







# Aplicaciones y efectividad de técnicas de inteligencia artificial y aprendizaje automático en la fisioterapia

## Applications and effectiveness of artificial intelligence and machine learning techniques in physiotherapy

María Belén Pérez García<sup>1\*</sup> , Sonia Alexandra Álvarez Carrión<sup>1</sup> , Henry Mauricio Villa Yáñez<sup>1</sup> ,  
Guido Javier Mazón Fierro<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Chimborazo. Chimborazo, Ecuador.

<sup>2</sup>Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Chimborazo, Ecuador.

\*Autor para la correspondencia: [maria.perez@unach.edu.ec](mailto:maria.perez@unach.edu.ec)

### Cómo citar este artículo

Pérez García MB, Álvarez Carrión SA, Villa Yáñez HM, Mazón Fierro GJ: Aplicaciones y efectividad de técnicas de inteligencia artificial y aprendizaje automático en la fisioterapia. Rev haban cienc méd [Internet]. 2023 [citado ]; Disponible en: <http://www.revhabanera.sld.cu/index.php/rhab/article/view/5601>

Recibido: 06 de agosto de 2023

Aprobado: 13 de octubre de 2023

### RESUMEN

### ABSTRACT

**Introducción:** La convergencia de la inteligencia artificial (IA), el aprendizaje automático (ML) y la fisioterapia son ámbitos en constante evolución y avances notables en el diagnóstico, tratamiento y seguimiento de pacientes.

**Objetivo:** Esta revisión sistemática (SLR) tiene como propósito analizar exhaustivamente la literatura científica de los últimos 5 años para identificar los avances y enfoques tecnológicos en tendencia en los campos de la IA y la fisioterapia, recopilando información valiosa para especialistas.

**Material y Métodos:** Se aplicó la metodología PRISMA para llevar a cabo un análisis sistemático de 94 artículos que cumplieran con los criterios de inclusión y exclusión definidos por los autores y garantizar la evaluación de la calidad según criterios preestablecidos.

**Resultados:** Países desarrollados lideran la investigación en el campo, destacando la India como un actor relevante. Se identificaron diversas técnicas, desde algoritmos básicos hasta aprendizaje profundo, subrayando un progreso constante. La influencia de la IA y ML se expande desde el diagnóstico radiológico hasta la simulación de evaluaciones clínicas; aporta beneficios tanto en la eficacia clínica como en aspectos socioeconómicos. La tecnología impulsa terapias personalizadas y el monitoreo remoto, transformando la práctica fisioterapéutica.

**Conclusiones:** Los resultados de esta revisión tienen implicaciones significativas para la práctica y políticas en fisioterapia, enfatizando la necesidad de una mayor investigación en países en desarrollo y la implementación de enfoques tecnológicos avanzados.

**Introduction:** The convergence of artificial intelligence (AI), machine learning (ML), and physiotherapy are constantly evolving fields that have led to significant advancements in the diagnosis, treatment, and monitoring of patients.

**Objective:** The objective of this systematic literature review (SLR) is to comprehensively analyze the scientific literature from the last 5 years to identify technological advances and approaches with trends towards the fields of both AI and physiotherapy, gathering valuable information for specialists.

**Material and Methods:** The PRISMA methodology was employed to conduct a systematic analysis of 94 articles that met the inclusion and exclusion criteria defined by the authors, ensuring quality assessment based on predetermined criteria.

**Results:** Developed countries lead research in the field, with India emerging as a prominent actor. Various techniques were identified, ranging from basic algorithms to deep learning, emphasizing continuous progress. The influence of AI and ML extends from radiological diagnosis to the simulation of clinical assessments, providing benefits in both clinical effectiveness and socio-economic aspects. The technology drives personalized therapies and remote monitoring, transforming physiotherapeutic practices.

**Conclusions:** The findings of this review have significant implications for physiotherapy practices and policies, emphasizing the need for increased research in developing countries and the implementation of advanced technological approaches.

### Palabras Claves:

Fisioterapia, inteligencia artificial, aprendizaje automático, tecnologías de salud, diagnóstico, monitoreo remoto, terapias personalizadas.

### Keywords:

Physiotherapy, artificial intelligence, machine learning, health technologies, diagnosis, remote monitoring, personalized therapies.



## INTRODUCCIÓN

La fisioterapia desempeña un papel crucial al potenciar y mejorar la capacidad de movilidad en los pacientes, contribuye a fomentar su salud, bienestar y mejora de la calidad de vida.<sup>(1,2)</sup> Las intervenciones del fisioterapeuta se fundamentan en la aplicación ética y efectiva del conocimiento y habilidades específicas centradas en el paciente.<sup>(1)</sup> Similar a otras disciplinas orientadas al cuidado de la salud, la fisioterapia demanda una adaptación a un entorno en constante evolución<sup>(2)</sup>, manteniendo un vínculo continuo con los avances clínicos y académicos.

El amplio espectro de enfermedades que han sido identificadas, gracias a los avances tecnológicos, demanda la integración de tecnologías en el campo de la fisioterapia para optimizar la terapia física y convertirla en una experiencia eficiente. Esto implica la automatización de procesos, mejoras en el monitoreo, detección y análisis del progreso de los pacientes, entre otros aspectos, para proporcionar apoyo al personal de fisioterapia y reducir la carga asistencial.

En los últimos años, se ha observado la incorporación de la inteligencia artificial (IA) en la fisioterapia<sup>(3)</sup> como una herramienta de apoyo. La IA se define como un conjunto de técnicas que posibilitan la simulación de la inteligencia humana mediante el uso de computadoras. Este conjunto abarca el aprendizaje automático (ML, por sus siglas en inglés de machine learning) y el aprendizaje profundo (DL, por sus siglas en inglés de deep learning).<sup>(4)</sup>

Hasta la fecha, se han llevado a cabo revisiones exhaustivas sobre estos temas, como esfuerzos por comprender y evaluar el impacto de la IA en estas facetas específicas de la fisioterapia. Por ejemplo, Tack<sup>(5)</sup> determinó diversas aplicaciones como diagnóstico de imagen, medición de datos de pacientes, y apoyo a la decisión médica y se ha visto rendimientos de ML similares a los del profesional de la salud.<sup>(5)</sup> Por otro lado, Rowe et al.,<sup>(6)</sup> expone que la IA, tiene un papel de desafío en la sociedad actual, tras analizar las aplicaciones e implicaciones éticas, sugiere que a pesar de ser un apoyo pone en juego el rol del profesional médico en el área.<sup>(6)</sup> La revisión de Mahmoud et al.,<sup>(7)</sup> se enfocó en analizar las aplicaciones de IA y ML en la recuperación de pacientes con deficiencias del miembro superior que habían sufrido un accidente cerebrovascular.<sup>(7)</sup> Otras revisiones encontradas en este análisis, se han enfocado únicamente en aplicaciones específicas de IA, como aplicaciones en imagen musculoesquelética,<sup>(4,8,9,10,11,12,13,14)</sup> rehabilitación posterior a lesiones,<sup>(15)</sup> traumas<sup>(16,17,18)</sup> y desórdenes,<sup>(19,20)</sup> oncología musculoesquelética<sup>(21,22)</sup> y monitoreo de la rehabilitación.<sup>(23)</sup>

Hasta la fecha no se ha llevado a cabo una revisión sistemática de la literatura (SLR) que aborde de manera integral las aplicaciones de la IA y ML. Esta afirmación no busca menospreciar otras posibles revisiones existentes; más bien, resalta la ausencia de una revisión exhaustiva que abarque de manera completa el tema en cuestión. Por este motivo, el **objetivo** principal de este estudio consiste en realizar un análisis sistemático que englobe toda la información actualizada de los últimos cinco años, centrándose en cómo la fisioterapia se beneficia de los avances en IA y ML. Este análisis estará complementado con una evaluación de sesgo con el propósito de realizar una revisión objetiva de las aplicaciones, con el fin de que los resultados sean de utilidad tanto para los profesionales de la salud como para los desarrolladores de tecnologías en el campo de la IA.

