Scientific & Education Medical Journal

Scientific & Education Medical Journal / Vol. 5, N° 3, 2025

CC BY NC SA

"Acción de la inteligencia artificial en la rehabilitación y recuperación de la enfermedad prevalente neurológica en niños y adultos"

Gabriela Escobar Montezuma[1], Keilyn Matilde Caro Gómez[2], Lina Maryudi Rodriguez López[3]

1 Gabriela Escobar Montezuma, Universidad Cooperativa de Colombia, gabrielescobarm1@gmail.com
2 Keilyn Matilde Caro Gómez, Universidad Libre de Barranquilla, keilyncaro14@hotmail.es
3 Lina Maryudi Rodriguez López, Universidad del Tolima,linismrl@gmail.com

Historia del Artículo:

Recibido: Noviembre 2024
Aceptado: Junio 2025
Publicado: Julio 2025

Palabras Clave:
Inteligencia artificial, neurorrehabilitación, enfermedad neurológica, accidente cerebrovascular, epilepsia, parálisis cerebral, Alzheimer.

Keywords: *Artificial intelligence, neurorehabilitation, neurological disease, stroke, epilepsy, cerebral palsy, Alzheimer's.*

Resumen

Los trastornos neurológicos principalmente el ictus, la epilepsia, la parálisis cerebral y el Alzheimer por su alta prevalencia, siguen siendo las enfermedades neurológicas con mayor número de discapacidad y mortalidad en el mundo. Por lo cual la inteligencia artificial (IA) ha jugado un papel importante en este tipo de enfermedades con especial enfoque en el campo de la rehabilitación para mejorar las tasas de discapacidad. Por tal razón esta revisión sistemática tuvo como objetivo clasificar las diferentes herramientas de inteligencia artificial (IA) en la rehabilitación de pacientes con enfermedades neurológicas prevalentes tanto en niños como adultos. Durante esta revisión se recopilaron 230 artículos extraídos de bases como *PubMed, ScienceDirect. Scielo y Google Scholar*, y que se encuentren en un periodo comprendido entre 2019 – 2024; de los cuales se analizaron e incluyeron 21 estudios que fueron seleccionados bajo criterios de inclusión y exclusión y con aplicación de la metodología PRISMA. Posteriormente se realizó un matriz de extracción de datos en donde se resumen los principales hallazgos de cada articulo para luego realizar un análisis principalmente cualitativo en donde se evidencio que las tecnologías más usadas para el proceso de rehabilitación fueron el aprendizaje automático y profundo, junto con algoritmos SVM, redes neuronales y sistemas robóticos. Cuya aplicación se centró en el monitoreo, seguimiento, evaluación y diseños de terapias de rehabilitación innovadoras y personalizadas. Finalmente se puedo observar que, aunque los resultados son prometedores, se requieren más investigación y aplicación clínica de estas herramientas, especialmente en población pediátrica.

Abstract

Neurological disorders, mainly stroke, epilepsy, cerebral palsy, and Alzheimer's disease, due to their high prevalence, continue to be the neurological conditions associated with the greatest levels of disability and mortality worldwide. Therefore, artificial intelligence (AI) has played an important role in addressing these conditions, with a particular focus on the field of rehabilitation to improve disability outcomes. For this reason, this systematic review aimed to classify the different artificial intelligence (AI) tools used in the rehabilitation of patients with prevalent neurological diseases in both children and adults.
During this review, 230 articles were collected from databases such as PubMed, ScienceDirect, SciELO, and Google Scholar, covering the period from 2019 to 2024. Of these, 21 studies were analyzed and included after applying predefined inclusion and exclusion criteria and following the PRISMA methodology. Subsequently, a data extraction matrix was developed to summarize the main findings of each article, followed by a predominantly qualitative analysis. This analysis showed that the most widely used technologies in the rehabilitation process were machine learning and deep learning, along with SVM algorithms, neural networks, and robotic systems. Their application focused on monitoring, follow-up, assessment, and the design of innovative and personalized rehabilitation therapies. Finally, it was observed that although the results are promising, further research and clinical application of these tools are required, especially in the pediatric population.

*** Autor para correspondencia:**

Gabriela Escobar Montezuma, Universidad Cooperativa de Colombia, gabrielescobarm1@gmail.com

Cómo citar:
Escobar et al. Acción de la inteligencia artificial en la rehabilitación y recuperación de la enfermedad prevalente neurológica en niños y adultos". S&EMJ. Año 2025; Vol.5: 20-35.

Introducción

A lo largo del tiempo los trastornos neurológicos siguen contribuyendo significativamente a la discapacidad y mortalidad en todo el mundo. Según La Organización Mundial de la Salud se estima que casi mil millones de personas pueden padecer estos trastornos neurológicos, lo que supone una gran carga para la enfermedad. (1)

Dentro de los trastornos neurológicos más prevalentes según su grupo etario, se encontramos la parálisis cerebral; causa más frecuente de discapacidad motora en niños. De acuerdo con la definición actualizada, la parálisis cerebral se encuentra en un grupo de trastornos permanentes del desarrollo del movimiento y la postura que se atribuyen a alteraciones no progresivas ocurridas en el cerebro fetal o infantil en desarrollo. (2)

Según datos reportados en Europa, la frecuencia médica de pacientes con parálisis cerebral es de 2,08 por cada 1000 nacidos vivos, pero en niños nacidos con un peso corporal inferior a 1,500 g, la frecuencia es 70 veces mayor en comparación con los niños con un peso corporal superior a 2,500 gr (2). El diagnóstico de la parálisis cerebral se realiza mediante evaluación clínica, una entrevista precisa sobre el embarazo, el parto, el periodo neonatal e infantil y el desempeño actual de las funciones motoras del niño. Así como exámenes adicionales que puedan ayudar en el diagnóstico de la parálisis cerebral.(2)

Otro de los trastornos neurológicos más comúnmente encontrados es la epilepsia, se estima que 65 millones de personas en todo el mundo padecen este trastorno, lo que equivale a 1 de cada 26 individuos (3). Esta enfermedad se define como un signo o síntoma transitorio que surge de una actividad neuronal anormal, excesiva o sincrónica en el cerebro, cuyo diagnóstico es el electroencefalograma (EGG), actualmente el estándar de oro (3).

Por otra parte, en adultos el accidente cerebrovascular sigue siendo el trastorno más prevalente. Cada año, 16 millones de personas sufren un ictus en todo el mundo y aproximadamente 5 millones de ellas sufren una discapacidad permanente(4). El ictus se caracteriza por ser una afección médica en la que se interrumpe el suministro de sangre al cerebro, lo que provoca la muerte celular. Puede tener consecuencias a corto o largo plazo, de hecho, se estima que alrededor del 35% de los pacientes presentan un deterioro de sus capacidades cognitivas y físicas(5).

Los accidentes cerebrovasculares isquémicos representan aproximadamente el 80% de todos los accidentes cerebrovasculares, mientras que los accidentes cerebro vasculares hemorrágicos representan aproximadamente el 20%. El accidente cerebrovascular isquémico se produce por la reducción del flujo sanguíneo o la obstrucción de vasos cerebrales, lo que provoca una privación de oxígeno y sangre en el tejido cerebral. El accidente cerebrovascular hemorrágico se produce por una hemorragia, debido a la rotura de vasos cerebrales, cuyos síntomas suelen aparecer en cuestión de minutos y pueden provocar graves déficits neurológicos (6).

Siguiendo con estos trastornos esta la esclerosis múltiple, una enfermedad autoinmune crónica, que afecta el sistema nervioso central y se caracteriza por la inflamación y el daño de las vainas de mielina que rodean los nervios, junto con neurodegeneración. Esta patología afecta más de 28 millones de personas en el mundo, causando diversos síntomas debilitantes como ataxia, deterioro sensorial, disfunción cognitiva y fatiga(7).

Finalmente, y no menos importante se encuentra la enfermedad de Alzheimer, enfermedad neuro degenerativa más común. Se estima que más de 46 millones de personas viven con demencia en todo el mundo; cifra que aumentará a 13,15 millones para el2050. Por lo cual se considera que existe una necesidad urgente en descubrir y utilizar biomarcadores para la detección, diagnóstico, pronóstico y seguimiento a la respuesta del tratamiento para controlar el impacto social de esta enfermedad (8).

Todos estos trastornos neurológicos mencionados tienen en común la urgencia en su detección y diagnóstico para el inicio temprano de una rehabilitación que mejore la calidad de vida y el pronóstico del paciente, contexto en el cual en los últimos años la inteligencia artificial (IA) ha jugado un papel importante.

La IA gracias a sus algoritmos, puede procesar y analizar grandes cantidades de datos en poco tiempo, con lo cual podría desempeñar un papel realmente importante en el establecimiento de una atención oportuna personalizada y con tratamientos específicos (citar (9) que eliminen las barreras de atención hospitalaria.

