

**Inteligencia artificial para la optimización de parámetros de RM en Esclerosis Múltiple:  
impacto en diagnóstico y seguimiento**

Carlos Yecid Caicedo Villabona

Danny Alexander Gómez Carrillo

Karen Lorena Suarez Torres

Karol Julieth Pinto Galvis

Katterine Taborda

Asesora

Vanessa Catherine Perea Duran

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias de Salud ECISA

Tecnología en Radiología e Imágenes Diagnósticas

2025

## **Dedicatoria**

Dedicado a Dios, fuente de sabiduría y guía en nuestro camino.

A nuestra madre y padre, por su amor incondicional y apoyo constante.

A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, por ofrecernos un espacio de formación que nos permitió crecer personal y profesionalmente.

Este logro evidencia cómo la fe, el respaldo familiar y la formación académica se articulan como motores fundamentales del crecimiento personal y profesional.

## **Agradecimientos**

Expresamos nuestro más profundo agradecimiento a Dios, fuente de inspiración y fortaleza, quien nos ha guiado en cada paso de este camino y nos ha permitido alcanzar esta meta.

Agradecemos infinitamente a nuestras familias, pilares fundamentales en nuestro desarrollo, por su apoyo incondicional, amor y paciencia.

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a nuestros tutores, cuya experiencia, guía, comprensión y paciencia fueron fundamentales en nuestra formación, su acompañamiento constante y la confianza depositada en nuestras capacidades nos impulsaron a enfrentar con seguridad los retos del camino investigativo, permitiéndonos alcanzar metas que, al inicio, parecían inalcanzables.

A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), nuestra alma mater, agradecemos la oportunidad de crecer y desarrollarnos como profesionales íntegros. Su modelo educativo innovador y flexible nos ha permitido superar desafíos y alcanzar nuestros sueños.

Así mismo, extendemos nuestro agradecimiento a todas las personas que, de una u otra forma, contribuyeron al desarrollo de esta investigación.

Agradecemos profundamente a todas las personas que colaboraron en la recolección de datos y dedicaron su tiempo a revisar y evaluar cada aspecto de esta investigación. Sus observaciones, sugerencias bibliográficas y valiosas conversaciones para afinar conceptos, propuestas y análisis, fueron fundamentales para la construcción de este trabajo. Sin sus aportes, este proyecto no tendría la solidez ni el sentido que hoy lo caracteriza.

## Resumen

Esta investigación se centra en la aplicación de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático (AA) para optimizar los parámetros de imagen en resonancia magnética (RM), con el objetivo de mejorar el diagnóstico y seguimiento de la esclerosis múltiple (EM), una enfermedad neurodegenerativa crónica caracterizada por su marcada heterogeneidad clínica y morfológica. Dado que la RM es la principal herramienta para identificar, clasificar y monitorear las lesiones desmielinizantes asociadas a la EM, resulta esencial asegurar una alta calidad de imagen y adaptar los parámetros técnicos a las particularidades de cada paciente.

Desde esta perspectiva, la integración de algoritmos de IA ha demostrado ser una herramienta eficaz para personalizar protocolos de adquisición, Optimizar la precisión diagnóstica y minimizar la exposición a la radiación (en modalidades complementarias como la TC), y detectar con mayor precisión lesiones pequeñas o de difícil visualización, superando las limitaciones del diagnóstico humano convencional. Además, la inteligencia artificial permite predecir la progresión de la enfermedad y evaluar la respuesta a los tratamientos, lo que favorece un abordaje clínico más personalizado, oportuno y eficiente.

El almacenamiento en la nube es una herramienta fundamental en este proceso, ya que facilita el manejo de grandes volúmenes de datos DICOM, el acceso remoto en tiempo real, la integración con plataformas de IA y la escalabilidad necesaria para soportar el análisis de imágenes en pacientes con EM. Sin embargo, su implementación tiene desafíos significativos afines a la protección de datos sensibles, la interoperabilidad con sistemas tradicionales, los costos operativos, la dependencia de la conectividad a internet y la necesidad de formación del personal.

Finalmente, se reconocen desafíos éticos y técnicos propios del uso de IA en la práctica médica, tales como la dependencia excesiva de los algoritmos, los riesgos de sesgos en los modelos predictivos, la calidad y representatividad de los datos de entrenamiento y la necesidad de establecer marcos normativos que garanticen la transparencia, la responsabilidad y la equidad en la toma de decisiones clínicas asistidas por IA. La colaboración interdisciplinaria entre radiólogos, neurólogos, bioinformáticos y expertos en ética será clave para una implementación segura, efectiva y humana de estas tecnologías en el contexto de la esclerosis múltiple.

***Palabras Clave:*** Inteligencia Artificial, algoritmos de IA, Aprendizaje Automático, Personalización de Parámetros de Imagen, Redes Neuronales

## Abstract

This research focuses on the application of artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) to optimize imaging parameters in magnetic resonance imaging (MRI), with the aim of improving the diagnosis and monitoring of multiple sclerosis (MS), a chronic neurodegenerative disease characterized by significant clinical and morphological heterogeneity. Since MRI is the primary tool for identifying, classifying, and tracking demyelinating lesions associated with MS, it is essential to ensure high image quality and to adjust technical parameters to the individual characteristics of each patient.

In this context, the integration of AI algorithms has proven to be an effective tool for personalizing acquisition protocols, improving diagnostic accuracy, reducing radiation doses (in complementary modalities such as CT), and detecting small or hard-to-visualize lesions with greater precision than human diagnosis alone. AI also enables the prediction of disease progression and the assessment of treatment response, facilitating a more personalized and efficient clinical approach.

Cloud storage emerges as a key complement in this process, enabling the handling of large volumes of DICOM data, real-time remote access, integration with AI platforms, and the scalability needed to support image analysis in MS patients. However, its implementation also presents significant challenges related to the protection of sensitive data, interoperability with traditional systems, operational costs, internet connectivity dependency, and the need for staff training.

