médicas, como RM y TC, permite una identificación más rápida y precisa de las lesiones. Los algoritmos de aprendizaje profundo, especialmente aquellos con enfoque supervisado, pueden entrenarse en conjuntos de datos con imágenes de lesiones musculares etiquetadas, lo que permite a la IA identificar patrones y características asociados con diferentes tipos de lesiones (23).

Las lesiones musculares son comunes y tienen repercusiones sustanciales en diversos contextos. Estas lesiones, al ser debilitantes y generar costos significativos, han suscitado un creciente interés en la aplicación de la IA para su identificación y predicción (24). En el ámbito de la salud musculoesquelética, la capacidad de desarrollar modelos de predicción efectivos se presenta como una oportunidad para prevenir complicaciones, mejorar la toma de decisiones clínicas y optimizar la asignación de recursos (12). La combinación de técnicas avanzadas, como el aprendizaje automático, ofrece un enfoque prometedor para estimar la probabilidad de lesiones musculares y, por ende, permitir una intervención proactiva (24).



Los modelos de IA proporcionan herramientas valiosas en la investigación médica, permitiendo la identificación de riesgos de enfermedades, la personalización de pruebas de detección temprana, la predicción de respuestas a tratamientos y la realización de pronósticos precisos. Este enfoque tiene implicaciones significativas para la rehabilitación musculoesquelética, donde la comprensión del paciente sobre su condición y su compromiso con hábitos saludables, incluida la adherencia al ejercicio, son cruciales para el éxito del proceso de recuperación (9). La aplicación de la IA en la reducción de síntomas asociados a patologías musculoesqueléticas, como la artrosis, muestra un potencial prometedor, aunque se necesita más investigación para determinar si la IA puede convertirse en una opción terapéutica sólida para abordar aspectos específicos de estas patologías (4).

En el ámbito educativo, la IA puede transformar la formación de profesionales y profesores mediante plataformas innovadoras que mejoran habilidades prácticas y refuerzan el conocimiento morfofisiológico, incorporando tecnologías como la realidad aumentada y virtual. Para los pacientes, la IA presenta un potencial motivador en la realización de programas de ejercicio, sugiriendo un papel valioso en la mejora de la autoeficacia y el autocuidado en trastornos musculoesqueléticos. Aunque la literatura actual es limitada, la educación respaldada por IA podría ser una herramienta crucial en la facilitación de la recuperación y el empoderamiento del paciente en el manejo de su salud musculoesquelética (10).

¿Cómo se puede utilizar la IA en el tratamiento de lesiones osteomusculares?

La IA se define como un conjunto de sistemas informáticos capaces de emular distintas funcionalidades de la inteligencia humana. En el contexto de las lesiones osteomusculares, la IA puede integrarse en todo el plan de intervención y tratamiento del paciente, aportando diferentes utilidades y beneficios. Un estudio refirió que el uso de un sistema interactivo de promoción de la salud asistido por IA, basado en ejercicio para trabajadores con dolor y rigidez en cuello, hombros y con lumbalgia, mostró mejoras significativas en la gravedad de sus deficiencias (12).

Si bien se ha demostrado que la IA puede reducir significativamente el dolor crónico en pacientes con lesiones osteomusculares, se ha documentado que la aplicación “Dr. Bart” genera pequeños efectos positivos en el tratamiento de la osteoartritis, en comparación con la atención habitual (17). Otro estudio destacó que el uso de sistemas interactivos de promoción de la salud asistidos por IA, basados en



ejercicios, genera mejoras significativas en la gravedad de las deficiencias osteomusculares, específicamente en el dolor y la rigidez en cuello y hombros, así como en la lumbalgia (12), demostrando además efectos positivos en el tratamiento y en el manejo de pacientes con osteoartritis en comparación con la atención habitual (25).

Por otro lado, se ha demostrado que la IA permite una prescripción de tratamientos más precisa y objetiva, considerando todas las características del individuo. Un estudio evidenció la eficacia de un sistema de prescripción de ejercicio utilizando datos del paciente para entrenar un modelo de IA, obteniendo una precisión del 95,80% en las pruebas diseñadas (18).

Beneficios del uso de la IA en el tratamiento fisioterapéutico de las lesiones osteomusculares.