A modo de ejemplo el aprendizaje automático (ML), el aprendizaje profundo, la visión por computadora y el procesamiento del lenguaje natural (NLP), sistematizan y aceleran el procesamiento de gran cantidad de datos de los pacientes con accidente cerebrovascular, incluidos en ellos los registros clínicos, datos de neuroimágenes, dispositivos robóticos y señales cerebrales y bioeléctricas(4) para mejorar el rendimiento y personalizar la atención al paciente. Adicionalmente se ha observado que las técnicas de IA pueden identificar patrones que los humanos no pueden percibir, lo cual proporciona nuevos conocimientos acerca del progreso de los pacientes y sus necesidades individuales sobre todo en la rehabilitación. (4)

Las aplicaciones de IA en la creación de dispositivos como sensores portátiles, la incorporación de algoritmos, han demostrado ser prometedoras para transformar el futuro de la rehabilitación, como el caso de exoesqueletos controlados por IA, o las manos robóticas impulsadas por electromiografía (EMG) con inteligencia artificial (IA), que asisten al paciente en el movimiento de las partes del cuerpo como el caso de los dedos de la mano , determinando la intención de movimiento a partir de los de diferentes patrones , sobre todo a nivel los músculos del antebrazo. (10)

En los últimos años, se ha propuesto el entrenamiento de la marcha asistido por robot (RAGT) como terapia para las disfunciones del equilibrio y la marcha en personas con esclerosis múltiples (EM), u otro trastorno neurológico que comprometa la movilidad, demostrando su eficacia en la recuperación de la velocidad, el movimiento y la resistencia de la marcha, lo que reduce las discapacidades en las personas con este tipo de patología (7).

Estos avances al ser aun emergentes carecen de una taxonomía sólida que permita una mejor comprensión o asociación de estas herramientas y que sirva como base en investigaciones futuras para incluirse en la literatura actual e incluso para aplicarse a la práctica clínica. Es por eso, que el principal interrogante de donde parte esta investigación es, ¿cuáles son las principales herramientas de inteligencia artificial aplicadas en la rehabilitación de las enfermedades neurológicas prevalentes (accidente cerebrovascular, epilepsia, parálisis cerebral y Alzheimer) en niños y adultos?

Introduction

Over time, neurological disorders have continued to contribute significantly to disability and mortality worldwide. According to the World Health Organization, it is estimated that nearly one billion people may suffer from neurological disorders, representing a major burden of disease (1).

Among the most prevalent neurological disorders by age group is cerebral palsy, which is the most common cause of motor disability in children. According to the updated definition, cerebral palsy comprises a group of permanent disorders of movement and posture development attributed to non-progressive disturbances that occurred in the developing fetal or infant brain (2).

According to data reported in Europe, the medical prevalence of cerebral palsy is 2.08 per 1,000 live births; however, in children born with a body weight below 1,500 g, the prevalence is 70 times higher compared to children weighing more than 2,500 g (2). The diagnosis of cerebral palsy is based on clinical evaluation, a detailed interview regarding pregnancy, delivery, neonatal and infant periods, and the child's current motor function performance, as well as additional examinations that may support the diagnosis (2).

Another commonly encountered neurological disorder is epilepsy. It is estimated that 65 million people worldwide suffer from this condition, equivalent to 1 in every 26 individuals (3). This disease is defined as a transient sign or symptom resulting from abnormal, excessive, or synchronous neuronal activity in the brain, with electroencephalography (EEG) currently considered the gold standard for diagnosis (3).

In adults, stroke remains the most prevalent neurological disorder. Each year, 16 million people worldwide experience a stroke, and approximately 5 million of them suffer permanent disability (4). Stroke is characterized by an interruption of blood supply to the brain, leading to cell death. It may result in short- or long-term consequences; in fact, it is estimated that around 35% of patients experience impairment of cognitive and physical abilities (5).

Ischemic strokes account for approximately 80% of all stroke cases, while hemorrhagic strokes represent about 20%. Ischemic stroke occurs due to reduced blood flow or obstruction of cerebral vessels, resulting in oxygen and blood deprivation of brain tissue. Hemorrhagic stroke occurs due to bleeding caused by the rupture of cerebral vessels; symptoms usually appear within minutes and can lead to severe neurological deficits (6).

Another neurological disorder is multiple sclerosis, a chronic autoimmune disease that affects the central nervous system and is characterized by inflammation and damage to the myelin sheaths surrounding nerves, along with neurodegeneration. This condition affects more than 28 million people worldwide, causing various debilitating symptoms such as ataxia, sensory impairment, cognitive dysfunction, and fatigue (7).

Finally, and no less important, Alzheimer's disease is the most common neurodegenerative disorder. It is estimated that more than 46 million people worldwide live with dementia, a figure expected to rise to 131.5 million by 2050. Therefore, there is an urgent need to discover and apply biomarkers for detection, diagnosis, prognosis, and monitoring of treatment response in order to mitigate the social impact of this disease (8).

All the neurological disorders mentioned share the urgent need for early detection and diagnosis to enable timely rehabilitation, improving patients' quality of life and prognosis. In this context, artificial intelligence (AI) has played an increasingly important role in recent years.

Through its algorithms, AI can process and analyze large volumes of data in a short period of time, thereby playing a crucial role in establishing timely, personalized care and specific treatment strategies (cite (9)) that help

overcome barriers to hospital-based care.

For example, machine learning (ML), deep learning, computer vision, and natural language processing (NLP) systematize and accelerate the processing of large volumes of data from patients with stroke, including clinical records, neuroimaging data, robotic devices, and cerebral and bioelectrical signals (4), in order to improve performance and personalize patient care. Additionally, AI techniques have been shown to identify patterns that humans cannot perceive, providing new insights into patient progression and individual rehabilitation needs (4).

AI applications in the development of devices such as wearable sensors and the integration of intelligent algorithms have shown promise in transforming the future of rehabilitation. Examples include AI-controlled exoskeletons and electromyography (EMG)-driven robotic hands assisted by artificial intelligence, which support patient movement—such as finger motion—by determining movement intention based on different muscle activation patterns, particularly in the forearm muscles (10).

In recent years, robot-assisted gait training (RAGT) has been proposed as a therapy for balance and gait dysfunctions in individuals with multiple sclerosis (MS) or other neurological disorders affecting mobility. This approach has demonstrated effectiveness in improving gait speed, movement, and endurance, thereby reducing disability in this population (7).

As these advances are still emerging, they lack a solid taxonomy that would allow better understanding and association of these tools, serving as a foundation for future research, inclusion in the current literature, and application in clinical practice. Therefore, the main research question guiding this study is: What are the main artificial intelligence tools applied in the rehabilitation of prevalent neurological diseases (stroke, epilepsy, cerebral palsy, and Alzheimer's disease) in children and adults?

Objetivo

Objetivo principal será:Clasificar las herramientas de IA en la rehabilitación y recuperación de las enfermedades neurológicas más prevalente en niños y adultos, con la mirada desde las especialidades de Neu rología, en concomitancia con la Pediatra

Objective

The main objective of this study is to classify artificial intelligence (AI) tools used in the rehabilitation and recovery of the most prevalent neurological diseases in children and adults, from the perspective of the Neurology specialty, in conjunction with Pediatrics.

Metodología

Estrategia de búsqueda y selección de estudios

La revisión sistemática se llevó a cabo bajos los lineamientos del método PRISMA (Elementos de Informe Preferidos para Revisiones Sistemáticas y Metaanálisis). Se estructuro además la pregunta PICO para orientar la búsqueda de información:

P (población): Niños y adultos con enfermedades neurológicas prevalentes (accidente cerebrovascular, epilepsia, parálisis cerebral y Alzheimer)

I (intervención): Implementación de herramientas basadas en inteligencia artificial durante la rehabilitación.

C (comparación): Métodos de rehabilitación que use la inteligencia artificial vs Métodos tradicionales de rehabilitación sin uso de inteligencia artificial

O (resultados): conocer la aplicación de la inteligencia artificial en la recuperación funcional y neurológica en la rehabilitación de los trastornos neurológicos más prevalentes.

La búsqueda bibliográfica se realizó en las bases de datos PubMed, ScienceDirect, Scielo y Google Scholar durante un periodo de tiempo entre 2019 y 2024. Se utilizaron términos MeSH y palabras clave, como: "Inteligencia artificial", "Rehabilitación", "Enfermedad neurológica", "Accidente cerebrovascular", "Epilepsia", "Parálisis cerebral", "Alzheimer" y operadores booleanos (AND) para optimizar la combinación de términos y se aplicaron los siguientes filtros: Tipo de publicación: revisiones sistemáticas, metaanálisis y ensayos clínicos, disponibilidad de texto completo, idioma en inglés o español.

Selección de estudios

Se identificaron 230 artículos: PubMed (187), *ScienceDirect (18), SciELO (1) y Google Scholar* (24). Se eliminaron 9 artículos duplicados, se excluyeron 121 luego revisión por título, resumen y aplicación de los criterios de elegibilidad (Tabla 1). Posteriormente, se realizó la lectura completa de 50 artículos, de los cuales se descartaron 29 estudios por no cumplir con los criterios establecidos, resultando finalmente en 21 artículos incluidos en la revisión.