Las preguntas de investigación (RQ) que se plantean son las siguientes:

1. ¿Cuáles son las técnicas de IA o ML más utilizadas en el ámbito de fisioterapia?
2. ¿Cuál es el tipo de afección o enfermedad en el cual se aplicó un tratamiento basado en IA o ML?
3. ¿De qué forma se aplicaron las técnicas de IA y ML en el ámbito de fisioterapia?
4. ¿Qué efectos que se encontraron posterior a la aplicación de estas técnicas en los pacientes?
5. ¿Qué beneficios pudieron encontrarse mediante la aplicación de estas técnicas (AI y ML) en el ámbito de la fisioterapia?

## MATERIAL Y MÉTODO

El presente estudio aplicó la metodología PRISMA<sup>(24)</sup> para un análisis exhaustivo de artículos relevantes en el área publicados en los últimos cinco años (2019-2023) para recopilar los últimos avances y tendencias.

### Fuentes de información y estrategia de búsqueda

La búsqueda de estudios se realizó en la base de datos Scopus, elegida por su capacidad para recopilar información de diversas fuentes científicas, editoriales y revistas de alto impacto. La estrategia de búsqueda se diseñó tras revisar un conjunto de 16 artículos denominado Grupo Control (GC), identificados por los autores como pertinentes para el tema. Estos artículos fueron seleccionados en función de criterios predefinidos, incluyendo su publicación en revistas científicas reconocidas, elevado número de citas y contenido confluyente entre inteligencia artificial, aprendizaje automático y fisioterapia, además de su contribución significativa al conocimiento existente en el campo. Esta revisión previa proporcionó una base sólida para adquirir conocimientos y definir una cadena de búsqueda centrada en las palabras claves más recurrentes en dicho grupo.

La cadena de búsqueda estuvo compuesta de dos bloques: uno, relacionado a fisioterapia y otro, a IA, y se definió como: TITLE ("physiotherapy" OR "physical therapy" OR "physiotherapist" OR "musculoskeletal" OR "physical rehabilitation") AND TITLE ("machine learning" OR "artificial intelligence" OR "deep learning" OR "neural network" OR "AI" OR "deep neural network" OR "computer-aided" OR "learning systems" OR "prediction" OR "supervised learning" OR "learning algorithms"). Esta cadena de búsqueda se aplicó el 15 de noviembre de 2023, y el número de estudios encontrados y evaluados se presenta en detalle en la sección de Resultados.

### **Criterios de elegibilidad**

Se consideraron para su inclusión aquellos artículos de investigación, documentos de conferencias y revisiones redactados en idioma inglés y publicados en el período comprendido entre 2019 y 2023. Por otro lado, se excluyeron los artículos no relacionados directamente al tema de investigación o aquellos en los que, en la base de datos, no aparece expuesto el título, de igual forma se excluyen los que estuvieran asociados con cartas de retracción. Estos criterios se diseñaron con el objetivo de garantizar la calidad y relevancia de la información recopilada para el análisis sistemático.

### **Proceso de selección y colección de datos**

La información de los artículos fue extraída de Scopus, analizando sus títulos, resúmenes y palabras claves, y posteriormente se organizó en una hoja de Excel conforme a los criterios establecidos por los investigadores. El conjunto de artículos candidatos se distribuyó equitativamente entre los autores para llevar a cabo una ronda de revisión, seguida por una revisión por pares y una instancia de arbitraje, en casos de dudas acerca de la inclusión de artículos en este estudio.

A continuación, se recuperó el contenido completo de los artículos seleccionados en formato PDF, y se recopilaron los datos pertinentes para abordar las preguntas de investigación y establecer un contexto de la investigación de los últimos cinco años. Esta información se organizó en una matriz que incluye: título del artículo, país de origen, población estudiada, intervención, comparación, así como las respuestas a cada pregunta de investigación, categorizadas según las técnicas de inteligencia artificial aplicadas (RQ1), las estadísticas reportadas, las enfermedades o afecciones tratadas (RQ2), el propósito de la aplicación de la técnica (RQ3), los resultados observados en los pacientes (RQ4) y, finalmente, los beneficios directos para la fisioterapia (RQ5) que representan las variables del presente estudio. El procesamiento de la información se llevó a cabo usando Excel y el paquete Pandas de *Python* v3.12.

En cuanto a la recopilación de datos estadísticos, se realizaron ciertas suposiciones para simplificar y sistematizar la presentación de la información. En situaciones en las que un estudio involucraba la aplicación de múltiples modelos o algoritmos y se informaba sobre el rendimiento de todos ellos, se optó por seleccionar únicamente el rendimiento del modelo o algoritmo con el mejor desempeño para su inclusión en la matriz. Asimismo, en el caso de revisiones que proporcionaban datos sobre diversas técnicas de IA (RQ1), se consideraron todos los modelos o algoritmos presentados en la revisión. Esta aproximación se adoptó para ofrecer un enfoque más amplio y comprensivo en cuanto a las diversas aplicaciones de las técnicas de IA en el ámbito de la fisioterapia.

### **Métodos de síntesis**

Se realizó un análisis de la totalidad de los artículos considerados como primarios (PS) en este estudio, y se tabularon los datos sistemáticamente de acuerdo con la estructura presentada en la sección anterior. Se consideraron como PS aquellos artículos que fueron examinados para responder a las preguntas de investigación planteadas tras contener datos originales y contribuciones directas a la presente investigación. Este proceso permitió extraer y destacar los aspectos más relevantes de cada uno, los cuales serán presentados de manera concisa en la presente revisión.

La revisión de la totalidad de los artículos se llevó a cabo de manera colaborativa, asignando a cada uno, al menos, dos de los autores del estudio para su análisis. En caso de discrepancias o dudas, un tercer autor se desempeñó como árbitro, participando en la toma de decisiones para garantizar la coherencia y calidad del análisis. Este enfoque de revisión múltiple contribuye a la robustez y fiabilidad de los resultados presentados en esta revisión.

### **Evaluación de riesgo de sesgo y certeza**

Para garantizar la presentación de resultados de manera objetiva y minimizar al máximo el riesgo de sesgo, se llevaron a cabo cálculos detallados como criterio de medición de certeza. Se determinaron los porcentajes de representatividad de cada grupo con respecto al número de artículos que respondían y estaban incluidos en cada pregunta de investigación, así como en relación con la totalidad de artículos abarcados en la SLR. La confiabilidad de los resultados se estableció mediante la evaluación de su representatividad, clasificándolos en diferentes rangos, tales como baja, media o alta confiabilidad como método de evaluación de la calidad.