La IA tiene el potencial de transformar la atención médica al mejorar los resultados, aumentar la productividad y la eficiencia en la prestación de servicios en diversas especialidades. Los nuevos métodos digitalizados, en un contexto fisioterapéutico, aportan una alta certeza en el tratamiento y en la intervención mediante programas de ejercicio en lesiones osteomusculares (19).

Además, la IA optimiza la atención al paciente al acelerar los procesos y mejorar la precisión diagnóstica, lo que abre un amplio camino para una atención asistencial más eficiente. También se puede aplicar para predecir reacciones adversas al tratamiento, mejorando la seguridad del paciente (26). Por otro lado, es evidente que muchos asistentes robóticos, equipados con sistemas de IA, están siendo desarrollados para aplicaciones en salud, particularmente en áreas de información y comunicación. Estos sistemas representan un avance significativo en la monitorización y el acompañamiento de los pacientes durante su tratamiento (27). En estudios sobre la IA aplicada a la RM en personas con osteoartritis, se ha destacado que esta tecnología no solo proporciona un enfoque más objetivo en el tratamiento, sino que también ofrece un bajo costo y un fácil acceso a los beneficios de dicha intervención (28).

■ CONCLUSIONES

La presente revisión exploratoria ha evaluado de manera integral la utilidad de la IA en el diagnóstico y tratamiento de lesiones musculoesqueléticas, abordando dos dimensiones críticas: la precisión diagnóstica y la personalización del tratamiento. Se encontró que las técnicas de IA, especialmente los algoritmos de aprendizaje profundo, han demostrado un gran potencial para mejorar la precisión en el diagnóstico temprano de estas lesiones. En comparación con los métodos tradicionales, la



IA ofrece ventajas significativas en términos de velocidad y exactitud en la identificación de patologías complejas a través de imágenes de resonancia magnética y tomografías computarizadas. Sin embargo, la disponibilidad de datos y las variaciones geográficas son consideraciones esenciales para el entrenamiento óptimo de estos algoritmos. Futuras investigaciones deberían centrarse en adaptar estas tecnologías a contextos regionales específicos, teniendo en cuenta características epidemiológicas y demográficas distintivas.

En el ámbito del tratamiento, la IA juega un papel crucial al facilitar la personalización de los planes de intervención. Los algoritmos de aprendizaje automático se ajustan de manera efectiva a las características individuales de cada paciente, proporcionando recomendaciones terapéuticas personalizadas basadas en su historial médico y factores de riesgo. La IA no solo proporciona instrucciones específicas sobre ejercicios y tratamientos, sino que también permite un seguimiento continuo del progreso del paciente, ajustando los planes de tratamiento según sea necesario. Para maximizar su efectividad en la práctica clínica, es necesario establecer protocolos claros que guíen la recopilación y aplicación de datos del paciente.

Además, la aceptación y satisfacción de los profesionales de la salud y los pacientes en relación con el uso de IA son fundamentales para su exitosa integración en la práctica médica. La capacitación adecuada, la educación continua y una comunicación transparente sobre las capacidades y limitaciones de las herramientas de IA son indispensables para superar obstáculos relacionados con la confianza y adaptación a nuevas tecnologías. La participación activa de los profesionales y pacientes en el desarrollo y evaluación de estas herramientas es crucial para incrementar tanto la aceptación como la satisfacción.

A pesar de los avances registrados, persisten desafíos en el desarrollo de algoritmos de IA, incluidos la necesidad de ampliar las bases de datos de entrenamiento y optimizar algoritmos para abordar situaciones clínicas poco comunes. Asimismo, las implicaciones de su uso abarcan no solo el ámbito clínico, sino también el ambiental y económico, con potenciales beneficios en la reducción de residuos médicos y costos, y la eficiencia energética. Estos desafíos presentan oportunidades para futuras investigaciones que podrían conducir a mejoras significativas en la sostenibilidad y efectividad de la atención médica.

■ REFERENCIAS

1. Soriano JB, Rojas-Rueda D, Alonso J, Antó JM, Cardona PJ, Fernández E, et al. La carga de enfermedad en España: resultados del Estudio de la Carga Global de las Enfermedades 2016. *Med Clin (Barc)* [Internet].