Evaluación de calidad

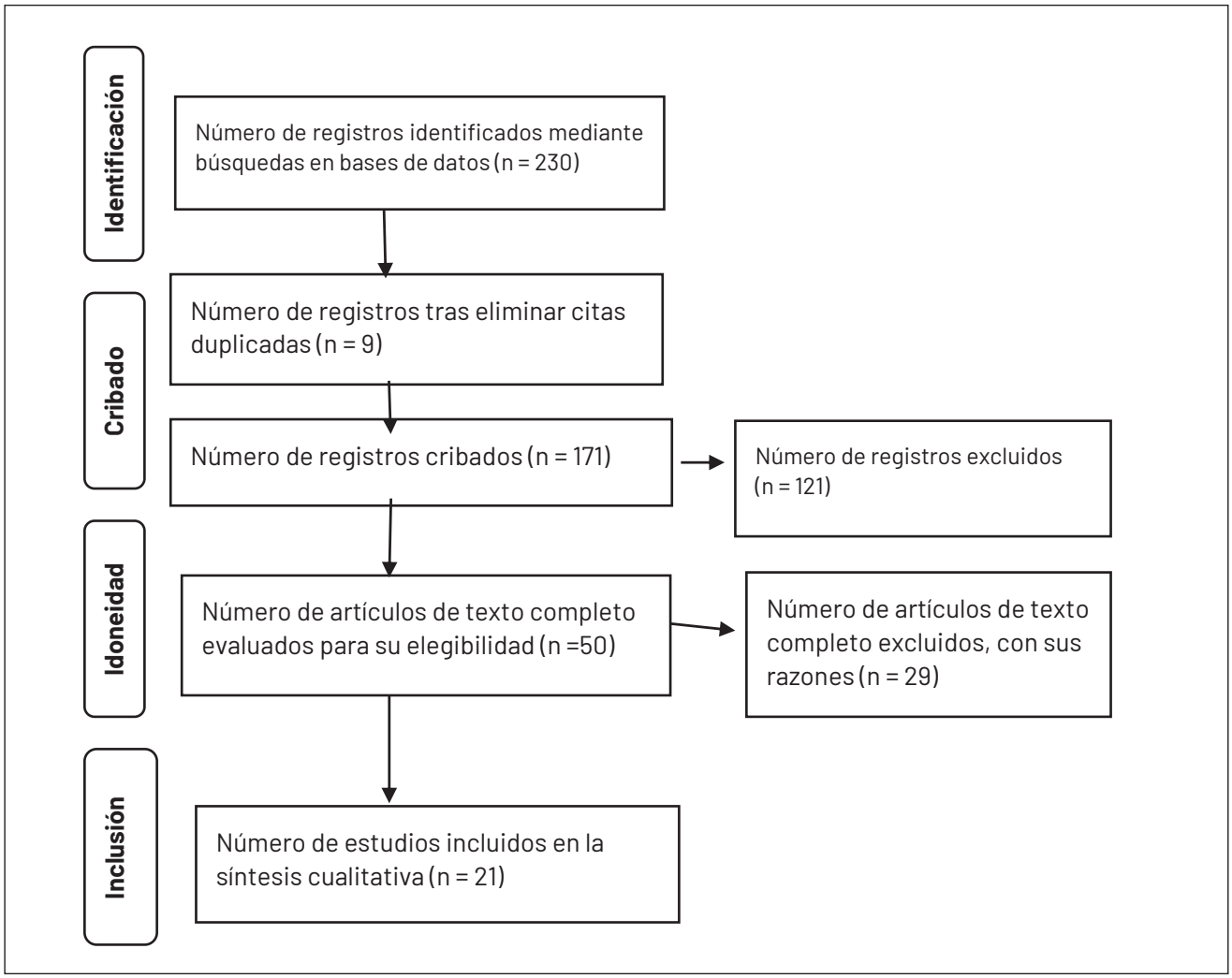
Se utilizo la escala CASPe (*Critical Appraisal Skills Programme* Español) ajustada a cada estudio para garantizar la calidad metodológica, la validez y confiabilidad de la información recolectada en cada artículo.

Tabla 1. Criterios de elegibilidad

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
• Artículos publicados en un periodo comprendido entre 2019 y 2024. • Estudios de tipo revisión sistemática, metaanálisis, o ensayos clínicos. • Publicaciones en inglés o español. • Estudios que evalúen la implementación de herramientas de inteligencia artificial. • Estudios que incluyan enfermedades neurológicas prevalentes (accidente cerebrovascular, epilepsia, parálisis cerebral y Alzheimer) en cualquier grupo etario.	• Estudios realizados exclusivamente en modelos animales. • Estudios enfocados en trastornos diferentes a los neurológicos • Intervenciones que no incluyan inteligencia artificial o que utilicen únicamente tecnologías tradicionales. • Publicaciones de tipo opinión, correspondencia, colección de imágenes, editoriales, cartas al editor y otros documentos no científicos. • Artículos en idiomas distintos al inglés o español.

Fuente: Elaboración propia de los autores para fines de este estudio

Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA mostrando la selección y exclusión de artículos.



Fuente: Adaptado en base a Page MJ, et al. BMJ 2021;372:n71. doi: 10.1136/bmj.n71. La declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la presentación de informes de revisiones sistemáticas.

Extracción y Análisis de datos

Se construyó una matriz de extracción de datos donde se clasificaron y compararon las principales variables de cada estudio, incluyendo: autor y año de publicación, país, objetivo, número de artículos incluidos, población, tipos de intervención, resultados relevantes y conclusiones.

El análisis fue predominantemente cualitativo, enfocado en la síntesis de los hallazgos, resultados y aplicaciones clínicas descritas en cada publicación. Adicionalmente se identificaron patrones comunes, aplicaciones compartidas y tipos de técnicas de IA empleadas.

Se identificaron v230 artículos: *PubMed (187), ScienceDirect (18), SciELO (1) y Google Scholar (24).* Se eliminaron 9 artículos duplicados, 121 por título y resumen. Se realizo lectura completa de 50 artículos, se descartaron 29 estudios por no cumplir con los criterios establecidos, teniendo como resultado 21 artículos incluidos en la revisión. (Figura 1).

Methodology
Search Strategy and Study Selection

The systematic review was conducted following the PRISMA guidelines (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). In addition, the PICO question framework was used to guide the literature search:

P *(Population): Children and adults with prevalent neurological diseases (stroke, epilepsy, cerebral palsy, and Alzheimer's disease).*
I *(Intervention): Implementation of artificial intelligence-based tools during rehabilitation.*
C *(Comparison): Rehabilitation methods using artificial intelligence versus traditional rehabilitation methods without the use of artificial intelligence.*
O *(Outcomes): To identify the application of artificial intelligence in functional and neurological recovery during the rehabilitation of the most prevalent neurological disorders.*

The literature search was conducted in the PubMed, ScienceDirect, SciELO, and Google Scholar databases over the period from 2019 to 2024. Medical Subject Headings (MeSH) terms and keywords were used, including: "Artificial intelligence," "Rehabilitation," "Neurological disease," "Stroke," "Epilepsy," "Cerebral palsy," and "Alzheimer's disease." Boolean operators (AND) were applied to optimize term combinations. The following filters were applied: publication type (systematic reviews, meta-analyses, and clinical trials), availability of full text, and language (English or Spanish).

Study Selection

A total of 230 articles were identified: PubMed (187), ScienceDirect (18), SciELO (1), and Google Scholar (24). Nine duplicate articles were removed. After title and abstract screening and application of eligibility criteria, 121 articles were excluded (Table 1). Subsequently, 50 articles were reviewed in full text, of which 29 were excluded for not meeting the established criteria. Finally, 21 studies were included in the systematic review.

Quality Assessment

The CASPe scale (Critical Appraisal Skills Programme – Spanish version) was used and adapted to each study to ensure the methodological quality, validity, and reliability of the information collected from each article.

Data Extraction and Analysis

A data extraction matrix was developed to classify and compare the main variables of each study, including: author and year of publication, country, objective, number of included articles, population, types of intervention, relevant outcomes, and conclusions.

The analysis was predominantly qualitative, focusing on the synthesis of findings, results, and clinical applications described in each publication. Additionally, common patterns, shared applications, and types of artificial intelligence techniques employed were identified.

A total of 230 articles were identified: PubMed (187), ScienceDirect (18), SciELO (1), and Google Scholar (24). Nine duplicate articles were removed, and 121 articles were excluded after title and abstract screening. Full-text review was conducted for 50 articles, of which 29 were excluded for not meeting the established criteria, resulting in 21 studies included in the review (Figure 1).

Papel de la IA en la medicina

La IA ha experimentado recientemente un crecimiento explosivo en muchos sectores, y el sector sanitario no es la excepción. Estudios realizados en diversas especialidades médicas han empleado la IA para imitar las capacidades diagnósticas de los médicos, de hecho, se espera que la IA pueda ampliar la capacidad de los humanos para brindar atención médica (23) sobre todo en las diferentes especialidades tanto en la optimización de la precisión diagnóstica, manejo tratamiento, predicción de inicio, complicaciones, mortalidad, entre otros enfoques clínicos (24)

En neurología, las herramientas de inteligencia artificial han demostrado relevantes contribuciones en el abordaje de los accidentes cerebrovasculares, enfermedades neurodegenerativas, epilepsia, entre otras aplicaciones (24). Como la detección temprana del

autismo en niños (25), en donde se utiliza información sobre imágenes de resonancia magnética. Esta información es procesada por una *Deep Neural Network* para, finalmente, utilizar una *Support Vector Machine* que será la encargada de estimar, con una elevada fiabilidad, si el paciente padecerá o no autismo. El modelo ha sido validado con 179 patrones. La precisión ofrecida es de un 94%, la especificidad es del 88% y la sensibilidad es del 95% (25).