Finally, ethical and technical challenges associated with the use of AI in medical practice are acknowledged, such as overreliance on algorithms, the risk of bias in predictive models, the quality and representativeness of training data, and the need to establish regulatory frameworks

that ensure transparency, accountability, and fairness in AI-assisted clinical decision-making. Interdisciplinary collaboration among radiologists, neurologists, bioinformaticians, and ethics experts will be crucial for the safe, effective, and human-centered implementation of these technologies in the context of multiple sclerosis.

**Keywords:** Artificial Intelligence, AI algorithms, Machine Learning, Image Parameter Personalization, Neural Networks.

## Tabla de Contenido

	<b>Pág.</b>
Introducción.....	15
Planteamiento del Problema.....	18
Justificación.....	24
Objetivos.....	28
Objetivo General.....	28
Objetivos Específicos .....	28
Marco Teórico.....	29
La Esclerosis Múltiple y la Importancia de las Imágenes Diagnósticas.....	29
Imágenes Diagnósticas y Esclerosis Múltiple.....	32
Resonancia Magnética (RM) .....	34
Características.....	34
Segmentación de Lesiones.....	35
Secuencias de RM .....	35
Monitoreo de la Actividad. ....	35
Tomografía Computarizada (TC) .....	35
Características.....	35
Comparación con Diagnósticos de Neurólogos.....	36
Utilidad de la Inteligencia Artificial en Imágenes Diagnósticas para la Esclerosis Múltiple ....	36
Introducción a la IA y al AA en Imágenes Médicas.....	36
Descripción de las Técnicas de IA Utilizadas para Analizar Imágenes Diagnósticas en la Esclerosis Múltiple .....	37

Aprendizaje Automático (Machine Learning).....	39
Redes Neuronales Artificiales (ANNs).....	39
Redes Convolucionales (CNNs).....	40
Redes Neuronales Profundas (DNNs).....	41
Aprendizaje por Representación (Representation Learning - RL) .....	42
Aprendizaje Profundo (Deep Learning - DL).....	43
Aplicaciones de la IA en la Interpretación de Imágenes Médicas .....	44
Detección y Diagnóstico de Cáncer .....	44
Análisis de Enfermedades Cardíacas.....	44
Identificación de Patologías Cerebrales .....	44
Optimización de Técnicas Radiológicas .....	44
Asistencia en la Detección de Lesiones .....	45
Predicción de Respuesta al Tratamiento .....	45
Detección Temprana de Enfermedades.....	45
Implementación de la IA en el Análisis de Imágenes Diagnósticas para la Esclerosis	
Múltiple .....	46
Resultados de la Aplicación de la IA en Imágenes Diagnósticas para la EM.....	48
Importancia de la Optimización De Parámetros para la Calidad de la Imagen y las Dosis de	
Radiación con IA .....	51
La IA y el Análisis de Grandes Volúmenes de Datos para Seleccionar Automáticamente	
Parámetros Óptimos.....	51
Descripción de los Parámetros Clave y cómo la IA Puede Optimizarlos.....	52
Voltaje del Tubo (kVp).....	52

Corriente del Tubo (mA) y Tiempo de Exposición (s) .....	52
Filtración .....	53
Colimación .....	53
Ventajas de la Optimización con IA: Personalización de Protocolos, Mejora en la Calidad de Imagen y Disminución de la Dosis de Radiación .....	53
La Nube y el Almacenamiento de Imágenes Diagnósticas en el Contexto de la IA .....	54
Aplicación de la Tecnología de la Nube en el Almacenamiento de Imágenes Diagnósticas	54
Uso de la Nube para Almacenar, Procesar y compartir Imágenes DICOM.....	55
Beneficios de la Centralización, Acceso en Tiempo Real y Reducción de la Dependencia del Almacenamiento Físico .....	55
Facilidad del Acceso Remoto, la Colaboración entre Profesionales y la Escalabilidad.....	56
Optimización del Espacio y Tiempo de Transferencia Mediante la Compresión de Imágenes.....	56
Ventajas del Almacenamiento en la Nube en el Ámbito de la Salud y su Conexión con la IA	57
Mejora de la Gestión de Imágenes Médicas con Accesibilidad Remota e Interoperabilidad	57
Escalabilidad para Adaptarse a Grandes Volúmenes de Datos Necesarios para la IA	57
Seguridad Avanzada en la Protección de Datos .....	58
Facilitación de la Integración de IA para Mejorar el Análisis y Optimización de Imágenes	58
Respaldo Automático de Datos y Reducción de Tiempos de Procesamiento.....	59
Desafíos del Almacenamiento en la Nube en el Ámbito de la Salud .....	60
Protección de Datos y Privacidad (Riesgos de Accesos no Autorizados y Ciberataques)	60
Cumplimiento Normativo .....	61
Interoperabilidad con Sistemas Tradicionales .....	61

Costos de Implementación y Mantenimiento.....	62
Dependencia de la Conectividad a Internet.....	62
Resistencia al Cambio y Necesidad de Capacitación .....	63
Aplicación Especifica de la Nube para el Análisis con IA en Pacientes con EM y Facilitación del Acceso en Tiempo Real a Imágenes para el Análisis con IA .....	63
Permiso para la Aplicación de Algoritmos de IA Y ML Para Mejorar la Detección de Lesiones, Optimizar Parámetros y Reducir la Variabilidad .....	64
Desafíos Éticos y Técnicos de la IA en el Diagnóstico de la EM.....	64
Dependencia de Algoritmos de IA y Potencial por Sistemas de IA.....	64
Interpretación Ética de los Resultados Generados por Sistemas de IA.....	66
Importancia de la Calidad y Fiabilidad de los Datos de Entrenamiento Para la Efectividad de los Modelos Predictivos.....	66
Riesgos de Falsos Positivos y Negativos .....	67
Dificultad de Generalizar Modelos a Diferentes Tipos de Escáneres de RM y Poblaciones de Pacientes .....	67
Importancia de la Colaboración Interdisciplinaria entre Radiólogos, Neurocientíficos y Especialistas en Informática.....	68
Futuras Líneas de Investigación en este Campo .....	68
Evaluación de los Impactos Éticos, Técnicos y Prácticos de la Implementación de la IA .....	69
Mejora en el Diagnóstico y Seguimiento .....	70
Ventajas de la IA .....	70
Desafíos Éticos.....	71
Desafíos Técnicos y Limitaciones .....	72