14 de septiembre de 2018 [citado 20 de agosto de 2024];151(5):171-90. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025775318303312>

2. Ahmed Z, Mohamed K, Zeeshan S, Dong XQ. Artificial intelligence with multi-functional machine learning platform development for better healthcare and precision medicine [Internet]. Vol. 2020, Database. Oxford University Press; 2020 [citado 21 de agosto de 2024]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7078068/>

3. Saqib M, Iftikhar M, Neha F, Karishma F, Mumtaz H. Artificial intelligence in critical illness and its impact on patient care: a comprehensive review [Internet]. Vol. 10, Frontiers in Medicine. Frontiers Media SA; 2023 [citado 21 de agosto de 2024]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10158493/>

4. Jordan MI, Mitchell TM. Machine learning: Trends, perspectives, and prospects. *Science* (1979) [Internet]. 17 de julio de 2015;349(6245):255-60. Disponible en: <https://doi.org/10.1126/science.aaa8415>

5. Gyftopoulos S, Lin D, Knoll F, Doshi AM, Rodrigues TC, Recht MP. Artificial intelligence in musculoskeletal imaging: Current status and future directions [Internet]. Vol. 213, American Journal of Roentgenology. American Roentgen Ray Society; 2019 [citado 21 de agosto de 2024]. p. 506-13. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6706287/>

6. Incio Flores FA, Capuñay Sanchez DL, Estela Urbina RO, Valles Coral MÁ, Vergara Medrano EE, Elera Gonzales DG. Inteligencia artificial en educación: una revisión de la literatura en revistas científicas internacionales. *Apuntes Universitarios* [Internet]. 6 de diciembre de 2021 [citado 21 de agosto de 2024];12(1). Disponible en: <https://apuntesuniversitarios.upeu.edu.pe/index.php/revapuntes/article/view/974>

7. Jung J, Maeda M, Chang A, Bhandari M, Ashapure A, Landivar-Bowles J. The potential of remote sensing and artificial intelligence as tools to improve the resilience of agriculture production systems. *Curr Opin Biotechnol* [Internet]. agosto de 2021 [citado 21 de agosto de 2024];70:15-22. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33038780/>

8. Cuestas E. El razonamiento clínico y la inteligencia artificial. *Rev Fac Cienc Med Cordoba* [Internet]. 26 de diciembre de 2023 [citado 21 de agosto de 2024];80(4):306-10. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10851391/>

9. Cox AM. Exploring the impact of Artificial Intelligence and robots on higher education through literature-based design fictions. *International Journal of Educational Technology in Higher Education* [Internet]. 2021;18(1):3. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s41239-020-00237-8>



10. Aguirre F, Carballo L, González X, Gigirey V. INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA A LA IMAGEN MÉDICA. Tema de Revisión. Revista Imagenología [Internet]. julio de 2021 [citado 20 de agosto de 2024];27(2):47-58. Disponible en: <https://sriuy.org.uy/ojs/index.php/Rdi/article/view/94/102>

11. Blanchar Martinez TM, De la Hoz Restrepo FP. Inteligencia artificial en medicina y procedimientos quirúrgicos: impacto en la toma de decisiones y la salud. Rev Cub Salud Publica [Internet]. diciembre de 2022 [citado 21 de agosto de 2024];48(4). Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-34662022000400012&script=sci_arttext&tlng=en

12. Anan T, Kajiki S, Oka H, Fujii T, Kawamata K, Mori K, et al. Effects of an Artificial Intelligence-Assisted Health Program on Workers With Neck/Shoulder Pain/Stiffness and Low Back Pain: Randomized Controlled Trial. JMIR Mhealth Uhealth [Internet]. 2021;9(9):e27535. Disponible en: <https://mhealth.jmir.org/2021/9/e27535>

13. Román-Belmonte JM, De la Corte-Rodríguez H, Rodríguez-Merchán EC. Artificial intelligence in musculoskeletal conditions. Front Biosci (Landmark Ed) [Internet]. 30 de noviembre de 2021 [citado 21 de agosto de 2024];26(11):1340-8. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34856771/>

14. Ajmera P, Kharat A, Botchu R, Gupta H, Kulkarni V. Real-world analysis of artificial intelligence in musculoskeletal trauma [Internet]. Vol. 22, Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma. Elsevier B.V.; 2021 [citado 21 de agosto de 2024]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34527511/>

15. Ramesh AN, Kambhampati C, Monson JRT, Drew PJ. Artificial intelligence in medicine [Internet]. Vol. 86, Annals of the Royal College of Surgeons of England. 2004 [citado 21 de agosto de 2024]. p. 334-8. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1964229/>