De hecho, la IA en las patologías neurológicas han mostrado un crecimiento sostenido en los grupos etarios tanto de adultos como pediátricos, con el desarrollo de múltiples enfoques orientados al análisis del movimiento, la evaluación funcional y la recuperación motora y cognitiva en pacientes con patologías neurológicas. En este contexto, la **Tabla 3** presenta un resumen de los principales tipos de tecnologías empleadas, incluyendo aprendizaje profundo, aprendizaje automático y robótica inteligente, así como las herramientas más representativas, las patologías abordadas y sus aplicaciones clínicas en rehabilitación. La información recopilada refleja el uso de estas tecnologías principalmente en ictus, epilepsia, esclerosis múltiple, enfermedad de Alzheimer y parálisis cerebral, de acuerdo con la evidencia disponible en la literatura científica (1–18).

Por otro lado, y completado el contexto anterior durante esta revisión se escogieron los estudios publicados entre 2019 y 2024, seleccionados tras una rigurosa evaluación de calidad bajo la escala CASPe, con un promedio general de 8.1/10. Logrando sintetizar y analizar los datos con ayuda de la matriz de extracción de datos donde se compararon las principales características de cada estudio (Tabla 2).

Se encontró que los estudios incluidos evidencian un creciente uso de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático/profundo en patologías neurológicas, principalmente en rehabilitación, diagnóstico, pronóstico y seguimiento clínico. La mayor parte de la evidencia proviene de revisiones sistemáticas y metaanálisis, con especial énfasis en el accidente cerebrovascular, enfermedades neurodegenerativas y epilepsia, incluyendo población pediátrica. Las aplicaciones de IA demostraron mejorar la evaluación funcional, la precisión diagnóstica y la personalización terapéutica, destacándose la rehabilitación asistida por robótica y realidad virtual como estrategias superiores a las intervenciones tradicionales (11,5,13).

Asimismo, técnicas como la radió mica y las redes neuronales convolucionales mostraron utilidad en el diagnóstico temprano del Alzheimer (8), mientras que el aprendizaje automático presentó alta sensibilidad y especificidad en la detección de crisis epilépticas pediátricas (3). En conjunto, los estudios concluyen que la IA tiene un alto potencial transformador en neurología, aunque subrayan la necesidad de validación clínica, estandarización metodológica y consideración de aspectos éticos para su implementación en la práctica clínica (4,7,12,14,15)

Resultados

Se identificaron 16 revisiones sistemáticas, 2 ensayos clínicos y 3 metaanálisis. Los artículos revisados son heterogéneos empezando por su diversidad geográfica que abarca Europa, Asia, África y Latino América, además las poblaciones evaluadas comprenden poblaciones adultas y pediátricas.

Durante el análisis la mayoría de los estudios destaca el uso de la IA en diferentes ámbitos de la medicina, empezando por el diagnostico mediante el análisis de imagen especialmente en las patologías neurológicas, como se muestra en una revisión sistemática que incluyó el uso de la radiómica de la mano de la inteligencia artificial para el diagnóstico y la monitorización de la enfermedad de Alzheimer. En esta la mayoría de los estudios reportaron una precisión muy alta, sobre todo mediante resonancia magnética, sus resultaros confirmaron que la radiómica y la IA pueden ser herramientas valiosas para diagnosticar y monitorear la progresión del Alzheimer, lo que podría conducir a un diagnóstico y porque no un tratamiento más temprano y preciso, (8)

Por su parte la IA, además, destaca su uso en tratamiento y la rehabilitación en donde se incorpora modelos de asistencia robótica para la movilidad de las extremidades, el seguimiento mediante algoritmos, realidad virtual, entre otros, que pretenden personalizar la atención de pacientes con afecciones neurológicas. La afección con mayor campo de investigación en este ámbito fue el accidente cerebrovascular con un total de 14 revisiones

Los tipos de tecnologías de IA que se repitieron con mayor frecuencia en al menos 10 estudios fueron el aprendizaje automático seguido del aprendizaje profundo. Y las herramientas más comunes reportadas en 8 estudios fueron las redes neuronales profundas, las redes convolucionales (CNN), los Sistemas de visión artificial y sensores portátiles. A su vez los algoritmos empleados principiantemente para evaluación de la respuesta en rehabilitación fueron lo son Modelos supervisados como máquina de vectores de soporte (SVM).

Aplicación de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático en la rehabilitación neurológica

El aprendizaje automático fue reportado en 8 estudios analizados, con especial énfasis en el aprendizaje supervisado. El aprendizaje automático se puede dividir en aprendizaje no supervisado y supervisado. El aprendizaje no supervisado es bien

Tabla N° 2. Compilación histórica del impacto de la inteligencia artificial(IA) en la Medicina

Autor (Año)	País	Tipo de estudio	Objetivo	Tipo de intervención	Hallazgos y Conclusión
Vélez-Guerrero, MA; et al ,2021	Colombia	Revisión sistemática	Presentar los avances de los sistemas de procesamiento y control basados en inteligencia artificial (IA) en la mejora progresiva de los exoesqueletos robóticos móviles utilizados en la rehabilitación motora de miembros superiores. (15)	Rehabilitación	La rápida evolución de la robótica y la IA está transformando radicalmente los tratamientos tradicionales de rehabilitación. El 16 % de los estudios sobre exoesqueletos móviles o portátiles pueden proporcionar asistencia directa en el tratamiento de lesiones neuromotoras. Esto podría contribuir al tratamiento parcial o total de patologías de alta gravedad de forma eficaz(15)
Zou, Z, et al	China	Metaanálisis	Consolidar la evidencia existente sobre la efectividad del aprendizaje automático en el monitoreo de convulsiones epilépticas pediátricas para proporcionar una base basada en evidencia para el desarrollo y la mejora de herramientas inteligentes en el futuro.(3)	Diagnóstico, pronostico, tratamiento	Es prometedora la precisión de los métodos de inteligencia artificial en la detección de la epilepsia. El aprendizaje automático (AA) parece ofrecer una mayor precisión de detección que el aprendizaje automático (ML). Estos hallazgos respaldan el desarrollo de herramientas de alerta temprana basadas en el AA en futuras investigaciones (3)
CalderoneA, et al,	Italia	Revisión sistemática	Examinar cómo los sistemas de IA y ML influyen en el diagnóstico y el tratamiento de la neurorrehabilitación en trastornos neurológicos(1)	Diagnóstico, tratamiento y neurorrehabilitación	La IA está revolucionando la neurorrehabilitación, ofreciendo tratamientos personalizados basados en datos que mejoran la recuperación en trastornos neurológicos. Los esfuerzos futuros deben centrarse en la validación a gran escala, las consideraciones éticas y la ampliación del acceso a la atención domiciliaria avanzada.(1)
Sardari S. et al, 2023	Reino unido	Revisión sistemática	Revisión bibliográfica exhaustiva y actualizada sobre las diferentes etapas de los procesos de adquisición de datos esqueléticos para la monitorización del ejercicio físico. Así como las metodologías basadas en IA para el análisis de datos esqueléticos. para la monitorización de la rehabilitación. (16)	Rehabilitación	La llegada y la combinación de métodos de visión artificial y sensores de alta resolución, numerosos estudios propusieron diferentes Sistemas de asistencia para el reconocimiento y evaluación de actividades basados en aprendizaje automático/asistido por computadora (ML/DL) ayudan a los expertos médicos en la toma de decisiones y la prescripción de medicamentos, así como en la rehabilitación(16)
Song, C, et al,	China	Ensayo clínico	Evaluar mediante la inteligencia artificial y visión artificial cómo la rehabilitación de las extremidades superiores por el accidente cerebrovascular influye en la marcha de las extremidades inferiores.(17)	Rehabilitación	Las herramientas visuales basadas en IA pueden evaluar dinámicamente los patrones de marcha de los pacientes con ictus y comparar el lado afectado con el sano para identificar disparidades. Esto permite un tratamiento más preciso, dirigido a la extremidad superior del lado afectado, lo que resulta en mejores resultados a corto plazo (17)
Kerth, JL. et al	Alemania	Revisión sistemática	Analizar y sintetizar exhaustivamente la investigación sobre el uso de la IA para monitorear, guiar y asistir a pacientes pediátricos con enfermedades crónicas. (9)	Diagnóstico, rehabilitación y seguimiento	La IA tiene potencial en la atención de enfermedades crónicas pediátricas, la mayoría de los estudios revisados son proyectos de investigación a pequeña escala. Se requieren implementaciones clínicas prospectivas para validar su eficacia en situaciones reales (9)
Mahmoud H. et al 2023	Egipto	Metaanálisis	Comparar los efectos de la IA y la TC en la rehabilitación de discapacidades de las extremidades superiores en pacientes con ictus. (18)	Rehabilitación	IA es un método viable y seguro en la rehabilitación posterior a un accidente cerebrovascular y mejora la función de las extremidades superiores en comparación con TC(18)