Metodología.....	73
Definición del Problema.....	74
Diseño del Estudio .....	74
Limitaciones de la Metodología.....	75
Fases de la Metodología .....	75
Fase 1. Exploración Bibliográfica en Bases de Datos.....	75
Fase 2. Organización de la Información Recolectada .....	76
Fase 3. Análisis e Interpretación de Datos.....	77
Desarrollo del Proyecto .....	79
Fase 1: Exploración Bibliográfica en Bases de Datos.....	79
Tarea 1. Revisión Literaria en Bases de Datos .....	79
Tarea 2: Identificación de Palabras Clave Relevantes.....	80
Fase 2: Organización de la Información Recolectada.....	80
Tarea 1: Descripción de la Información más Relevante de la Investigación .....	81
Tarea 2. Categorización por Temas Específicos.....	81
Fase 3: Análisis e Interpretación de los Datos .....	86
Tarea 1: Análisis de los Datos Categorizados.....	87
Tarea 2: Evidenciar la Importancia del Tema Mediante la Literatura Científica .....	87
Síntesis de los Hallazgos .....	88
Conclusiones.....	91
Recomendaciones.....	93
Referencias Bibliográficas.....	96

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> <i>Revisión Literaria</i> .....	80
<b>Tabla 2.</b> <i>Resultados de la Búsqueda</i> .....	82

## Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> <i>RMN Cerebral de un Paciente con EM</i> .....	33
<b>Figura 2.</b> <i>Resonancia magnética cerebral de paciente con EM</i> .....	39
<b>Figura 3.</b> <i>Qué es una Red Neuronal Artificial</i> .....	40
<b>Figura 4</b> <i>Redes Neuronales Convolucionales</i> .....	41
<b>Figura 5.</b> <i>Redes Neuronales Profundas</i> .....	42
<b>Figura 6.</b> <i>Aprendizaje por Representación – RL</i> .....	42
<b>Figura 7.</b> <i>Deep Learning para la Segmentación de Imágenes Médicas</i> .....	43
<b>Figura 8.</b> <i>Pasos de la Metodología</i> .....	74

## Introducción

La esclerosis múltiple (EM) es una enfermedad neurodegenerativa crónica del sistema nervioso central que afecta a millones de personas en todo el mundo, especialmente a adultos jóvenes entre los 18 y 40 años. Se caracteriza por un proceso inflamatorio y desmielinizante que daña la mielina, la capa protectora de las fibras nerviosas, y altera la conducción de los impulsos eléctricos en el cerebro y la médula espinal. Esta enfermedad presenta una notable heterogeneidad clínica, morfológica y evolutiva, lo que complica su diagnóstico, clasificación y seguimiento. La forma más común es la esclerosis múltiple recurrente-remitente (EMRR), aunque en muchos casos puede evolucionar hacia formas más agresivas. Factores como el inicio temprano, el género femenino, antecedentes familiares, comorbilidades autoinmunes y una alta carga lesional en imágenes se asocian con una evolución más activa (Jiménez y González, 2020; Vázquez et al., 2021).

La resonancia magnética (RM) es actualmente la principal herramienta para el diagnóstico, clasificación y monitoreo de la EM, gracias a su capacidad para detectar lesiones desmielinizantes incluso en etapas tempranas. Los criterios de McDonald, ampliamente utilizados en la práctica clínica, se basan en la demostración de diseminación de las lesiones en tiempo y espacio mediante la RM, así como en la exclusión de otras patologías (Icoba, 2024). No obstante, la precisión diagnóstica y el valor pronóstico de la RM dependen en gran medida de la calidad de las imágenes obtenidas, la correcta selección de parámetros técnicos y la experiencia del operador, lo que puede generar variabilidad interobservador y limitar la consistencia de los resultados.

Tradicionalmente, la optimización técnica de las condiciones de adquisición de imágenes ha sido responsabilidad de técnicos radiólogos, quienes ajustan manualmente parámetros como el

tiempo de repetición (TR), el tiempo de eco (TE), el campo de visión y la resolución, de acuerdo con el tipo de estudio y las características individuales del paciente. Sin embargo, el uso de algoritmos de inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático (AA) o machine learning (ML), ha comenzado a transformar este proceso. Estas tecnologías permiten una optimización automatizada, eficiente y personalizada de los parámetros de imagen, logrando mejores resultados diagnósticos, reducción de artefactos, mayor homogeneidad entre estudios y, en algunos casos, menor tiempo de adquisición o reducción de exposición a radiación (Instituto Nacional del Cáncer, 2022).

En el contexto de la EM, la IA y el AA emergen como herramientas innovadoras con un gran potencial para mejorar la detección de lesiones, aumentar la precisión diagnóstica y optimizar el seguimiento longitudinal. Además, estas tecnologías pueden apoyar la predicción de la progresión de la enfermedad, así como evaluar de forma más precisa la respuesta a los tratamientos. El uso de almacenamiento en la nube y plataformas interoperables también ha facilitado la gestión y análisis de grandes volúmenes de datos médicos, como los archivos DICOM, permitiendo el acceso remoto a modelos de IA en tiempo real y potenciando la escalabilidad de estas soluciones tecnológicas.

Sin embargo, la implementación de IA en entornos clínicos no está exenta de desafíos. Se deben considerar aspectos técnicos, éticos y regulatorios fundamentales, tales como la protección de datos sensibles, la transparencia en los procesos de decisión algorítmica, la validación clínica de los modelos y la formación del personal de salud. A medida que se superen estos obstáculos, se espera una adopción más amplia y segura de estas herramientas, lo que podría beneficiar sustancialmente a pacientes, profesionales e instituciones sanitarias.

En este marco, la presente investigación tiene como propósito analizar críticamente la aplicación de la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático (AA) en la optimización de parámetros de adquisición en resonancia magnética (RM) para el diagnóstico y seguimiento de la esclerosis múltiple (EM). Se busca identificar las metodologías predominantes, evaluar los beneficios clínicos y operativos, reconocer las limitaciones actuales y explorar las oportunidades futuras que estas tecnologías ofrecen para transformar la práctica médica en neurología y radiología diagnóstica. Este trabajo es relevante tanto desde el punto de vista clínico como tecnológico. Los principales beneficiarios de esta investigación son los pacientes con esclerosis múltiple, profesionales de la salud e instituciones médicas.