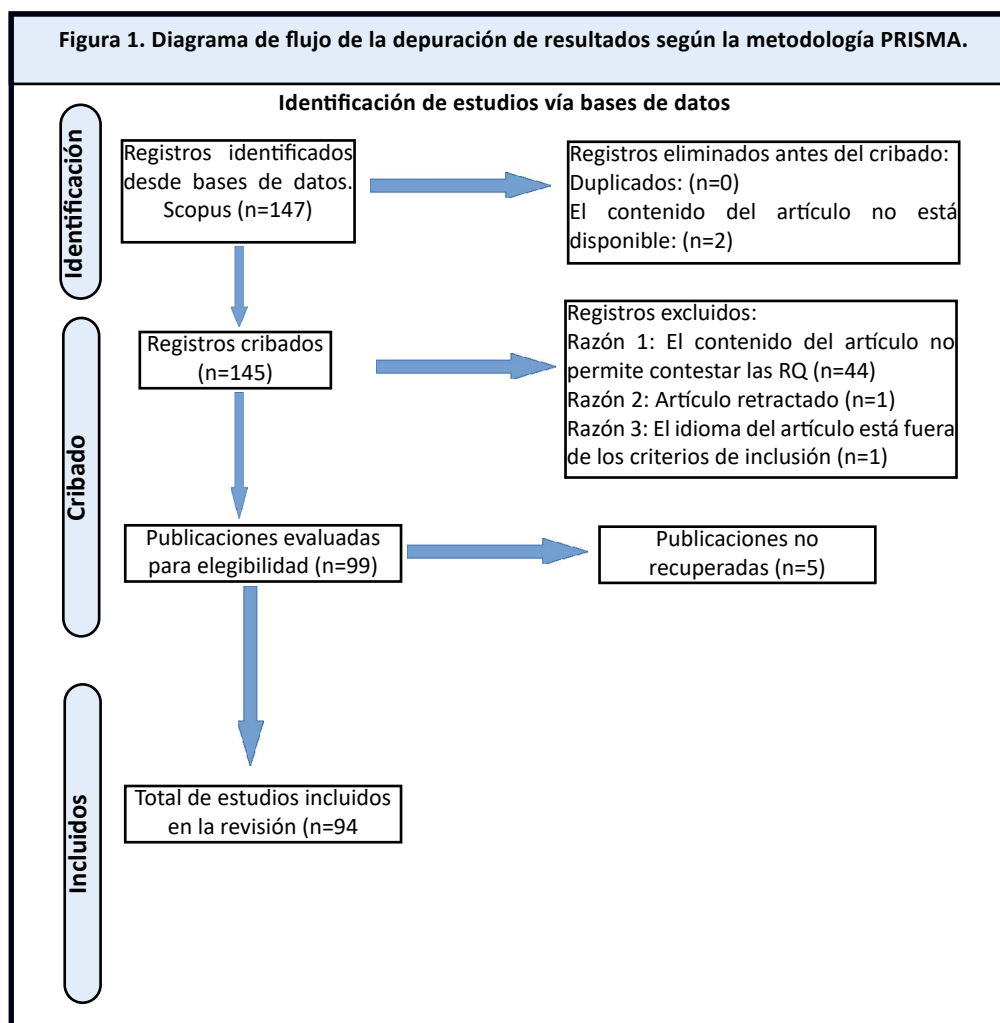
El proceso de depuración, selección y cálculos, se presentan de manera integral en el material suplementario disponible en Zenodo, proporcionando una transparencia completa del proceso de análisis.<sup>(25)</sup>

## RESULTADOS

### Selección de estudios

El conjunto inicial de estudios candidatos se conformó con un total de 147 artículos, resultado de la aplicación de la cadena de búsqueda previamente especificada. Como se ilustra en la Figura 1, al recuperar el título, resumen y palabras claves, dos de ellos carecían de esta información y fueron eliminados antes del cribado. Se procedió a analizar los 145 artículos restantes, excluyendo aquellos que, según el criterio de los autores, no se ajustaban al alcance de la investigación y no permitían abordar las preguntas de investigación. También se excluyeron un artículo retractado y otro escrito en un idioma diferente al inglés.

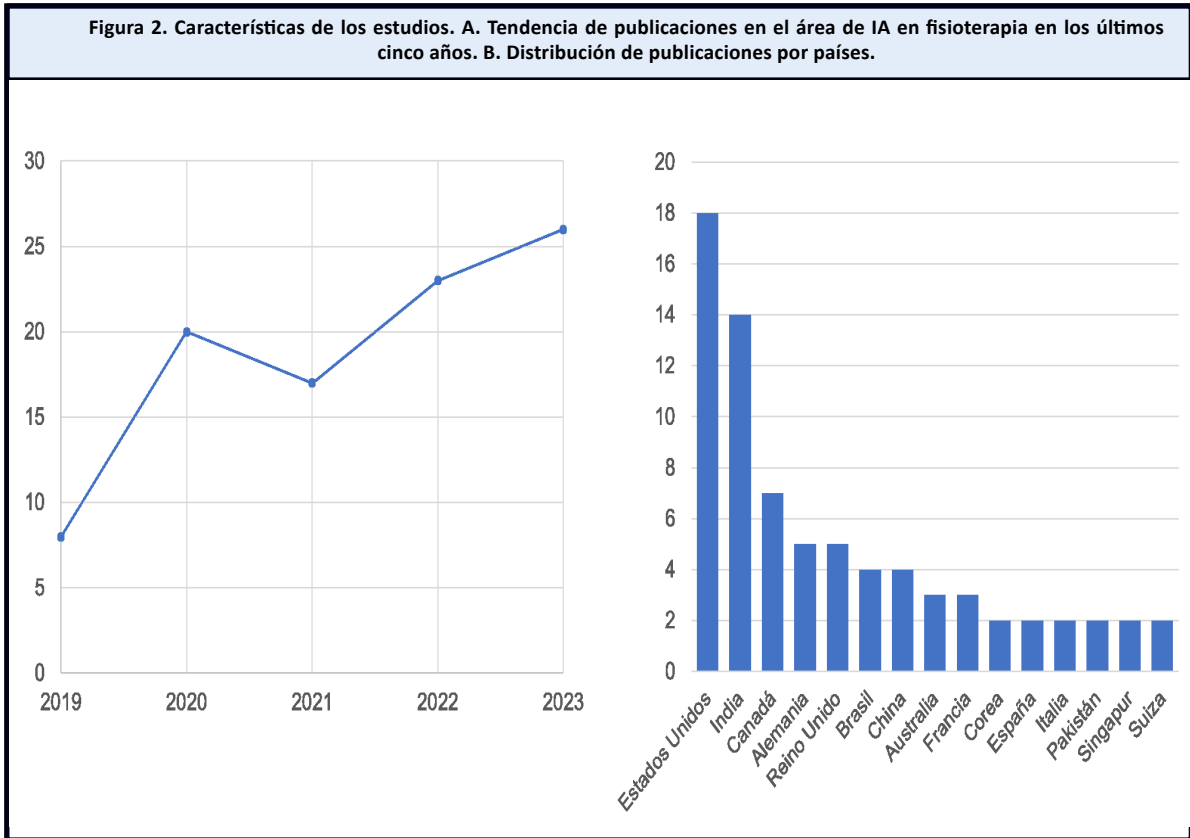
Posteriormente, cinco publicaciones a texto completo no pudieron ser recuperadas debido a costos adicionales o a su pertenencia a InderScience, a la cual los autores no tenían acceso. Como resultado final, se obtuvieron 94 artículos que fueron sometidos a un análisis detallado, y los resultados más relevantes se presentan en las secciones siguientes.<sup>(25)</sup>



### Características de los estudios

Como se muestra en la Figura 2A, entre 2019 y 2020, se evidenció un crecimiento abrupto, seguido de una ligera disminución hasta 2021. Sin embargo, a partir de ese punto, la tendencia ha sido nuevamente ascendente, manteniéndose en crecimiento hasta el presente año.

Dentro de este ámbito, destaca los Estados Unidos como el país con el mayor número de publicaciones, contando con un total de 18 artículos. Le sigue India con 14 publicaciones, Canadá con 7, y Alemania y el Reino Unido, con 4 artículos cada uno (Figura 2B).