Murakami Y. et al, 2023	Japón	Ensayo clínico	Evaluar el efecto de mano robótica con electromiografía (EMG) en pacientes con accidente cerebrovascular crónico.(10)	Rehabilitación	El robot con EMG e IA integrada mejoró la función motora y la espasticidad del ictus. Esta mano robótica podría ser útil para la rehabilitación del ictus en pacientes con ictus. (10)
El Naamani K. et al,	Estados unidos	Revisión sistemática	Revisar sistemáticamente la evidencia científica actual que evalúa el uso de la IA en la evaluación y la atención del ictus y examinar las tendencias de publicación durante la última década.(19)	Diagnóstico y rehabilitación	Mayor parte de las investigaciones sobre IA se centran en el área de diagnóstico de la atención de los accidentes cerebrovasculares, con una notable tendencia reciente de mayor enfoque en la investigación sobre el tratamiento y la rehabilitación de los accidentes cerebrovasculares.(19)
Nabizadeh, F. et al 2022	Irán	Revisión sistemática	Documentar la eficacia de la inteligencia artificial en la ayuda del diagnóstico de la esclerosis múltiple (19)	Diagnóstico	El diagnóstico de EM basado en nuevos marcadores e IA es un campo de investigación en crecimiento, con imágenes de resonancia magnética y algoritmos de CNN a la cabeza, seguidos por imágenes obtenidas de OCT, suero y LCR.(19)
Mennella, C. et al 2023	Italia	Revisión sistemática	Destacar los aspectos clave en los que los enfoques emergentes de aprendizaje automático basados en IA pueden ayudar a resolver problemas específicos de la práctica clínica y en la rehabilitación descentralizada (20)	Rehabilitación	Las aplicaciones basadas en inteligencia artificial influyen en la prestación de servicios de rehabilitación descentralizados al brindar un amplio acceso a terapia sostenida y de alta calidad.(20)
Wang, Z. et al,	China	Revisión sistemática	Resumir los métodos de diagnóstico de los ictus asistidos por inteligencia artificial (IA) de los últimos 25 años (6)	Diagnóstico, recuperación y pronostico	El diagnóstico de ictus asistido por IA ha demostrado un buen rendimiento, ayudando a los médicos a realizar diagnósticos rápidos y a mejorar la evolución, el tratamiento y la rehabilitación (6) de los pacientes.
Chaki, J. et al ,	Polonia	Revisión sistemática	Revisión ofrece un estudio de la detección, el diagnóstico del ictus cerebral y las técnicas de manejo robótico para la rehabilitación posterior al ictus cerebral desde seis perspectivas diferentes: conjuntos de datos sobre ictus cerebral y modalidades de recopilación de datos, enfoques de preprocesamiento, detección y diagnóstico de ictus cerebral basados en DL asistente inteligente de rehabilitación posterior al ictus cerebral basado en IA y medidas de rendimiento(21)	Diagnóstico Tratamiento rehabilitación	Se logro una visión general de la detección del ictus cerebral y las estrategias de manejo robótico de la mano de la IA post-ictus, que podrían ser útiles para la comunidad científica que trabaja en el campo de la detección automática del ictus cerebral y la gestión de la rehabilitación robótica(21)

Convenciones: Inteligencia artificial (**IA**), aprendizaje automático (**ML**), las Redes Neuronales Convolucionales (**CNN**), rehabilitación remota (**RR**),terapia de reeducación (**IR**) (**RT**) interfaz cerebro computadora (**BCI**), índice de Barthel modificado (**MBI**) prueba de brazo de investigación-acción (**ARAT**) evaluación de Fugl-Meyer de extremidades superiores (**FMA - UE**), metaanálisis en red (**NMA**), superficie bajo la línea de clasificación acumulativa (**SUCRA**), rehabilitación inteligente (**IR**), marcha asistida por robot (**RAGR**), terapias convencionales (**TC**), electromiografía (**EMG**), tomografía de coherencia óptica (**OCT**), aprendizaje profundo (**DL**).

Fuente: Elaborado con base en Nicora, G. et al, 2024 (11)- Rahman, S. et al, 2023 (5)- Mulpuri, R. et al, (12) -Bevilacqua, R, et al, 2023(8) -Zhu, Y, et al .2023 (13)-Senadheera, I. et al, -(4) Costantini S, et al, (14) -Vélez-Guerrero, MA; et al ,2021 (15) -Naji, Y, et al ,2023(7) -Zou, Z, et al (3) -CalderoneA, et al (1)-Sardari s, et al,2023 (16)-Song C, et al, (17)- Kerth JL, et al (9)- Mahmoud H, et al 2023 (18)- Murakami Y, et al , 2023 (10)-El Naamani K, et al, (19)-Nabizadeh F, et al 2022 (22)-Mennella C, et al 2023 (20)-Wang Z, et al, (6) -Chaki J, et al ,(21)

conocido para la extracción de características, mientras que el aprendizaje supervisado es adecuado para el modelado predictivo mediante la construcción de relaciones entre las características y el objetivo de interés. (20). Llas Máquinas de Vectores de Soporte (SVM) fueron el uno de los clasificadores de aprendizaje automático tradicional más utilizado para tareas de clasificación en el reconocimiento de actividades (20) durante la rehabilitación.

Por otro lado, en este tipo de aprendizaje, que comparte características con el aprendizaje profundo se encuentran las arquitecturas como las CNN, por ejemplo, las ResNet y AlexNet, Herramientas que lograron la mayor precisión en el método de estimación de pose para el seguimiento del movimiento humano y monitorización de la actividad mediante el procesamiento de algunos datos cinemáticos en la rehabilitación física descentralizada.(20)

Siguiendo con estas herramientas están los modelos de redes neuronales recurrentes (RNN) que lograron una alta precisión en el monitoreo de la actividad física (20), así como las redes neuronales artificiales (RNA), que han representado históricamente uno de los pilares de la biomecatrónica y los sistemas inteligentes. A través de ellas se ha incrementado el despliegue de dispositivos inteligentes de asistencia médica, como prótesis operadas por interfaces cerebro-máquina y exoesqueletos robóticos más sofisticados que apoyan tareas de rehabilitación (15).

El aprendizaje automático y la IA, además pueden ayudar a los terapeutas a predecir las emociones del paciente y los síntomas no motores durante el ejercicio de rehabilitación(11). Estos síntomas no motores, van desde el deterioro cognitivo y los trastornos del estado de ánimo, hasta la fatiga y el dolor crónico.(1)

Como se observó en una revisión, que el desarrolló de un SVM puede predecir tres niveles de ansiedad en pacientes con ictus mediante señales fisiológicas multimodales, como EMG, ECG (electrocardiograma), conductancia cutánea y respiración. (11) .Este tipo aprendizaje automático puede analizar grandes conjuntos de datos provenientes incluso de historiales médicos electrónicos, dispositivos portátiles entre otros, para identificar patrones que indiquen la aparición o exacerbación de estos síntomas no motores y prever el deterioro cognitivo inminente en pacientes que han sufrido un ictus, lo que permite a los profesionales sanitarios implementar intervenciones oportunas dirigidas a mejorar la cognición (1)

Por otro lado, el aprendizaje automático también es utilizado en el control y seguimiento de los exoesqueletos en rehabilitación, como se evidencio en una revisión en el que el control del exoesqueleto se puede lograr generando trayectorias de marcha personalizadas a través de redes neuronales (NN) o procesos gaussianos; y la predicción de fuerzas y momentos de reacción del suelo a través de algoritmos NN, SVM y Bosque Aleatorio (RF). (11)Además estos sistemas se aplican directamente en identificar gestos específicos del brazo extensiones, muñeca y el movimiento del codo en ayuda de las señales EMG(11) cabe resaltar que estos algoritmos mencionados previamente como SVM y bosques aleatorios, han demostrado una alta precisión en comparación con los métodos clásicos en la predicción y el pronóstico de la recuperación. (4)

Estos algoritmos dejaron claro su uso en uno de los artículos analizados en donde se usó el aprendizaje automático (ML) para predecir la recuperación de la marcha en pacientes con lesión de la médula espinal (LME) al alta de un centro de rehabilitación, eso se hizo gracias al análisis de datos mediante algoritmos de RF y árboles de decisión. Con el fin de predecir la capacidad para caminar, Estos algoritmos demostraron ser modelos precisos y los resultados podrían tener potencial para proporcionar un pronóstico temprano y guiar intervenciones adaptadas a las necesidades individuales del paciente, mejorando así la toma de decisiones en materia de atención médica. (1)

Aplicación de la inteligencia artificial y el aprendizaje profundo en la rehabilitación neurológica

La tecnología del aprendizaje profundo y sus diferentes herramientas se reportaron en al menos 16 estudios analizados, y su aplicación se observó igualmente en diagnóstico temprano, pronostico y tratamiento de las diferentes patologías neurológicas.

Las herramientas que con mayor frecuencia se reportaron en al menos 8 artículos fueron las redes neuronales artificiales como los RNA también conocidos como "Rehab-Net". Cuya utilidad está en clasificar con alta precisión los movimientos de las extremidades superiores de los supervivientes de un ictus, (4). Están también las CNN y el monitoreo de herramientas robóticas y exoesqueletos mediante EGG quienes comparten categoría junto al aprendizaje automático, ayudando a clasificar el nivel de discapacidad, evaluar la respuesta motora, los patrones de movimiento y la adherencia de los pacientes a la rehabilitación.