## Planteamiento del Problema

En la adquisición de imágenes diagnósticas, garantizar alta calidad y minimizar la dosis de radiación son esenciales para la seguridad del paciente y un diagnóstico preciso. El reto principal es equilibrar ambas variables, ya que los protocolos adecuados permiten obtener imágenes de calidad sin dosis innecesarias. La optimización de dosis, bajo el principio ALARA, busca este equilibrio, pero en la práctica radiológica a menudo se descuida, en parte debido a actitudes inadecuadas de algunos tecnólogos (Arboleda et al., 2024). Además, los protocolos de adquisición se ajustan manualmente, sin personalización según las características del paciente, lo que puede ocasionar repetición de estudios y mayor exposición a radiación.

Si bien la resonancia magnética (RM) no implica exposición a radiación ionizante, presenta desafíos significativos en la optimización de los parámetros de adquisición, especialmente en el estudio de patologías como la esclerosis múltiple (EM), en este contexto, donde obtener información diagnóstica precisa y confiable es esencial para la evaluación y seguimiento de la esclerosis múltiple, cobra especial relevancia el análisis de los parámetros de resonancia magnética (RM) que han sido optimizados mediante inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático (AA). Asimismo, resulta pertinente identificar y discutir los pros y contras de las técnicas basadas en IA/AA aplicadas a la optimización de estos parámetros en estudios relacionados con EM, ya que esto puede contribuir a mejorar la precisión diagnóstica, reducir la variabilidad entre estudios y avanzar hacia una medicina más personalizada.

La EM es una patología neurológica inflamatoria y desmielinizante del sistema nervioso central, cuyo diagnóstico, evaluación del progreso y seguimiento terapéutico dependen en gran medida de estudios de RM de alta calidad. En este contexto, la precisión diagnóstica en las imágenes es fundamental para detectar lesiones desmielinizantes en distintas fases (activas,

crónicas o en remisión), evaluar la progresión de la enfermedad y orientar las decisiones terapéuticas. Sin embargo, los protocolos de RM suelen estandarizarse sin una adaptación precisa al perfil individual del paciente, lo que puede traducirse en estudios poco sensibles o incluso en la necesidad de repetir exploraciones, aumentando costos y tiempos clínicos (Vázquez, et al., 2021), además la efectividad de la RM está sujeta a la calidad de las imágenes obtenidas, que a su vez está condicionada por parámetros técnicos como el tiempo de repetición (TR), tiempo de eco (TE), matriz, grosor de corte, número de adquisiciones y tipo de secuencia (Llufriu, 2024).

La selección adecuada de las secuencias de pulsos electromagnéticos en la resonancia magnética (RM) es crucial para lograr una visualización precisa de las lesiones características de la esclerosis múltiple (EM). Para detectar lesiones pequeñas en placas desmielinizantes, se requiere una alta resolución espacial y un contraste óptimo que minimice el ruido y los artefactos que pueden distorsionar la imagen y generar falsos positivos. De esta manera, garantizar la consistencia en la adquisición de imágenes es esencial para realizar comparaciones precisas en estudios longitudinales, lo que permite un seguimiento fiable del avance de la enfermedad.

Además, los parámetros deben adaptarse a la visualización de lesiones en regiones cerebrales específicas por medio del uso de técnicas avanzadas como la resonancia magnética funcional y la tractografía. Sin embargo, la variabilidad entre equipos y protocolos utilizados en diferentes centros de diagnóstico representa un desafío para la estandarización de los resultados.

Entonces, la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático (ML) emergen como herramientas prometedoras para automatizar y personalizar la optimización de las condiciones de adquisición en resonancia magnética (RM). Estas tecnologías tienen la capacidad de aprendizaje a partir de grandes volúmenes de datos y ajustar dinámicamente las variables de imagen de acuerdo con las características individuales del paciente, el tipo de estudio y los objetivos

diagnósticos específicos (Iglesias, 2023), es decir, una mejora significativa en la calidad de las imágenes, una disminución en el tiempo de adquisición y, cuando corresponde, una reducción en la dosis de radiación. En la esclerosis múltiple, la IA facilita la visualización de lesiones sutiles, aumenta la reproducción entre estudios y reduce la variabilidad entre operadores. Además, permite predecir resultados, asistir en el diagnóstico y personalizar los tratamientos. No obstante, su implementación también tiene importantes desafíos, como la regulación ética, la protección de datos sensibles y la necesidad de actualizar las competencias del personal médico (Egli, s.f.). En este sentido, la IA está revolucionando la práctica radiológica, al convertirse en un recurso clave que mejora la precisión diagnóstica y se adapta a protocolos de imagen de cada paciente, como destacan Jiménez et al., (2022), al señalar que los algoritmos de IA constituyen un valioso apoyo para los profesionales.

La optimización de parámetros en la adquisición de imágenes es un desafío constante, para equilibrar la calidad de la imagen y la dosis de radiación administrada a cada paciente. Los protocolos estándar no siempre son adecuados para todos los estudios o pacientes y su efectividad requiere de un operador con habilidades técnicas y experiencia, es decir, que puede resultar en imágenes de baja calidad o una exposición innecesaria a radiación. El reto principal en las imágenes diagnósticas es encontrar un balance entre calidad y dosis de radiación, como señala Sobrado (2020).

Frente a esta problemática, la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático (AA) surgen como instrumentos clave en la automatización y personalización en la adquisición de imágenes. Estas tecnologías permiten identificar, desde las imágenes iniciales almacenadas en la nube, patrones asociados a familias de patologías específicas, acelerando la toma de decisiones diagnósticas y evitando demoras innecesarias en el tratamiento. Los algoritmos de IA pueden

ajustar automáticamente los parámetros de adquisición de acuerdo con las características individuales del paciente (edad, sexo, condiciones clínicas) y los requerimientos de calidad diagnóstica, mejorando así la precisión y reduciendo la exposición innecesaria a radiación (Llufriu, 2024).