**Resultados de síntesis**

Técnicas de inteligencia artificial y machine learning más utilizadas en el ámbito de fisioterapia

La respuesta a la RQ1 revela una amplia variedad de técnicas y algoritmos de IA y ML aplicada en el ámbito de la fisioterapia. La Tabla 1 recopila los resultados, en la que, en términos de regresión, se ha visto que se emplean algoritmos como regresión logística, lineal, y *CatBoost*. Para la clasificación, se destacan el uso de *Random Forest*, árboles de decisión, y redes neuronales artificiales. Asimismo, se aplican algoritmos relacionados con ambos, regresión y clasificación, como algoritmos de aumento de gradiente y *multilayer perceptron*.

En cuanto a DL, las técnicas más utilizadas incluyen redes neuronales convolucionales (CNN), como *AlexNet*, *DenseNet*, y *ResNet*. También se observa la aplicación de redes neuronales recurrentes (RNN), tales como *Long Short-Term Memory* (LSTM), *Strawberry-based* y *Gated Recurrent Unit* (GRU). Se destacan optimizadores como Adam y la utilización de modelos generativos (GAN). Además, se aplican modelos de reconocimiento de patrones y clasificación, como redes neuronales profundas (DNN), redes neuronales autoexplicativas (SENN) y COMDNet-512.

Finalmente, se clasifican como “Otros” aquellos enfoques que incluyen el uso de Lenguaje Natural, Visión por Computadora, Realidad Virtual, *Active Contour* y *XAI (eXplainable Artificial Intelligence)*, evidenciando la diversidad de técnicas aplicadas para abordar distintos aspectos de la fisioterapia.

Tabla 1. Clasificación de las técnicas y algoritmos de IA y ML más utilizadas en los últimos cinco años en fisioterapia				
Clasificación	Método	Algoritmo	Representatividad (%) RQ1: 80 estudios	N° de estudio
Machine Learning	Regresión	LogReg (Logistic Regression), LR (Linear Regression), CatBoost Regression, Gaussian Processes, Ridge Regression	17,50	PS56, PS8, PS32, PS19, PS2, PS61, PS94, PS15, PS45, PS52, PS64, PS86, PS96, PS98
	Clasificación	RF (Random Forest), ANN(Artificial neural network), DT (Decision trees), NB (Naive Bayes), AdaBoost Classifier, SVM (Support Vector Machine)	31,25	PS16, PS7, PS2, PS45, PS94, PS15, PS8, PS17, PS32, PS42, PS51, PS52, PS56, PS64, PS67, PS81, PS82, PS86, PS87, PS65, PS71, PS90, PS91, PS96, PS75
	Regresión y Clasificación	XGBoost, GB (Gradient Boosting), MLP (Multilayer Perceptron), LGB (Light Gradient Boosting)	26,25	PS16, PS32, PS81, PS2, PS8, PS15, PS17, PS29, PS41, PS45, PS52, PS61, PS65, PS75, PS78, PS86, PS87, PS94, PS56, PS96, PS42
	Agrupamiento	KNN (K-Nearest Neighbors), k-Means	11,25	PS2, PS7, PS8, PS15, PS31, PS51, PS60, PS81, PS94
Deep Learning	Optimizadores y Regularización	Adam, AdamW	3,75	PS4, PS25, PS11
	Redes Neuronales Convolucionales (CNN)	CNN (Convolutional Neural Network), AlexNet, DenseNet, ResNet, InceptionV3, U-Net	63,75	PS2, PS8, PS14-PS19, PS20, PS22, PS25-PS30, PS32, PS35, PS37-PS39, PS40, PS42, PS44, PS47, PS50-PS51, PS55, PS58, PS60, PS65-PS69, PS71-PS72, PS74-PS75, PS77-PS78, PS81-PS82, PS86, PS89, PS93-PS94, PS95, PS96, PS99
	Redes Neuronales Recurrentes (RNN)	LSTM (Long Short-Term Memory), RNN (Recurrent Neural Network), SbrNF (Strawberry-based recurrent neural framework), GRU (Gated Recurrent Unit)	17,50	PS77, PS2, PS4, PS8, PS17, PS27, PS74, PS94, PS35, PS63, PS65, PS73, PS83, PS84
	Modelos Generativos	GAN (Generative Adversarial Network)	2,50	PS17, PS97
	Modelos de Clasificación y Reconocimiento de Patrones	DNN (Deep Neural Network), SENN (Self-Explaining Neural Networks), COMDNet-512	16,25	PS3, PS4, PS6, PS27, PS28, PS29, PS57, PS65, PS70, PS77, PS82, PS98, PS8
Otros	Natural Language, Computer vision, Realidad virtual, Active Contour, XAI	11,25	PS35, PS54, PS56, PS32, PS33, PS55, PS8, PS76, PS10	

\*Nota: PS = Estudio primario. El código del número del estudio es la identificación con la que se encuentra el estudio en la matriz de procesamiento de datos. Disponible en: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10553344>

### Afecciones y enfermedades en las que se aplican tratamientos basados en IA o ML

Para determinar las condiciones médicas susceptibles a la aplicación de IA y ML, los investigadores han establecido una clasificación basada en cinco categorías específicas presentadas en la Tabla 2 como: enfermedades óseas y articulares (con una representatividad de 56,79 %), lesiones musculares y deportivas (30,86 %), trastornos neuromusculares (4,94 %), problemas de movilidad y función (7,41 %), y condiciones médicas específicas (17,28 %). En general, la preponderancia de los estudios se orienta hacia la implementación de terapias basadas en IA destinadas a abordar anomalías y trastornos musculoesqueléticos, así como al desarrollo de dispositivos de apoyo en el ámbito de la rehabilitación física.

Asimismo, se observa un enfoque sustancial en el tratamiento de fracturas y traumas.

Tabla 2. Condiciones o enfermedades tratadas a través de IA y ML		
Condición o enfermedad	Representatividad (%) RQ2: 81 estudios	N° de estudio
Enfermedades Óseas y Articulares	56,79	PS1, PS2, PS4-PS6, PS8, PS11-PS12, PS14, PS15, PS19, PS22, PS24, PS25, PS32, PS34, PS35, PS38, PS39, PS42, PS44, PS46, PS47, PS50, PS53, PS56-PS58, PS60, PS64, PS68, PS69, PS71, PS72, PS74, PS75, PS81, PS82, PS83, PS85, PS86, PS93, PS95-PS96, PS98, PS99
Lesiones Musculares y Deportivas	30,86	PS3, PS10, PS30, PS33, PS55, PS59, PS65, PS76, PS78, PS79, PS89, PS91, PS8, PS21, PS51, PS49, PS71, PS72, PS82, PS77, PS95, PS31, PS41, PS37, PS99
Trastornos Neuromusculares	4,94	PS8, PS23, PS67, PS99
Problemas de Movilidad y Función	7,41	PS7, PS23, PS62, PS90, PS70, PS73
Condiciones Médicas Específicas	17,28	PS8, PS81, PS83, PS84, PS87, PS92, PS94, PS99, PS52, PS56, PS43, PS48, PS45, PS61

\*Nota: PS = Estudio primario. El código del número del estudio es la identificación con la que se encuentra el estudio en la matriz de procesamiento de datos. Disponible en: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10553344>

### Enfoques de aplicación de técnicas de IA y ML en el ámbito de la fisioterapia

La IA y ML han experimentado una extensa aplicación en el ámbito de la fisioterapia, manifestándose a través de diversos enfoques, presentados en la Tabla 3. Se destaca el respaldo en el diagnóstico y la simulación de evaluaciones clínicas, representando 29,41 % de los artículos revisados. Asimismo, se evidencia la clasificación de la presencia de trastornos (23,53 %), el apoyo en la terapia física (19,61 %), el monitoreo emocional y laboral (15,69 %), la predicción del progreso de enfermedades (11,76 %), y la mejora en la imagen clínica, así como la identificación y cuantificación de movimientos (ambos con 9,80 %).