Si bien los hallazgos en rehabilitación son prometedores, el rendimiento de la IA se ha visto mejor documentado en la aplicación dirigida hacia el diagnostico de las afecciones como en la EM, en una revisión se uso todos los estudios originales que se centraron en el aprendizaje profundo para analizar cualquier modalidad que aporte en el diagnóstico de la EM, Los resultados arrojaron que la sensibilidad y especificidad fueron reportadas en 29 estudios que variaron de 76.92 a 100 para la sensibilidad y de 74 a 100 para la especificidad. Con 34 estudios que

reportaron una precisión de 81 a 100. Concluyendo que el diagnóstico de la EM basado en nuevos marcadores e IA es prometedor y pueden cambiar la forma en que monitorizamos y diagnosticamos a nuestros pacientes. (22)

No solo eso, además los algoritmos de IA (AIA) son capaces de reconocer patrones y anomalías dentro de imágenes médicas que pueden ser indicativas de EM e identificar cambios sutiles en las estructuras del cerebro y la médula espinal asociadas a este tipo de lesiones Por eso la implementación del sistema de diagnóstico asistido por computadora (CADS) y el aprendizaje profundo (DL)ayudan hacer un diagnóstico diferencial con otras afecciones y contribuir a un diagnóstico preciso. (7)

Ahora bien, otra implicación de la IA en el manejo de la EM en la tecnología de rehabilitación, es el entrenamiento de la marcha asistido por robot (RAGT) como terapia para las disfunciones del equilibrio y la marcha en personas con EM, Se ha demostrado su eficacia en la recuperación de la velocidad y la resistencia de la marcha, lo que reduce las discapacidades en las personas con diagnóstico de EM. (7)

Recientemente, se han implementado a estas tecnologías sensores basados en visión para la monitorización de la actividad, capaces de capturar datos esqueléticos precisos. De hecho, se han producido avances significativos en las metodologías de Visión Artificial (VC) y Aprendizaje Profundo (AP), que han impulsado las soluciones para el diseño de modelos automáticos de monitorización de la actividad del paciente. Lo cual ha suscitado en un amplio interés en la comunidad investigadora (16)

Aplicación de la inteligencia artificial en sistemas robóticos en la neurorrehabilitación

Los sistemas robóticos son una de las principales herramientas de uso para rehabilitación y su interacción con la inteligencia artificial han sido de interés en la investigación. Se documento que esta variante fue mencionada y tenía un apartado especial en 7 estudios, de las cuales 2 revisiones sistemáticas y 1 ensayo clínico, lo tomaron como un tema central, haciendo hincapié en pacientes con accidente cerebrovascular.

En estos pacientes las investigaciones se centraron en el uso de dispositivos robóticos equipados con IA para la recuperación sensoriomotora y de las extremidades superiores tras un evento de ictus. Los dispositivos robóticos más usados incluyen exoesqueletos y robots de asistencia o demostrativos que pueden ayudar a los pacientes a recuperar el control de las extremidades afectadas, proporcionando entrenamiento repetitivo y específico para cada tarea para mejorar la función motora de las extremidades superiores e inferiores (4)

Dentro de este tipo de rehabilitación ´robótica se destaca el diseño de robots adaptados a la anatomía humana como es el caso de la mano robótica. En un estudio se menciona la eficacia de una mano robótica controlada por electromiografía (EMG) con IA en la rehabilitación de las extremidades superiores de pacientes con ictus. En donde se asignaron aleatoriamente a 20 participantes a un grupo activo o a uno de control; un grupo activo se sometió a un entrenamiento activo de dedos con este robot, dos veces por semana durante cuatro semanas. Lo cual mejoró significativamente su rendimiento motor y redujo la espasticidad de la extremidad superior hemipléjica afectada (1)

Adicionalmente este tipo de tecnológicas controladas por IA pudieron detectar la intención de los pacientes de extensión y flexión de dedos con los patrones EMG en al menos 3 músculos de pacientes cuyas actividades EMG superficiales eran difíciles de detectar. Incluso en pacientes con hemiparesia grave. (10)

Ahora bien, se evidencio que estos sistemas robóticos necesitan un seguimiento y evaluación durante la rehabilitación de pacientes. Estos monitoreos se realizaron en gran medida con algoritmos de IA.

Como se vio en un estudio en donde se exploró el rendimiento de cinco algoritmos de inteligencia artificial (KNN, RF, XGB, SVM y FFNN) aplicados a características fisiológicas estructuradas de la HRV (Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca) y EDA (Actividad Electrodérmica) para predecir el nivel de compromiso del paciente durante la RAGR. en un grupo experimental compuesto principalmente por sujetos pediátricos o adultos jóvenes con diversos trastornos neuromotores, (14)

Otro tipo de algoritmos como los bosques aleatorios, han demostrado una alta precisión en comparación con los métodos clásicos en la predicción y el pronóstico de la recuperación. Estas aplicaciones permiten tomar decisiones informadas sobre los enfoques de tratamiento y la planificación de la recuperación a largo plazo. (4)

Sensores portátiles, visión artificial, entre otros

Dentro de esta revisión se agregó otro tipo de tecnologías que, si bien no son directamente robóticas, pero comparten algunas características con las mismas, y resaltan por su auge e importancia para investigaciones futuras.

Se han utilizado algoritmos de IA, sensores y las cámaras de detección de profundidad como Kinect para la emulación de puntuaciones clínicas, como la FMA, que proporciona medidas eficientes y objetivas de la función de las extremidades superiores a fin de cuantificar el uso de estas extremidades en la vida real

con gran precisión, lo que ayuda en las evaluaciones de recuperación motora y la planificación del tratamiento. (4)

Se ha observado además que el entrenamiento de rehabilitación basado en múltiples sensores, incluida la telerrehabilitación en el hogar, y usando sensores de bajo costo como Kinect e IA multimodal para el entrenamiento y la evaluación repetitivos, promueve una gran accesibilidad y la adherencia a la terapia.(4)

Los sistemas de visión artificial y la intervención asistida, que ofrecen técnicas avanzadas para mejorar los resultados de la rehabilitación. permite la monitorización y evaluación continua y sin marcadores del rendimiento individual mediante métodos no invasivos, como el uso de videocámaras, cámaras de profundidad y sistemas de captura de movimiento. Consiguiendo una evaluación objetiva en tiempo real y retroalimentación sobre la función motora, promoviendo una telerrehabilitación más efectiva y atractiva (4)

Estas herramientas visuales mostraron un importante papel en un ensayo clínico analizado en esta revisión. En el participaron 40 pacientes con ictus y se utilizaron herramientas visuales sin contacto basadas en IA para extraer características biológicas para la evaluación de la marcha. Estas herramientas ofrecieron la ventaja de realizar una evaluación cuantitativa durante la marcha, lo que permitió una evaluación temporal y espacial del proceso continuo. Además, se logró una comparación del rango de movimiento (ROM) del hombro y el codo entre los lados afectado y sano. Para posteriormente diseñar programas de entrenamiento personalizados para facilitar la recuperación de la función de las extremidades, y alinear el ROM del lado afectado con el del lado sano durante la marcha. Todo para mejora la precisión de la evaluación y permite un tratamiento más específico(17)

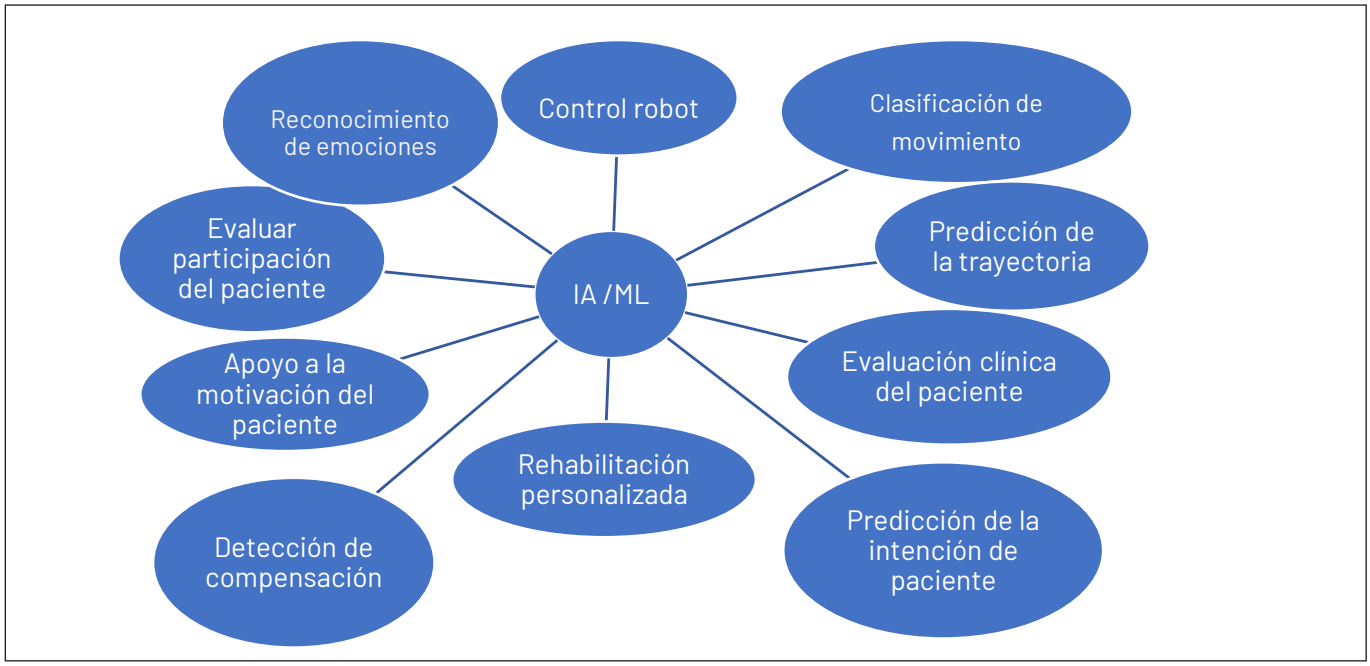
El uso de videojuegos en la rehabilitación del ictus igualmente ha mostrado ser beneficioso gracias a la motivación del paciente, una mayor intensidad del ejercicio y la capacidad de medir objetivamente los resultados. Generalmente implican controladores que miden la fuerza de agarre y evalúan el rango de movimientos del paciente cuando éste juega juegos virtuales o basados en computadora. Estos analizan el rendimiento de los diferentes usuarios, y garantiza una configuración de juego y una dificultad adaptadas a cada paciente, en función de su capacidad funcional individual.(19)

De estos resultados se puede concluir que tanto el aprendizaje automático como aprendizaje profundo trabajan de forma sinérgica para el control y evaluación de los sistemas robóticos, como se evidencia en el siguiente grafico (Figura 2)

Discusión

Durante la revisión se observa no solo el avance del desarrollo de la inteligencia artificial y sus herramientas en la rehabilitación neurológicas, sino también el progreso evidente en el diagnóstico temprano y el pronóstico a largo plazo estos dos últimos en especial

Figura 2. Objetivos más frecuentes para los que se utiliza IA/ML en robótica de rehabilitación



Fuente: Tomado de Nicora G et al , Systematic review of AI/ML applications in multi-domain robotic rehabilitation: trends, gaps, and future directions (2024) (11).

cuando se asocia a la radiómica.