Ahora bien, la IA es una innovación viable para la optimización de las condiciones, con ajustes automáticos de las variables y de los tiempos de exposición según cada estudio y paciente, garantizando imágenes de alta calidad con la menor dosis de exposición posible. La inteligencia artificial es una herramienta crucial en la optimización de la identificación e interpretación de imágenes, mejorando la precisión diagnóstica y reduciendo la variabilidad en la adquisición de imágenes. Según Parada et al., (s.f.), los avances en aprendizaje profundo permiten superar limitaciones en velocidad y accesibilidad, facilitando diagnósticos más rápidos y precisos.

De acuerdo con Ahmed et al., (2023), la inteligencia artificial muestra ser altamente eficaz en la interpretación de imágenes de resonancia magnética y tomografía computarizada para la detección de tumores pancreáticos, los sistemas de IA, entrenados con grandes volúmenes de imágenes de pacientes con cáncer pancreático, pueden detectar características sutiles que el ojo humano no podría detectar. Otro ejemplo específico del uso de la IA es en la resonancia magnética cardíaca, donde el procesamiento automatizado mejora la precisión en la evaluación de estructuras cardíacas complejas. Este avance permite una reproducción más consistente de los resultados entre estudios y una mejor integración de datos clínicos e imágenes, lo que contribuye al diagnóstico temprano y la personalización del tratamiento, mejorando los resultados para los pacientes con enfermedades cardíacas (Loncarci et al., 2021).

En estudios radiológicos, como tomografías computarizadas y tomografías por emisión de positrones, la inteligencia artificial (IA) se emplea para reducir la radiación sin afectar la calidad de la imagen. Esto es especialmente relevante en pediatría, donde los niños son más vulnerables a la radiación. Por ejemplo, los algoritmos de IA pueden mejorar imágenes con dosis bajas, igualándolas con las dosis estándar, con una menor exposición en los pacientes pediátricos (Singh, 2024). Además, la IA y el aprendizaje automático están siendo esenciales en la interpretación de imágenes cardíacas, como resonancias magnéticas y ecocardiografías, donde los algoritmos analizan con alta precisión la anatomía y función del corazón, detectando anomalías como insuficiencias valvulares, alteraciones en la contractilidad miocárdica y obstrucciones arteriales, lo que mejora tanto la precisión diagnóstica como la personalización del tratamiento, especialmente en casos de insuficiencia cardíaca (Sobrado, 2020).

Asimismo, en rayos X, la inteligencia artificial (IA) ha demostrado ser eficiente en la mejora de la calidad de imagen mientras reduce la exposición a radiación, mediante algoritmos que ajustan automáticamente parámetros técnicos como voltaje y tiempo de exposición. Estos sistemas generan imágenes diagnósticas con alta precisión, al tiempo que automatizan tareas rutinarias y mejoran la eficacia en el flujo de trabajo (Bhandari et al., 2024). Esta capacidad de la IA para adaptar la adquisición de imágenes según las necesidades clínicas y datos del paciente es extrapolable a modalidades como la resonancia magnética (RM). En el ámbito de enfermedades neurológicas como la esclerosis múltiple (EM), donde la calidad y consistencia de la imagen son cruciales para la detección de lesiones y el seguimiento de la progresión, la implementación de técnicas de IA podría optimizar el proceso de adquisición de forma personalizada, mejorar la sensibilidad diagnóstica y reducir la necesidad de repetir estudios.

Sin embargo, la implementación de la IA enfrenta desafíos como su integración con los sistemas existentes, la reticencia al cambio y preocupaciones éticas sobre la privacidad de los datos. González y Martínez (2020) destacan que los algoritmos de IA pueden ser opacos, lo que dificulta la toma de decisiones a los profesionales de la salud, basadas en sus recomendaciones, lo que resalta la necesidad de desarrollar modelos de IA confiables, adaptables y optimizados para la adquisición de imágenes en la práctica médica.

De este análisis, se formula la pregunta de investigación que guiará todo el desarrollo del estudio: ¿De qué manera se han aplicado la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático (AA) en la optimización de los parámetros de resonancia magnética (RM) para el diagnóstico y seguimiento de la esclerosis múltiple (EM), y cuáles son los principales enfoques metodológicos, beneficios, limitaciones y oportunidades para su implementación en la práctica clínica?

## Justificación

La optimización de protocolos y parámetros en la adquisición de imágenes médicas representa un reto constante en la práctica radiológica. En modalidades que emplean radiación ionizante, como la radiografía o la tomografía computarizada, este desafío se vincula estrechamente con el principio ALARA (As Low As Reasonably Achievable), que tiene como objetivo minimizar la exposición del paciente sin afectar la precisión diagnóstica ni la utilidad clínica de los estudios obtenidos (Consejo de Seguridad Nuclear, s.f.). Sin embargo, incluso en técnicas como la resonancia magnética (RM), donde no se utiliza radiación ionizante, persiste la necesidad de optimizar la calidad de las imágenes, disminuir los tiempos de adquisición y reducir la variabilidad entre operadores.

Este problema se vuelve especialmente relevante en el diagnóstico y seguimiento de enfermedades neurológicas como la esclerosis múltiple (EM), donde la sensibilidad y especificidad de las imágenes de RM son esenciales para la detección de lesiones, la evaluación de la carga lesional y la toma de decisiones. Sin embargo, las configuraciones de adquisición suelen ser definidos de manera estandarizada, sin adaptación al perfil clínico o anatómico del paciente, lo que puede derivar en estudios subóptimos, necesidad de repeticiones y aumento de costos operativos.

Ante este contexto, los avances en inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático (AA) ofrecen soluciones prometedoras al permitir el ajuste automático y personalizado de los parámetros de imagen, optimizando la calidad de las exploraciones sin incrementar el esfuerzo humano ni los tiempos de adquisición. Estos sistemas, que ya se han implementado en otras modalidades como los rayos X, han demostrado mejoras en la eficiencia diagnóstica, reducción

de errores técnicos y la producción de imágenes clínicamente valiosas con una menor intervención del operador (Iglesias, 2023).