Entre los propósitos específicos más comunes se destacan la clasificación de imágenes de rayos X y la identificación de anomalías en dichas imágenes, así como la evaluación y asesoramiento personalizado para los pacientes. Este panorama refleja la diversidad de aplicaciones prácticas de la IA y el ML en el campo de la fisioterapia, abordando aspectos claves que van desde el diagnóstico hasta el seguimiento y la mejora de la calidad del tratamiento.

Tabla 3. Clasificación de enfoques de la aplicación de IA y ML en la fisioterapia vista en esta SLR		
Tratamiento	Representatividad (%) RQ3: 51 estudios	N° de estudio
Mejora de la imagen clínica	9,80	PS53, PS20, PS85, PS71, PS14
Diagnóstico y Simulación de evaluaciones clínicas	29,41	PS81, PS34, PS29, PS44, PS11, PS24, PS19, PS67, PS1, PS5, PS93, PS45, PS57, PS83, PS18
Predicción del progreso de la enfermedad	11,76	PS60, PS43, PS56, PS19, PS75, PS96
Clasificación de la presencia de trastornos	23,53	PS31, PS6, PS50, PS68, PS95, PS22, PS58, PS87, PS30, PS1, PS5, PS67
Monitoreo emocional y laboral	15,69	PS64, PS48, PS86, PS7, PS8, PS12, PS37, PS45
Soporte en terapia física	19,61	PS3, PS23, PS77, PS18, PS33, PS17, PS61, PS55, PS93, PS7
Identificación y cuantificación de movimientos	9,80	PS86, PS41, PS73, PS35, PS83

\*Nota: PS = Estudio primario. El código del número del estudio es la identificación con la que se encuentra el estudio en la matriz de procesamiento de datos. Disponible en: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10553344>

### Efectos vistos posterior a la aplicación de estas técnicas en pacientes

La Tabla 4 presenta la aplicación de técnicas de IA y ML que han generado diversos efectos en los pacientes, destacándose en las siguientes clasificaciones por orden de representatividad: eficiencia y precisión en la atención fisioterapéutica (54,55 %), avances en el proceso de recuperación (43,94 %), el impacto socioeconómico (24,24 %) y la identificación de parámetros y factores de riesgo (15,15 %).

En este contexto, los efectos más recurrentes se centran en la detección precisa de anomalías musculoesqueléticas, la facilitación de la labor de los fisioterapeutas, la mejora del rendimiento de los pacientes y la reducción del riesgo asociado a diagnósticos erróneos.

Tabla 4. Clasificación de los resultados vistos en pacientes		
Resultado obtenido en pacientes	Representatividad (%) RQ4: 66 estudios	N° de estudio
Eficiencia y precisión en la atención fisioterapéutica	54,55	PS1-PS7, PS11, PS15, PS16, PS19, PS20, PS24-PS29, PS32, PS38, PS43, PS45, PS50, PS53, PS56-PS58, PS61, PS68, PS69, PS72, PS79, PS81, PS82, PS85, PS92, PS94, PS99
Avances en el Proceso de Recuperación	43,94	PS55, PS29, PS8, PS10, PS59, PS7, PS18, PS17, PS33, PS51, PS78, PS89, PS96, PS95, PS49, PS21, PS65, PS3, PS56, PS70, PS91, PS48, PS71, PS98, PS60, PS75, PS37, PS28, PS42
Identificación de parámetros y Factores de Riesgo	15,15	PS23, PS94, PS56, PS41, PS24, PS25, PS29, PS64, PS31, PS10
Impacto Socioeconómico	24,24	PS3, PS8, PS10, PS59, PS29, PS96, PS98, PS56, PS16, PS20, PS67, PS61, PS64, PS37, PS18, PS89

**\*Nota:** PS = Estudio primario. El código del número del estudio es la identificación con la que se encuentra el estudio en la matriz de procesamiento de datos. Disponible en: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10553344>

### Beneficios para la fisioterapia gracias a la aplicación de IA y ML

La fisioterapia, como una disciplina de las ciencias médicas, ha experimentado notables beneficios gracias a los avances tecnológicos, transformando el enfoque tradicional de la práctica. Hemos recopilado y clasificado los beneficios identificados en los artículos revisados, destacando las siguientes categorías: mejoras en la detección y tratamiento (48,48 %), facilitación de avances tecnológicos y teóricos en el ámbito de la fisioterapia (42,42 %), apoyo al profesional de la salud (40,91 %), tratamiento y atención personalizada (22,73 %), y promoción del cuidado de la salud (15,15 %).

Dentro de estas clasificaciones, sobresalen acciones concretas como la mejora de la eficiencia y accesibilidad del monitoreo remoto de ejercicios de rehabilitación física, diagnóstico temprano, rápido y preciso, así como el monitoreo remoto de terapia física y la mejora en la clasificación de imágenes.

### Reporte de sesgo y certeza de la evidencia

La Tabla 5 presenta un resumen exhaustivo de los principales hallazgos derivados de la SLR, junto con su respectiva representatividad con respecto al total de artículos y el número de ellos que abordan cada pregunta de investigación. En términos generales, la técnica más prevalente de IA es la utilización de Modelos de DL de CNN, con una representatividad de 5,426 %.

En relación con la RQ2, se observa que los enfoques de IA y ML están predominantemente dirigidos hacia las Enfermedades Óseas y Articulares, representando 48,94 % del total. Asimismo, al abordar la RQ3, la mayoría de las técnicas empleadas se centra en el Diagnóstico y la Simulación de Evaluaciones Clínicas.

Respecto a la RQ4, la mayoría de los efectos directos que han beneficiado a los pacientes que reciben fisioterapia se han manifestado en la Eficiencia y Precisión en la atención fisioterapéutica (38,30 %). Finalmente, con respecto a la RQ5, los beneficios más prominentes de la aplicación de IA y ML en la fisioterapia se concentran en Mejoras en la Detección y Tratamiento (34,04 %).

Es importante señalar que todos los artículos revisados han sido incluidos al menos una vez en alguno de los parámetros del estudio, y consolidar así una representación integral de la literatura científica en el área de intersección entre IA, ML y fisioterapia.

### Evaluación de calidad

Para la evaluación de la calidad de los estudios presentados, se realizaron cálculos estadísticos para respaldar la confiabilidad de los datos presentados en la investigación. Se calcularon tanto la media como la mediana de representatividad para cada pregunta del estudio. Además, se establecieron rangos de confianza, diferenciados en baja, media y alta, que engloban los resultados.



Como muestra la Tabla 5, es notable que la media de las RQ2, RQ4 y RQ5 se sitúa en el rango de confianza media. En contraste, la de RQ1 y RQ3 aparentemente se encuentra en el rango de confianza baja. Esta observación puede explicarse por la amplia variabilidad de respuestas en cuanto a enfoques y técnicas actuales, generando una mayor dispersión de los datos. Esta dispersión implica una mayor cantidad de respuestas, sin que necesariamente signifique una mayor calidad en este punto del análisis.