En términos de rehabilitación que es el tema de interés de esta investigación, la inteligencia artificial ha permitido que el proceso en pacientes especialmente quienes han padecido un accidente cerebrovascular sea cada vez más personalizado , y esto se ha hecho a través de sus principales herramientas como el aprendizaje automático y el aprendizaje profundo los cuales han demostrado un buen rendimiento para la monitorización y evaluación del movimiento durante las terapias, así como la predicción de este último, incluso en el reconocimiento de emociones y síntomas no motores.

Respecto a la rehabilitación con el uso de tecnologías robóticas integradas basadas en IA, como el diseño de manos robóticas o exoesqueletos muestra un panorama beneficioso, pues mejora mediante la movilidad repetitiva la funcionalidad de las extremidades, y mediante su asociación con el uso de algoritmos logran una evaluación y monitoreo constante que permiten que se mejore la precisión y sensibilidad de las herramientas robóticas en el paciente.

Existe además una tendencia grande hacia el uso de sensores portátiles, visión artificial y el uso de video juegos, como complemento de la rehabilitación neurológicas, pues además de contribuir a la rehabilitación, se hacen realmente novedosas pues se adaptan al nivel de discapacidad y funcionalidad de cada individuo dependiendo de la patología que padezca.

She espera que todas estas tecnologías basadas en la IA ayuden no solo en rehabilitación, sino que permitan estudiar cuestiones clínicas mucho más complicadas (y mucho más cercanas a la vida real), lo que luego conduce a una mejor toma de decisiones en el manejo no solo del accidente cerebrovascular (18) sino también de las diferentes afecciones neurológicas.

Por otro lado, se trató de sintetizar de una forma sencilla todos estos hallazgos, y llevarlos a una clasificación formal que contribuya a próximas investigaciones, sin embargo, las herramientas encontradas comparten características entre sí, de hecho, el aprendizaje profundo ha tenido gran influencia a partir del aprendizaje automático y sus las herramientas de cada una de ellas. Lo cual hace complicado realizar una sola clasificación.

A pesar de esto se planteó una clasificación sencilla con el fin de hacer un poco más dinámica la comprensión de cada herramienta. (Tabla 3). Se debe tener precaución en abordar esta clasificación como un ítem independiente pues como se ha dicho anteriormente cada una comparte características con otra y sus aplicaciones son sinérgicas.

Si bien estas tecnologías son muy prometedoras, este estudio presento varias limitaciones que se hacen necesarias trabajar en un futuro para mejorar los resultados de siguientes investigaciones. Estas investigaciones fueron:

La heterogeneidad de los resultados dado por la distribución geográfica y la población, pues hace complejo realizar una generalización de los resultados. Además, se evidencia que los estudios en la población pediátrica aún están muy limitados, quizá por los aspectos éticos que implican el realizar estudios en esta población, sobre todo en rehabilitación.

Por otro lado, gran parte de los estudios se han enfocado en investigación dirigida hacia el accidente cerebro vascular, lo cual es realmente promisorio para la mejora de este tipo de pacientes, pues sigue siendo la enfermedad de mayor prevalencia. Sin embargo, las investigaciones relacionadas netamente a la rehabilitación de los otros tipos de las enfermedades neurológicas como Alzheimer, epilepsia y esclerosis múltiple, aun necesitan mayor esfuerzo que evidencie el uso de la IA en su rehabilitación.

Si bien estos estudios son muy sólidos, aún carecen de validación clínica por lo cual hay que tomar con cautela algunos resultados informados; adicionalmente varios estudios concordaban con una limitación sobre el uso de datos de privacidad de los pacientes quienes se someten a la rehabilitación con estas tecnologías, por ejemplo las arquitecturas de aprendizaje automático (AA) se consideran actualmente como cajas negras porque no describen cómo se obtienen su estimaciones de forma comprensible para las personas(21)

En resumen, el panorama es muy prometedor en relación a la aplicación de la IA en la rehabilitación pues brinda una atención personalizada enfocada a las necesidades de cada paciente, sin embargo, aún es un tema que necesita seguir en investigación y aún más en poblaciones pediátricas.

Conclusiones

Se puede concluir que la inteligencia artificial es una herramienta que promete convertirse en un aliado de la medicina, especialmente si se trata de ayuda diagnostica y en la rehabilitación de diferentes patologías incluyendo los trastornos neurológicos. A pesar que se evidencio que no existe una clasificación académica formal, especifica de las diferentes herramientas de IA en relación a la rehabilitación y recuperación de las enfermedades neurológicas. En esta revisión se propuso diseñar y organizar mediante una tabla comparativa, los hallazgos observados que se repetían en cada articulo analizado, así como las herramientas, algoritmos y modelos, como lo son el

Tabla 3. Clasificación de las principales herramientas de inteligencia artificial en rehabilitación

Tipo de tecnología	Herramienta	Ejemplo de herramienta	Patología aplicada	Aplicación en rehabilitación
Aprendizaje profundo	Redes Convolucionales (CNN)	ResNet AlexNet	Ictus Epilepsia Esclerosis múltiple Alzheimer	Permiten tener más precisión en el seguimiento de la rehabilitación, analizando y evaluando los patrones de movimiento, funcionalidad, equilibrio, durante la rehabilitación, para generar una atención personalizada
	Redes Neuronales Artificiales	"Rehab-Net"	Ictus Epilepsia Esclerosis múltiple Alzheimer	Usados para clasificar con alta precisión los movimientos de las extremidades superiores de los supervivientes de un ictus (4)
	Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN)	chatbots conversacionales	Ictus Alzheimer	Permiten distinguir patrones del lenguaje como síntoma que ayudan a predecir el inicio de ciertas patologías como el Alzheimer o ictus, además juegan un papel importante en la detección de síntomas no motores y estados de ánimo durante la rehabilitación.
Aprendizaje automático	Aprendizaje supervisado	Algoritmos SVM Máquinas de Vectores de Soporte Árboles de Decisión (DT)	Ictus Esclerosis múltiple Alzheimer Parálisis cerebral	Permiten analizar, monitorizar y evaluar principalmente los patrones de movimiento, la precisión del mismo, así como la función muscular y el equilibrio de las extremidades sea superior o inferior en pacientes con afecciones neurológicas con compromiso motor
Robótica inteligente	Robots, exoesqueletos, videojuegos, visión artificial	Manos robóticas controladas por EGM Exoesqueletos	Ictus Alzheimer Parálisis cerebral	Ayudan a mejoran la movilidad de las extremidades, a través del movimiento repetitivo. Reconocen síntomas no motores y emociones interviniendo en la rehabilitación cognitiva Permiten individualizar el nivel de discapacidad y movilidad de cada paciente para diseñar estrategias de rehabilitación acordes a sus necesidades individuales

Fuente: Elaboración en base a con base en Nicora, G. et al, 2024 (11)- Rahman, S. et al, 2023 (5)- Mulpuri, R. et al, (12) -Bevilacqua, R, et al, 2023(8) -Zhu, Y, et al .2023 (13)-Senadheera, I. et al, -(4) Costantini S, et al, (14) -Vélez-Guerrero, MA; et al ,2021 (15) -Naji, Y, et al ,2023(7) -Zou, Z, et al (3) -CalderoneA, et al (1)-Sardari s, et al,2023 (16)-Song C, et al, (17)- Kerth JL, et al (9)- Mahmoud H, et al 2023 (18)- Murakami Y, et al , 2023 (10)-El Naamani K, et al, (19)-Nabizadeh F, et al 2022 (22)-Mennella C, et al 2023 (20)-Wang Z, et al, (6)

aprendizaje automático, el aprendizaje profundo, las redes neuronales artificiales, los sistemas robóticos y la realidad virtual entre otros, con el fin de contribuir a futuras investigaciones relacionadas con el tema.

En la mayoría de los estudios se observa que los modelos del aprendizaje profundo ofrecen mejor precisión que los modelos de aprendizaje automático tradicional, sobre todo cuando se trata del diagnóstico, el pronóstico y la rehabilitación de los trastornos.