Aunque gran parte de la literatura sobre calidad de imagen y repetición de estudios se centra en modalidades con radiación ionizante, la problemática de la adquisición subóptima también afecta directamente a la resonancia magnética (RM), especialmente en el contexto de enfermedades como la esclerosis múltiple (EM). Si bien la RM no conlleva riesgo de radiación ionizante, los errores técnicos, la falta de personalización en los parámetros de adquisición y la variabilidad entre operadores pueden dar lugar a estudios con calidad insuficiente, lo que obliga a repetir exploraciones, incrementa costos operativos y retrasa el diagnóstico clínico oportuno.

Según Almojadah et al. (2023), la tasa de rechazo de imágenes es un indicador clave de la calidad en los procedimientos radiológicos. En su estudio, encontraron que el 5,21% de las imágenes (217 de 4158) fueron rechazadas y requirieron repetición, siendo más alta en estudios de tórax (27,6%) y abdomen/pelvis (23%). Además, los rechazos fueron más frecuentes entre el personal con menos experiencia, lo que resalta la necesidad de capacitación para garantizar la calidad de las imágenes y reducir las repeticiones innecesarias.

De manera similar, Kjelle y Chilanga (2022) señalan que la frecuencia de repetición de imágenes radiográficas debido a la baja calidad está relacionada principalmente con errores en el posicionamiento (36.4%), errores de colimación (22.7%), errores de exposición (18.2%) y problemas de centrado (13.6%). La tasa de rechazo varió según el caso, y las imágenes que no cumplían con los estándares de calidad necesitaron ser repetidas para ajustarse a los requisitos establecidos. La capacitación adecuada de los radiógrafos y la evaluación permanente de la calidad de las imágenes son cruciales para reducir la tasa de repeticiones innecesarias y mejorar tanto la calidad de diagnóstico como la seguridad radiológica.

En este sentido, la capacitación del personal y la evaluación continua de los procedimientos técnicos son imprescindibles. Sin embargo, incluso con personal entrenado, persiste una considerable variabilidad en los protocolos de adquisición, lo que limita la sensibilidad diagnóstica, especialmente cuando las condiciones no se ajustan a las particularidades clínicas de cada paciente.

Frente a esta realidad, los sistemas basados en IA y aprendizaje automático (AA) emergen como herramientas complementarias con alto potencial para optimizar automáticamente el proceso de adquisición en resonancia magnética, favoreciendo la consistencia de los resultados y la precisión diagnóstica. No obstante, como advierte Belzunce (2024), es indispensable que estas tecnologías sean validadas y supervisadas por profesionales, ya que su implementación no debe sustituir el juicio clínico, sino complementarlo de forma segura y eficaz.

Además, la implementación de estas tecnologías plantea desafíos éticos y legales con relación a la transparencia algorítmica, el sesgo de datos y la responsabilidad diagnóstica, como señalan González y Martínez (2020). En consecuencia, cualquier propuesta de automatización debe considerar regulaciones adecuadas que protejan los derechos de los pacientes y aseguren la confiabilidad de las decisiones clínicas asistidas por IA.

A pesar de estos desafíos, diversos estudios (Febles, s.f.; Fernández, 2024) destacan los beneficios de aplicar IA en RM, especialmente en la esclerosis múltiple (EM), donde la gran variabilidad en la forma, localización y evolución de las lesiones exige una gran precisión diagnóstica. La IA permite optimizar los protocolos, mejorando la visualización de las lesiones y la personalización del estudio según la fase de la enfermedad, lo que facilita el seguimiento longitudinal y una intervención terapéutica más oportuna.

En este marco, el objetivo general de la exploración es realizar un análisis de la literatura científica encontrada sobre la aplicación de la IA y el AA en la optimización de parámetros de Resonancia Magnética (RM) para el diagnóstico y seguimiento de la Esclerosis Múltiple (EM), con el fin de identificar tendencias, desafíos y oportunidades en este ámbito y para alcanzarlo, se plantean los siguientes objetivos específicos:

Realizar una revisión sistemática y exhaustiva de la literatura científica que explore el uso de IA/AA en la optimización de parámetros de RM en EM, identificando los principales enfoques metodológicos y resultados obtenidos.

Analizar los parámetros de imagen de RM que han sido objeto de optimización mediante IA/AA en estudios relacionados con la EM, evaluando su relevancia clínica y técnica en el diagnóstico y seguimiento de la enfermedad.

Identificar y discutir las ventajas y limitaciones de las técnicas de IA/AA aplicadas a la optimización automática de parámetros de RM en EM, considerando aspectos como la precisión diagnóstica, la eficiencia del proceso de adquisición y la aplicabilidad clínica de los sistemas automatizados.

En síntesis, esta investigación tiene como propósito generar evidencia científica robusta que respalde el uso clínico de la IA en la optimización de la resonancia magnética para el diagnóstico y seguimiento de la esclerosis múltiple, contribuyendo así a una atención médica más precisa, personalizada y eficiente.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Analizar críticamente la literatura científica existente sobre la aplicación de la Inteligencia Artificial (IA) y el Aprendizaje Automático (AA) en la optimización de parámetros de Resonancia Magnética (RM) para el diagnóstico y seguimiento de la Esclerosis Múltiple (EM), con el fin de identificar tendencias, desafíos y oportunidades en este campo.

### **Objetivos Específicos**

Realizar una revisión sistemática y exhaustiva de la literatura científica que explore el uso de IA/AA en la optimización de parámetros de RM en EM, identificando los principales enfoques metodológicos y resultados obtenidos.

Analizar los parámetros de imagen de RM que han sido objeto de optimización mediante IA/AA en estudios relacionados con la EM, evaluando su relevancia clínica y técnica en el diagnóstico y seguimiento de la enfermedad.

Identificar y discutir las ventajas y limitaciones de las técnicas de IA/AA aplicadas a la optimización automática de parámetros de RM en EM, considerando aspectos como la precisión diagnóstica, la eficiencia del proceso de adquisición y la aplicabilidad clínica de los sistemas automatizados.