16. Fritz B, Fritz J. Artificial intelligence for MRI diagnosis of joints: a scoping review of the current state-of-the-art of deep learning-based approaches [Internet]. Vol. 51, Skeletal Radiology. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH; 2022 [citado 21 de agosto de 2024]. p. 315-29. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34467424/>

17. Itoh N, Mishima H, Yoshida Y, Yoshida M, Oka H, Matsudaira K. Evaluation of the Effect of Patient Education and Strengthening Exercise Therapy Using a Mobile Messaging App on Work Productivity in Japanese Patients With Chronic Low Back Pain: Open-Label, Randomized, Parallel-Group Trial. JMIR Mhealth Uhealth [Internet]. 16 de mayo de 2022 [citado 21 de agosto de 2024];10(5):e35867. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35576560/>

18. Chen HK, Chen FH, Lin SF. An ai-based exercise prescription recommendation system. Applied Sciences (Switzerland) [Internet]. 2



de marzo de 2021 [citado 21 de agosto de 2024];11(6). Disponible en: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/6/2661>

19. Joison AN, Barcudi RJ, Majul EA, Ruffino SA, De Mateo Rey JJ, Joison AM, et al. La inteligencia artificial en la educación médica y la predicción en salud. *Methodo Investigación Aplicada a las Ciencias Biológicas* [Internet]. 4 de enero de 2021 [citado 21 de agosto de 2024];6(1). Disponible en: <https://methodo.ucc.edu.ar/files/vol6/num1/Methodo%20V6%20N%c2%b01/ART%20N7%20REVISI%c3%93N%20JOISON.pdf>

20. Pankhania M. Artificial Intelligence in Musculoskeletal Radiology: Past, Present, and Future. *Indian Journal of Musculoskeletal Radiology* [Internet]. 22 de diciembre de 2020;2(2):86-9. Disponible en: https://doi.org/10.25259/IJMSR_62_2020

21. Jiménez Insuasti AR, Silva Bermudez RK, Nieto Manrique PA, Cotrino Palma HDA, Bohorquez de la Hoz B. La era de la inteligencia artificial radiológica. *Scientific and Educational Medical Journal* [Internet]. 5 de mayo de 2022;5(2):85-16. Disponible en: <https://www.medicaljournal.com.co/index.php/mj/article/view/87>

22. Tack C. Artificial intelligence and machine learning | applications in musculoskeletal physiotherapy. *Musculoskelet Sci Pract* [Internet]. febrero de 2019 [citado 21 de agosto de 2024];39:164-9. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30502096/>

23. Laur O, Wang B. Musculoskeletal trauma and artificial intelligence: current trends and projections [Internet]. Vol. 51, *Skeletal Radiology*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH; 2022 [citado 21 de agosto de 2024]. p. 257-69. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34089338/>

24. Seow D, Graham I, Massey A. Prediction models for musculoskeletal injuries in professional sporting activities: A systematic review. *Transl Sports Med* [Internet]. 1 de noviembre de 2020;3(6):505-17. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/tsm2.181>

25. Pelle T, Bevers K, van der Palen J, van den Hoogen FHJ, van den Ende CHM. Effect of the dr. Bart application on healthcare use and clinical outcomes in people with osteoarthritis of the knee and/or hip in the Netherlands; a randomized controlled trial. *Osteoarthritis Cartilage* [Internet]. abril de 2020 [citado 21 de agosto de 2024];28(4):418-27. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32119972/>

26. Christopoulou E, Elisaf M, Filippatos T. Effects of Angiopoietin-Like 3 on Triglyceride Regulation, Glucose Homeostasis, and Diabetes. *Dis Markers* [Internet]. 1 de enero de 2019;2019(1):6578327. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2019/6578327>

27. Ávila-Tomás JF, Mayer-Pujadas MA, Quesada-Varela VJ. La inteligencia artificial y sus aplicaciones en medicina II: importancia



actual y aplicaciones prácticas. Aten Primaria [Internet]. 2021;53(1):81-8. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0212656720301463>

28. Calivà F, Namiri NK, Dubreuil M, Pedoia V, Ozhinsky E, Majumdar S. Studying osteoarthritis with artificial intelligence applied to magnetic resonance imaging. Nat Rev Rheumatol [Internet]. 30 de febrero de 2022 [citado 21 de agosto de 2024];18(2):112-21. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34848883/>