Adicionalmente podemos decir que la inteligencia artificial ha facilitado el desarrollo de diferentes herramientas que tienen la función de realizar un monitoreo remoto, que mejora la atención de cada paciente, pues evalúan su desempeño, adherencia y mejoras durante su tratamiento de rehabilitación; estas herramientas son: los sistemas automatizados, los robots asistidos por IA, la realidad virtual y algoritmos, entre otros.

Si bien los hallazgos son prometedores, existen ciertas limitaciones, enfocadas a temas éticos en relación a la privacidad y seguridad de los datos personales, sobre todo en las poblaciones pediátricas; razón por la cual, en los resultados encontrados en este estudio, en su mayoría van enfocados hacia la población adulta y en una pequeña proporción hacia la población pediátrica. Otra limitación encontrada es que los hallazgos son muy heterogéneos, seguidos de una escasa validación y aplicación directa a la práctica clínica, dejando rezagados estos estudios a investigaciones aun sin aplicación al contexto real del paciente.

En resumen, los avances de la inteligencia artificial ofrecen grandes posibilidades para mejorar la rehabilitación de enfermedades neurológicas,

sin embargo, es fundamental abordar numerosas limitaciones con el fin de extrapolar todos los hallazgos y estudios al ámbito de la práctica clínica.

Reflexión crítica del autor

La IA esta llegando a revolucionar la forma en que los médicos y los sistemas de salud están abordando las diferentes patologías en especial las patologías neurológicas, si bien la mayor parte de los estudios se ha centrado en la rehabilitación, es importante empezar a estudiar y explorar aun mas esta herramienta para mejorar la precisión en el diagnóstico. Es un mundo nuevo por explorar en donde es necesaria y hace falta impulsar aun mas investigaciones relacionadas al tema. Sobre todo, enfocarse en las poblaciones pediátricas en las que, si bien es difícil investigar por las implicaciones éticas, es la población en donde mas hay deficiencias y vacíos sobre este tema, es una de las mas prometedoras para mejorar el futuro de la medicina y de las nuevas generaciones.

Responsabilidades morales, éticas y bioéticas
Protección de personas y animales

Los autores declaramos que, para este estudio, no se realizó experimentación en seres humanos ni en animales. Este trabajo de investigación no implica riesgos ni dilemas éticos, En todo momento se cuidó el anonimato y confidencialidad de los datos, así. como la integridad de los datos.

Confidencialidad de datos

Los autores declaramos que se han seguido los protocolos de los centros de trabajo en salud, sobre la publicación de los datos presentados de los pacientes. Derecho a la privacidad y consentimiento informado Los autores declaramos que en este escrito académico no aparecen datos privados, personales o de juicio de recato propio de los pacientes.

Financiación

No existió financiación para el desarrollo, sustentación académica y difusión pedagógica.

Potencial Conflicto de Interés(es)

Los autores manifiestan que no existe ningún conflicto de interés en lo expuesto en este escrito estrictamente académico.

Referencias

1. Calderone A, Latella D, Bonanno M, Quartarone A, ningún conflicto S, Celesti A, et al. Towards Transforming Neurorehabilitation: The Impact of Artificial Intelligence on Diagnosis and Treatment of Neurological Disorders. Vol. 12, Biomedicines. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI); .
2. Sadowska M, Sarecka-Hujar B, Kopyta I. Cerebral palsy: Current opinions on definition, epidemiology, risk factors, classification and treatment options. Vol. 16, Neuropsychiatric Disease and Treatment. Dove Medical Press Ltd; 2020. p. 1505–18.
3. Zou Z, Chen B, Xiao D, Tang F, Li X. Accuracy of Machine Learning in Detecting Pediatric Epileptic Seizures: Systematic Review and Meta-Analysis. J Med Internet Res. ;26.
4. Senadheera I, Hettiarachchi P, Haslam B, Nawaratne R, Sheehan J, Lockwood KJ, et al. AI Applications in Adult Stroke Recovery and Rehabilitation: A Scoping Review Using AI. Vol. 24, Sensors. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI); .
5. Rahman S, Sarker S, Haque AKMN, Uttsha MM, Islam MF, Deb S. AI-Driven Stroke Rehabilitation Systems and Assessment: A Systematic Review. Vol. 31, IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.; 2023. p. 192–207.
6. Wang Z, Yang W, Li Z, Rong Z, Wang X, Han J, et al. A 25-Year Retrospective of the Use of AI for Diagnosing Acute Stroke: Systematic Review. Vol. 26, Journal of Medical Internet Research. JMIR Publications Inc.; .
7. Naji Y, Mahdaoui M, Klevor R, Kissani N. Artificial Intelligence and Multiple Sclerosis: Up-to-Date Review. Cureus. 2023 Sep 17;
8. Bevilacqua R, Barbarossa F, Fantechi L, Fornarelli D, Paci E, Bolognini S, et al. Radiomics and Artificial Intelligence for the Diagnosis and Monitoring of Alzheimer's Disease: A Systematic Review of Studies in the Field. Vol. 12, Journal of Clinical Medicine. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI); 2023.
9. Kerth JL, Hagemeister M, Bischops AC, Reinhart L, Dukart J, Heinrichs B, et al. Artificial intelligence in the care of children and adolescents with chronic diseases: a systematic review. Eur J Pediatr. 2024 Jan 1;184(1).
10. Murakami Y, Honaga K, Kono H, Haruyama K, Yamaguchi T, Tani M, et al. New Artificial Intelligence-Integrated Electromyography-Driven Robot Hand for Upper Extremity Rehabilitation of Patients With Stroke: A Randomized, Controlled Trial. Neurorehabil Neural Repair. 2023 May 1;37(5):298–306.
11. Nicora G, Pe S, Santangelo G, Billeci L, Aprile IG, Germanotta M, et al. Systematic review of AI/ML applications in multi-domain robotic rehabilitation: trends, gaps, and future directions. Vol. 22, Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation. BioMed Central Ltd; 2024.
12. Mulpuri RP, Konda N, Gadde ST, Amalakanti S, Valiveti SC. Artificial Intelligence and Machine Learning in Neuroregeneration: A Systematic Review. Cureus. May 31;
13. Zhu Y, Wang C, Li J, Zeng L, Zhang P. Effect of different modalities of artificial intelligence rehabilitation techniques on patients with upper limb dysfunction after stroke—A network meta-analysis of randomized controlled trials. Front Neurol. 2023;14.
14. Costantini S, Falivene A, Chiappini M, Malerba G, Dei C, Bellazzecca S, et al. Artificial intelligence tools for engagement prediction in neuromotor disorder patients during rehabilitation. J Neuroeng Rehabil. Dec 1;21(1).
15. Vélez-guerrero MA, Callejas-cuervo M, Mazzoleni S. Artificial intelligence-based wearable robotic exoskeletons for upper limb rehabilitation: A review. Vol. 21, Sensors. MDPI AG; 2021. p. 1–30.
16. 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. Vol. 158, Computers in Biology and Medicine. Elsevier Ltd; 2023.
17. Song C, Wang L, Ding J, Xu C, Yang H, Mao Y. Effect of Upper Limb Repetitive Facilitative Exercise on Gait of Stroke Patients based on Artificial Intelligence and Computer Vision Evaluation [Internet]. Available from: www.ismni.org
18. Mahmoud. H AljaldiFEFikyABattechaK, ThabetAAlayatMAElkafyEEbidAIbrahimA. Artificial Intelligence machine learning and conventional physical therapy for upper limb outcome in patients with stroke: a systematic review and meta-analysis [Internet]. 2023 [cited 2024 Jun 15]. Available from: PMID: 37318455 DOI: 10.26355/eurrev_202306_32598
19. El Naamani K, Musmar B, Gupta N, Ikhdour O, Abdelrazeq H, Ghanem M, et al. The Artificial Intelligence Revolution in Stroke Care: A Decade of Scientific Evidence in Review. Vol. 184, World Neurosurgery. Elsevier Inc.; . p. 15–22.
20. Mennella C, Maniscalco U, De Pietro G, Esposito M. The Role of Artificial Intelligence in Future Rehabilitation Services: A Systematic Literature Review. Vol. 11, IEEE Access. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.; 2023. p. 11024–43.
21. Chaki J, Wozniak M. Deep Learning and Artificial Intelligence in Action (2019-2023): A Review on Brain Stroke Detection, Diagnosis, and Intelligent Post-Stroke Rehabilitation Management. IEEE Access. ;12:52161–81.
22. Nabizadeh F, Masrouri S, Ramezannezhad E, Ghaderi A, Sharafi AM, Soraneh S, et al. Artificial intelligence in the diagnosis of multiple sclerosis: A systematic review. Vol. 59, Multiple Sclerosis and Related Disorders. Elsevier B.V.; 2022.
23. He J, Baxter SL, Xu J, Xu J, Zhou X, Zhang K. The practical implementation of artificial intelligence technologies in medicine. Nat Med. 2019 Jan;25(1):30-36. doi: 10.1038/s41591-018-0307-0. Epub 2019 Jan 7. PMID: 30617336; PMCID: PMC6995276
24. Santaella Palma LE. Aplicaciones de la inteligencia artificial en neurología y cardiología. Más Vita. 2023;5(4):118–130. doi:10.47606/ACVEN/MV0216
25. Moreno-Garrido A, Martínez-Masía J, García-Marín J, Espejo-Serrano J, Infante-Cossío P, García-Manzano A, et al. [Título del artículo]. Anales de Pediatría (Barcelona).;volumen:[páginas]. doi:10.1016/j.anpedi..02.006