## **Marco Teórico**

La optimización técnica de las condiciones de adquisición de imágenes es esencial en la radiología y otros campos que requieren imágenes de alta calidad para el diagnóstico y tratamiento. Tradicionalmente, estos parámetros son ajustados manualmente por técnicos según el tipo de estudio y la caracterización del paciente. Sin embargo, el uso de algoritmos de IA y aprendizaje automático (ML) ha mejorado este proceso, con imágenes de mayor calidad con menor exposición a radiación (Instituto Nacional del Cáncer, 2022). A medida que estos algoritmos se perfeccionan y se superan los desafíos técnicos, normativos y regulatorios, se espera una adopción más amplia en el ámbito clínico, beneficiando a pacientes y a profesionales de la salud.

### **La Esclerosis Múltiple y la Importancia de las Imágenes Diagnósticas**

La EM es una enfermedad crónica del sistema nervioso central que afecta a millones de personas en todo el mundo, especialmente a aquellos jóvenes adultos entre los 18 y 40 años. Esta enfermedad se caracteriza por un proceso de desmielinización, que consiste en el daño a la capa protectora que recubre las fibras nerviosas, afectando así la conducción de los impulsos eléctricos en el cerebro y la médula espinal. Según Jiménez y González (2020), los factores coligados a la esclerosis múltiple recurrente-remitente de alta actividad incluyen un inicio temprano de la enfermedad, el género femenino, la carga genética familiar, la presencia de comorbilidades como enfermedades autoinmunes y un alto número de lesiones activas detectadas por resonancia magnética. Además, la respuesta a los tratamientos juega un papel importante, ya que los pacientes que no responden bien, tienen un mayor riesgo de progresión rápida y más frecuencia de brotes. Por otro lado, Vázquez et al., (2021) destacan que la esclerosis múltiple es más frecuente en países de latitudes altas, y que se presenta típicamente en adultos entre los 20 y

40 años, con una mayor prevalencia entre los 25 y 30 años. La enfermedad afecta principalmente a mujeres, con una relación de 3:1, y se ve influenciada por factores genéticos y ambientales, como infecciones virales y deficiencias vitamínicas. La condición más usual es la esclerosis múltiple recurrente-remitente (EMRR), aunque algunos pacientes pueden progresar a formas más graves de la enfermedad. Esta enfermedad tiene un gran impacto en la vida de las personas que la padecen, afectando su carrera profesional, relaciones sociales y emocionales, además de generar altos costos sociales y económicos. Según Pérez (2024), los jóvenes con EM enfrentan desafíos como fatiga, dificultades cognitivas y problemas para mantener su empleo y relaciones personales. Por otro lado, el estudio de Guadarrama et al., (2014) subrayan que la EM tiene un impacto clínico y social, debido a la carga emocional y económica que implica. Aunque los tratamientos han avanzado, la enfermedad sigue siendo un reto, y la búsqueda de una cura continúa siendo prioridad en la investigación.

Según Icoha, (2024), los criterios de McDonald son ampliamente utilizados en el diagnóstico de la EM, basados en la evidencia de lesiones desmielinizantes en el sistema nervioso central, su distribución temporal y la exclusión de otras patologías. Las pruebas complementarias incluyen:

**Resonancia Magnética (RM):** detecta lesiones en la sustancia blanca del cerebro y la médula espinal.

**Análisis del Líquido Cefalorraquídeo (LCR):** proporciona evidencia de inflamación en el sistema nervioso central.

**Espectroscopía por Resonancia Magnética (ERM):** permite analizar los niveles de metabolitos cerebrales, ayudando a diferenciar lesiones activas de crónicas.

**Tomografía Computarizada:** menos usada, pero útil para descartar otras patologías.

Potenciales Evocados: son pruebas que muestran la actividad eléctrica del cerebro en respuesta a estímulos sensoriales.

Como refiere Chapa, (2024) la resonancia magnética (RM) es esencial en el diagnóstico y seguimiento de la EM, pues detecta lesiones en la sustancia blanca del cerebro y la médula espinal, incluso en etapas tempranas. Las técnicas avanzadas de neuroimagen, como la espectroscopía por RM, las imágenes de tensor de difusión y la RM funcional, dan información detallada sobre la integridad de las fibras nerviosas, la actividad metabólica cerebral y las conexiones neuronales, contribuyendo a una evaluación más precisa de la progresión de la EM y la eficacia de las terapias.

Además, del uso de la tomografía, citando a Brieva (2021) la tomografía de coherencia óptica (OCT) es una técnica de imagen no invasiva que usa luz para obtener imágenes detalladas de la retina, permitiendo medir su grosor y detectar alteraciones estructurales. En el enfoque de la esclerosis múltiple (EM), la OCT es una herramienta beneficiosa para evaluar el daño neuronal y monitorizar la progresión de la enfermedad.

La resonancia magnética (RM) es el método principal para el diagnóstico y seguimiento de la esclerosis múltiple (EM), aunque su aplicación enfrenta diversos desafíos clínicos y técnicos. Uno de los principales obstáculos es la gran variabilidad de las lesiones desmielinizantes, las cuales difieren en tamaño, forma, localización y apariencia según la secuencia utilizada, dificultando su identificación y seguimiento, especialmente en fases tempranas o en regiones complejas como el tronco encefálico (Montalban et al., 2020). Además, la detección de lesiones sutiles requiere protocolos específicos que resalten características típicas como las lesiones hiperintensas en T2, el realce con gadolinio o los dedos de Dawson (McDonald et al., 2017). No obstante, la falta de estandarización entre centros y equipos puede

comprometer la calidad y comparabilidad de los estudios. A esto se suma la duración de los exámenes, que puede generar incomodidad en pacientes con síntomas como fatiga o espasticidad, aumentando el riesgo de movimiento y, por ende, de artefactos que afectan la calidad de las imágenes (Kaunzner & Gauthier, 2017). Reducir el tiempo de adquisición sin perder calidad es, por tanto, una prioridad para mejorar tanto la experiencia del paciente como la precisión diagnóstica.

Frente a estos desafíos, la IA y el AA ofrecen un gran potencial para optimizar la adquisición e interpretación de imágenes de RM en EM. Estas tecnologías tienen la capacidad de ajustar automáticamente las condiciones de adquisición en función de la caracterización del paciente, como su anatomía o la fase de la enfermedad, lo que permite obtener imágenes más consistentes y estandarizadas, independientemente del equipo o del operador (López, 2023). Además, los algoritmos de IA ayudan a mejorar la calidad de las imágenes al minimizar el ruido, optimizar el contraste y aumentar la resolución, lo que es útil para detectar lesiones pequeñas o sutiles que podrían pasarse por alto en imágenes de menor calidad.