Tabla 5. Resumen de los hallazgos, reporte de representatividad y evaluación de calidad									
Pregunta de investigación (RQ)	Descripción del hallazgo	Estudios Primarios (PS)	Porcentaje respecto al total de PS (%)	Porcentaje respecto al número de estudios que responden cada RQ (%)	Media (%)	Mediana (%)	Confianza baja (%)	Confianza media (%)	Confianza alta (%)
RQ1: ¿Cuáles son las técnicas de IA o ML más utilizadas en el ámbito de fisioterapia	Modelos de DL de Redes Neuronales Convolucionales (CNN)	51	54,26	63,75	20,13	16,88	2,50 – 22,92	22,93 – 43,33	43,34 – 63,75
	Modelos de ML de Clasificación	25	26,6	31,25					
	Modelos de ML de Regresión y Clasificación	21	22,34	26,25					
	Modelos de ML de Regresión	14	14,89	17,5					
	Modelos de DL de Redes Neuronales Recurrentes (RNN)	14	14,89	17,5					
	Modelos de DL de Modelos de Clasificación y Reconocimiento de Patrones	13	13,83	16,25					
	Modelos de ML de Clustering	9	9,57	11,25					
	Otros	9	9,57	11,25					
	Modelos de DL de Optimizadores y Regularización	3	3,19	3,75					
	Modelos de DL de Modelos Generativos	2	2,13	2,5					

Tabla 5 cont. Resumen de los hallazgos, reporte de representatividad y evaluación de calidad									
Pregunta de investigación (RQ)	Descripción del hallazgo	Estudios Primarios (PS)	Porcentaje respecto al total de PS (%)	Porcentaje respecto al número de estudios que responden cada RQ (%)	Media (%)	Mediana (%)	Confianza baja (%)	Confianza media (%)	Confianza alta (%)
RQ2: ¿Cuál es el tipo de afección o enfermedad en el cual se aplicó un tratamiento basado en IA o ML?	Enfermedades Óseas y Articulares	51	54,26	63,75	20,13	16,88	2,50 – 22,92	22,93 – 43,33	43,34 – 63,75
	Lesiones Musculares y Deportivas	25	26,6	31,25					
	Condiciones Médicas Específicas	21	22,34	26,25					
	Problemas de Movilidad y Función	14	14,89	17,5					
	Trastornos Neuromusculares	14	14,89	17,5					
	Diagnóstico y Simulación de evaluaciones clínicas	15	15,96	29,41					
	Clasificación de la presencia de trastornos	23,53	12,77	12					
RQ3: ¿De qué forma se aplicaron las técnicas de IA y ML en el ámbito de fisioterapia?	Sopte en terapia física	19,61	10,64	10	22,89 – 29,41	16,35 – 22,88	9,80 – 16,34	17,09	15,69
	Monitoreo emocional y laboral	15,69	8,51	8					
	Predicción del progreso de la enfermedad	11,76	6,38	6					
	Mejora de la imagen clínica	9,8	5,32	5					
	Identificación y cuantificación de movimientos	9,8	5,32	5					

Tabla 5 cont1. Resumen de los hallazgos, reporte de representatividad y evaluación de calidad									
Pregunta de investigación (RQ)	Descripción del hallazgo	Estudios Primarios (PS)	Porcentaje respecto al total de PS (%)	Porcentaje respecto al número de estudios que responden cada RQ (%)	Media (%)	Mediana (%)	Confianza baja (%)	Confianza media (%)	Confianza alta (%)
RQ4: ¿Qué efectos que se encontraron posterior a la aplicación de estas técnicas en los pacientes?	Eficiencia y precisión en la atención fisioterapéutica	36	38,3	54,55	34,47	34,09	15,15 – 28,28	28,29 – 41,41	41,42 – 54,55
	Avances en el Proceso de Recuperación	29	30,85	43,94					
	Impacto Socioeconómico	16	17,02	24,24					
	Identificación de parámetros y Factores de Riesgo	10	10,64	15,15					
RQ5: ¿Qué beneficios pudieron encontrarse mediante la aplicación de estas técnicas (AI y ML) en el ámbito de la fisioterapia?	Mejoras en detección y tratamiento	32	34,04	48,48	33,94	40,91	15,16 – 26,26	26,27 – 37,37	37,38 – 48,48
	Avances tecnológicos y teóricos en el área de fisioterapia	28	29,79	42,42					
	Apoyo al profesional de la salud	27	28,72	40,91					
	Tratamiento y atención personalizada	15	15,96	22,73					
	Promover el cuidado de la salud	10	10,64	15,15					

## DISCUSIÓN

A través de la presente SLR, se ha observado un patrón que sugiere un continuo e incrementado interés y desarrollo en la investigación sobre las aplicaciones de inteligencia artificial y aprendizaje automático en el ámbito de la fisioterapia durante los últimos 5 años, una tendencia que se anticipa a seguir en ascenso. La diversidad de países involucrados en esta investigación refleja una contribución destacada y diversa en este campo, aunque persiste la prominencia de países desarrollados, resaltando la notable presencia de la India como el segundo país con mayor cantidad de publicaciones. En estudios llevados a cabo en países en desarrollo, se ha observado que diversas barreras obstaculizan la investigación científica en fisioterapia. Estas barreras incluyen la escasez de tiempo, la falta de habilidades en investigación y recursos, junto con la carga de trabajo, las políticas, el apoyo y la motivación.<sup>(26,27)</sup>

En cuanto a las técnicas y algoritmos utilizados, se evidencia una amplia variedad, desde enfoques básicos hasta técnicas de aprendizaje profundo altamente complejas, especialmente focalizadas en reconocimiento de imágenes e identificación de patrones. Se identificaron un total de 134 técnicas o algoritmos diferentes en el ámbito de IA, incluyendo tanto soluciones comerciales<sup>(28,29)</sup> como aquellas desarrolladas desde cero<sup>(30)</sup> específicamente para el ámbito de la fisioterapia, indicando un constante progreso en este dominio. Además, se considera relevante la implementación de tecnologías como el procesamiento de lenguaje natural,<sup>(6)</sup> la realidad virtual,<sup>(15,31,32)</sup> el reconocimiento de postura,<sup>(33,34)</sup> visión por computador<sup>(35,36)</sup> y robots<sup>(37,38,39)</sup> entrenados para facilitar la terapia física y ortopédica.

La diversidad de afecciones y tratamientos abordados es significativa, con notables avances, especialmente en diagnóstico y simulación de evaluaciones clínicas. Se destaca el impacto positivo en el campo de la radiología, donde se han visto grandes avances en la adquisición de imágenes, reduciendo el tiempo de procesamiento, identificando automáticamente anomalías y automatizando el diagnóstico.<sup>(11,40)</sup>

Los enfoques de investigación dirigidos tanto a los pacientes como a las afecciones o grupos diagnósticos coinciden en la identificación de factores que requieren investigación en fisioterapia, según un estudio realizado por Nast *et al.*<sup>(41)</sup> En dicho estudio, se destacaron las prioridades de investigación, abarcando el tratamiento, la evaluación, el diagnóstico y la prevención de trastornos musculoesqueléticos, neurológicos y ortopédicos.<sup>(41)</sup>

La implementación de técnicas de IA y ML no solo impacta en la eficacia clínica, sino que también aporta beneficios significativos en términos de recuperación, impacto socioeconómico y gestión de riesgos en el ámbito de la fisioterapia. Esto genera un beneficio sostenible, especialmente para comunidades o sectores sociales menos favorecidos por la atención médica,<sup>(42)</sup> incluyendo países en desarrollo.

La revisión destaca el impacto positivo de la tecnología en la evolución y eficacia de la fisioterapia moderna, promoviendo terapias personalizadas y el monitoreo remoto de la terapia física para facilitar la recuperación de los pacientes.

La calidad de nuestro análisis y la sistematicidad del estudio contribuyen a presentar de manera objetiva los hallazgos y a evitar sesgos. No obstante, se reconocen algunas limitaciones, como la posible exclusión de estudios relevantes en idiomas distintos al inglés y la alta variabilidad de ítems que podría disminuir la representatividad de los resultados sin afectar necesariamente su calidad. Los resultados tienen implicaciones significativas para la práctica, políticas y futuras investigaciones en el desarrollo de tecnologías para la fisioterapia, sugiriendo la necesidad de una mayor investigación en países en desarrollo y profundizando en los enfoques tecnológicos en futuras revisiones.

## CONCLUSIONES

La presente SLR revela un creciente interés y desarrollo en las aplicaciones de IA y ML en fisioterapia en los últimos 5 años. Diversos países, tanto desarrollados como en desarrollo, contribuyen a este avance. Se identificaron múltiples técnicas que abarcan desde enfoques básicos hasta DL. El impacto de la IA y ML en fisioterapia facilita desde el diagnóstico hasta la simulación de evaluaciones clínicas, con notables avances en radiología. Además de mejorar la eficacia clínica, estas tecnologías ofrecen beneficios significativos en recuperación, impacto socioeconómico y gestión de riesgos, especialmente en sectores que reciben menos atención. Este estudio proporciona una base sólida para mejorar las prácticas de terapia física, desarrollar políticas efectivas y orientar investigaciones futuras en la intersección de IA y fisioterapia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Chartered Society of Physiotherapy. Physiotherapy Framework: putting physiotherapy behaviours, values, knowledge & skills into practice [Internet]. Londres: Chartered Society of Physiotherapy; 2020 [Citado 02/06/2023]. Disponible en: [https://www.csp.org.uk/system/files/documents/2023-10/csp\\_physiotherapy\\_framework\\_0.pdf](https://www.csp.org.uk/system/files/documents/2023-10/csp_physiotherapy_framework_0.pdf)
2. Khalid MT, Sarwar M, Farhan Sarwar M, Haroon Sarwar M. Current Role of Physiotherapy in Response to Changing Healthcare Needs of the Society. International Journal of Information and Education Technology [Internet]. 2015 [Citado 02/06/2023];1. Disponible en: <http://www.aiscience.org/journal/ijeithttp://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

3. Aggarwal R, Ganvir S. Artificial intelligence in physiotherapy. *Physiotherapy - The Journal of Indian Association of Physiotherapists*. 2021;15(2):55.
4. D'Angelo T, Caudo D, Blandino A, Albrecht MH, Vogl TJ, Gruenewald LD, *et al.* Artificial intelligence, machine learning and deep learning in musculoskeletal imaging: Current applications. *Journal of Clinical Ultrasound*. 2022; 60:1414-31.
5. Tack C. Artificial intelligence and machine learning | applications in musculoskeletal physiotherapy. *Musculoskelet Sci Pract*. 2019;39:164-9.
6. Rowe M, Nicholls DA, Shaw J. How to replace a physiotherapist: artificial intelligence and the redistribution of expertise. *Physiother Theory Pract*. 2022;38(13):2275-83.
7. Mahmoud H, Aljaldi F, El-Fiky A, Battecha K, Thabet A, Alayat M, *et al.* Artificial Intelligence machine learning and conventional physical therapy for upper limb outcome in patients with stroke: a systematic review and meta-analysis. *Eur Rev Med Pharmacol Sci [Internet]*. 2023;27(11):4812-27 [Citado 02/06/2023]. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/37318455>
8. Alammar Z, Alzubaidi L, Zhang J, Santamaría J, Li Y, Gu Y. A Concise Review on Deep Learning for Musculoskeletal X-ray Images. En: 2022 International Conference on Digital Image Computing: Techniques and Applications (DICTA) [Internet]. United States of America: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.; 2022 [Citado 02/06/2023]. Disponible en: <https://eprints.qut.edu.au/238461/>
9. Hinterwimmer F, Consalvo S, Neumann J, Rueckert D, von Eisenhart-Rothe R, Burgkart R. Applications of machine learning for imaging-driven diagnosis of musculoskeletal malignancies—a scoping review. *Eur Radiol [Internet]*. 2022 [Citado 02/06/2023];32(10):7173-7184 Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35852574/>
10. Gyftopoulos S, Lin D, Knoll F, Doshi AM, Rodrigues TC, Recht MP. Artificial intelligence in musculoskeletal imaging: Current status and future directions. *American Journal of Roentgenology*. 2019;213: 506-13.
11. Hirschmann A, Cyriac J, Stieltjes B, Kober T, Richiardi J, Omoumi P. Artificial Intelligence in Musculoskeletal Imaging: Review of Current Literature, Challenges, and Trends. *Semin Musculoskelet Radiol*. 2019;23(3):304-11.
12. Gorelik N, Gyftopoulos S. Applications of Artificial Intelligence in Musculoskeletal Imaging: From the Request to the Report. *Canadian Association of Radiologists Journal*. 2021;72:45-59.
13. Fritz J, Kijowski R, Recht MP. Artificial intelligence in musculoskeletal imaging: a perspective on value propositions, clinical use, and obstacles. *Skeletal Radiology [Internet]*. 2022 [Citado 02/06/2023];51:239-43. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00256-021-03802-y>
14. Shin Y, Yang J, Lee YH, Kim S. Artificial intelligence in musculoskeletal ultrasound imaging. *Ultrasonography [Internet]*. 2021 [Citado 02/06/2023];40(1):30-44. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7758096/>
15. Ekambaram D, Ponnusamy V. AI-assisted Physical Therapy for Post-injury Rehabilitation: Current State of the Art. *IEIE Transactions on Smart Processing and Computing*. 2023;12(3):234-42.
16. Ajmera P, Kharat A, Botchu R, Gupta H, Kulkarni V. Real-world analysis of artificial intelligence in musculoskeletal trauma. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*. 2021;22.
17. Laur O, Wang B. Musculoskeletal trauma and artificial intelligence: current trends and projections. *Skeletal Radiology*. 2022;51: 257-69.
18. Klontzas ME, Papadakis GZ, Marias K, Karantanas AH. Musculoskeletal trauma imaging in the era of novel molecular methods and artificial intelligence. *Injury [Internet]*. 2020 [Citado 02/06/2023];51(12):2748-2756. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32972725/>
19. Román-Belmonte JM, De La Corte-Rodríguez H, Adriana Rodríguez-Damiani B, Carlos Rodríguez-Merchán E. Artificial Intelligence in Musculoskeletal Conditions. *Intechopen [Internet]*. 2023 [Citado 02/06/2023];1. Disponible en: <https://www.intechopen.com/chapters/86672>
20. Konnaris MA, Brendel M, Fontana MA, Otero M, Ivashkiv LB, Wang F, *et al.* Computational pathology for musculoskeletal conditions using machine learning: advances, trends, and challenges. *Arthritis Research and Therapy*. 2022;24.
21. Li MD, Ahmed SR, Choy E, Lozano-Calderon SA, Kalpathy-Cramer J, Chang CY. Artificial intelligence applied to musculoskeletal oncology: a systematic review. *Skeletal Radiology*. 2022;51: 245-56.

22. Vogrin M, Trojner T, Kelc R. Artificial intelligence in musculoskeletal oncological radiology. *Radiology and Oncology*. 2020; 55:1-6.
23. Sardari S, Sharifzadeh S, Daneshkhah A, Nakisa B, Loke SW, Palade V, et al. Artificial Intelligence for skeleton-based physical rehabilitation action evaluation: A systematic review. *Computers in Biology and Medicine*. 2023;158.
24. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021; 372.
25. Pérez García MB. Aplicaciones y Efectividad de Técnicas de Inteligencia Artificial y Aprendizaje Automático en la Fisioterapia Una Revisión Sistemática de la Literatura [Internet]. Suiza: Zenodo; 2024 [Citado 02/06/2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10553344>
26. Alnaqbi A, Shousha T, AlKetbi H, Hegazy FA. Physiotherapists' perspectives on barriers to implementation of direct access of physiotherapy services in the United Arab Emirates: A cross-sectional study. *PLoS One*. 2021;16(6):e0253155.
27. Alsiri NF, Alansari FH, Sadeq AH. The barriers of scientific research in physiotherapy. *J Taibah Univ Med Sci*. 2022;17(4):537-47.
28. Parpaleix A, Parsy C, Cordari M, Mejdoubi M. Assessment of a combined musculoskeletal and chest deep learning-based detection solution in an emergency setting. *Eur J Radiol Open*. 2023;10.
29. Marcuzzi A, Nordstoga AL, Bach K, Aasdahl L, Nilsen TIL, Bardal EM, et al. Effect of an Artificial Intelligence-Based Self-Management App on Musculoskeletal Health in Patients With Neck and/or Low Back Pain Referred to Specialist Care: A Randomized Clinical Trial. *JAMA Netw Open*. 2023;6(6):e2320400.
30. Rungruanganukul M, Siriborvornratanakul T. Deep Learning Based Gesture Classification for Hand Physical Therapy Interactive Program. En: *Digital Human Modeling and Applications in Health, Safety, Ergonomics and Risk Management. Posture, Motion and Health* [Internet]. Philadelphia: Springer; 2020. pp. 349-58 [Citado 02/06/2024]. [https://www.researchgate.net/publication/342822241\\_Deep\\_Learning\\_Based\\_Gesture\\_Classification\\_for\\_Hand\\_Physical\\_Therapy\\_Interactive\\_Program](https://www.researchgate.net/publication/342822241_Deep_Learning_Based_Gesture_Classification_for_Hand_Physical_Therapy_Interactive_Program)
31. Tan RRM, Feng C, Seah HS, Lin F. Movability assessment on physiotherapy for shoulder peri-arthritis via fine-grained 3D ResNet deep learning. *SPIE-Intl Soc Optical Eng* [Internet]. 2021 [Citado 02/06/2024];1. Disponible en: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2021SPIE11792E..OHT/abstract>
32. Kempitiya T, De Silva D, Rio E, Skarbez R, Alahakoon D. Personalised Physiotherapy Rehabilitation using Artificial Intelligence and Virtual Reality Gaming. En: *International Conference on Human System Interaction, HSI*. IEEE Computer Society. Australia 29 July – July, 2022 [Internet]. Nueva Jersey: IEEE; 2022 [Citado 02/06/2024]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/9869420/proceeding>
33. Arora A, Vijayvargiya A, Kumar R, Tiwari M. Machine Learning based Risk Classification of Musculoskeletal Disorder among the Garment Industry Operators. En: *Proceedings of the 3rd International Conference on Inventive Research in Computing Applications, ICIRCA 2021* [Internet]. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.; 2021. pp. 1193-8 [Citado 02/06/2024]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/355058005\\_Machine\\_Learning\\_based\\_Risk\\_Classification\\_of\\_Musculoskeletal\\_Disorder\\_among\\_the\\_Garment\\_Industry\\_Operators](https://www.researchgate.net/publication/355058005_Machine_Learning_based_Risk_Classification_of_Musculoskeletal_Disorder_among_the_Garment_Industry_Operators)
34. Pattison C, Steffen A, Roopaei M. An AI-Based Exergame to Assist Occupational and Physical Therapy. En: *2023 IEEE World AI IoT Congress, AllIoT 2023*. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.; 2023. pp. 804-7.
35. Francisco JA, Rodrigues PS. Computer Vision Based on a Modular Neural Network for Automatic Assessment of Physical Therapy Rehabilitation Activities. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. 2023;31: 2174-83.
36. Tannoury A, Elias M Choueiri, Darazi R. Human Pose Estimation Using Depth-Wise Separable Convolutional Neural Networks [Internet]. Suiza: Zenodo; 2022 [Citado 02/06/2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7141044>
37. Chen J, Huang X, Wang X, Qiao H. Recurrent Neural Network based Partially Observed Feedback Control of Musculoskeletal Robots. En: *ICARM 2022 - 2022 7th IEEE International Conference on Advanced Robotics and Mechatronics* [Internet]. Nueva Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. 2022. pp. 12-8 [Citado 02/06/2023]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/365855179\\_Recurrent\\_Neural\\_Network\\_based\\_Partially\\_Observed\\_Feedback\\_Control\\_of\\_Musculoskeletal\\_Robots](https://www.researchgate.net/publication/365855179_Recurrent_Neural_Network_based_Partially_Observed_Feedback_Control_of_Musculoskeletal_Robots)
38. Lee MH, Siewiorek DP, Smailagic A, Bernardino A, Badia SB. Enabling AI and Robotic Coaches for Physical Rehabilitation Therapy: Iterative Design and Evaluation with Therapists and Post-stroke Survivors. *Int J Soc Robot* [Internet]. 2024;16:1-22 [Citado 02/06/2024]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12369-022-00883-0>

39. Kawaharazuka K, Tsuzuki K, Onitsuka M, Asano Y, Okada K, Kawasaki K, et al. Object Recognition, Dynamic Contact Simulation, Detection, and Control of the Flexible Musculoskeletal Hand Using a Recurrent Neural Network with Parametric Bias. *IEEE Robot Autom Lett.* 2020;5(3):4580-7.
40. Román-Belmonte JM, De la Corte-Rodríguez H, Rodríguez-Merchán EC. Artificial intelligence in musculoskeletal conditions. *Frontiers in Bioscience - Landmark.* 2021; 26:1340-8.
41. Nast I, Tal A, Schmid S, Schoeb V, Rau B, Barbero M, et al. Physiotherapy Research Priorities in Switzerland: Views of the Various Stakeholders. *Physiotherapy Research International.* 2016;21(3):137-46.
42. Oosman S, Weber G, Ogunson M, Bath B. Enhancing Access to Physical Therapy Services for People Experiencing Poverty and Homelessness: The Lighthouse Pilot Project. *Physiotherapy Canada.* 2019;71(2):176-86.

**Financiamiento**

Los autores declaran no tener ningún tipo de fuente de financiamiento para el desarrollo de esta investigación.

**Conflicto de intereses**

Los autores declaran no tener conflictos de intereses relacionados con esta investigación.

**Contribución de autoría**

María Belén Pérez García: Curación de datos, análisis formal, adquisición de fondos, investigación, metodología, validación, visualización, redacción - borrador original, redacción - revisión y edición.

Sonia Alexandra Álvarez Carrión: Conceptualización, curación de datos, análisis formal, adquisición de fondos, investigación, software, visualización, redacción - borrador original, redacción - revisión y edición.

Henry Mauricio Villa Yáñez: Conceptualización, curación de datos, análisis formal, adquisición de fondos, investigación, recursos, supervisión, visualización, redacción - borrador original, redacción - revisión y edición.

Guido Javier Mazón Fierro: Curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, administración de proyecto, visualización, redacción - borrador original, redacción - revisión y edición.

Todos los autores participamos en la discusión de los resultados y hemos leído, revisado y aprobado el texto final.