### **Imágenes Diagnósticas y Esclerosis Múltiple**

El estudio de las características de las imágenes diagnósticas en la EM es fundamental para su diagnóstico, evaluación del curso clínico, toma de decisiones terapéuticas y seguimiento. Según Montalban, et al., (2020) la RM es la técnica de elección para detectar y monitorear esta enfermedad, ya que permite identificar hallazgos típicos como:

Lesiones hiperintensas en T2: comunes en la sustancia blanca periventricular, el cuerpo calloso y la sustancia gris periacueductal.

Realce en anillo con gadolinio en T1: indicador de desmielinización activa, útil para identificar actividad inflamatoria reciente.

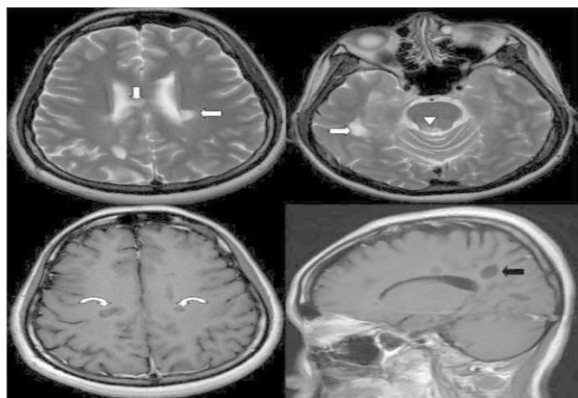
Dedos de Dawson: lesiones orientadas perpendicularmente al cuerpo calloso, consideradas características de la EM.

Diseminación en espacio y tiempo: conceptos clave de McDonald para confirmar el diagnóstico.

Cada uno de estos hallazgos depende de parámetros técnicos específicos de la RM, como el tiempo de inversión en FLAIR o el uso del gadolinio para identificar lesiones activas. Sin embargo, estos ajustes se hacen manualmente, lo que genera variabilidad. La aplicación de IA optimiza y los estandariza automáticamente, reduciendo el tiempo de exploración y adaptando los protocolos a cada paciente, lo que mejora la detección temprana y el seguimiento de la enfermedad. Sin embargo, la identificación precisa de estas características pende en gran parte de la calidad de las imágenes obtenidas con protocolos específicos de RM, que varían según el equipo, el operador y las condiciones individuales del paciente, lo que limita la precisión diagnóstica. Por eso, la IA y el AA dan una solución al optimizar automáticamente los parámetros de adquisición, mejorando la consistencia y precisión en la visualización de lesiones, lo que favorece un diagnóstico más fiable y un seguimiento más efectivo.

### **Figura 1**

*RMN Cerebral de un paciente con EM*



*Nota.* Tomado de: (Almirallmed Neurologia, 2020)

En la secuencia T2 se observan lesiones hiperintensas localizadas en la sustancia blanca periventricular bilateral (flecha blanca), en el cuerpo caloso (flecha blanca) y en la sustancia gris periacueductal (punta de flecha). Tras la administración de gadolinio, la imagen ponderada en T1 muestra realce en anillo en dichas lesiones (flechas curvas), lo que sugiere actividad inflamatoria y desmielinización activa. En el plano sagital, se identifican lesiones características de esclerosis múltiple, con orientación perpendicular al cuerpo caloso, conocidas como dedos de Dawson, (flecha negra).

El diagnóstico y monitoreo de la Esclerosis Múltiple (EM) se realizan mediante el uso de diversas imágenes diagnósticas, principalmente la resonancia magnética (RM) y la tomografía computarizada (TC). Estas técnicas proporcionan información crucial sobre la localización, extensión y actividad de lesiones en el sistema nervioso central, lo que es esencial para el diagnóstico, la evaluación de la progresión y la respuesta al tratamiento. Seguidamente, se definen las características de las imágenes diagnósticas usadas, basadas en los estudios de Rodrigo et al., (2013), Bermejo et al., (2011), Núñez (2023), Carretero et al., (2001) y Cerrato et al., (s.f.).

### ***Resonancia Magnética (RM)***

La resonancia magnética (RM) es el método de imagen más empleado en el diagnóstico y monitoreo de la esclerosis múltiple, al facilitar la detección de lesiones típicas en el sistema nervioso central.

**Características.** La RM identifica lesiones hiperintensas en secuencias ponderadas por T2, que son las típicas de la EM. Estas lesiones corresponden a áreas de desmielinización en el cerebro y la médula espinal. Las secuencias de T1 con contraste también se usan para identificar

lesiones activas, ya que se destacan más las lesiones que están inflamadas y que han tenido un componente reciente de daño.

**Segmentación de Lesiones.** Según Rodrigo et al., (2013), la segmentación de lesiones en imágenes de RM de alto campo permite una visualización más precisa de las lesiones cerebrales y su evolución, lo que ayuda en el monitoreo de la enfermedad y la valoración de la eficacia del tratamiento. Los avances tecnológicos, como los escáneres de alto campo, mejoran la resolución de las imágenes y permiten detectar lesiones más pequeñas y difíciles de visualizar.

### ***Secuencias de RM***

**T2 ponderada:** muestra las lesiones desmielinizantes en blanco, permitiendo identificar áreas típicas como los ventrículos cerebrales y tractos ópticos.

**T1 con contraste:** muestra las lesiones activas y las que están en fase de remisión.

**FLAIR** (Fluid Attenuated Inversion Recovery): útil para ver lesiones periventriculares y en la sustancia blanca.

**Monitoreo de la Actividad.** La RM es útil para ver si hay nuevas lesiones o recurrencias de la enfermedad, que son claves en las formas recurrentes-remitentes de EM. En el seguimiento, se puede evaluar el crecimiento de las lesiones existentes y la aparición de nuevas lesiones.

### ***Tomografía Computarizada (TC)***

La tomografía computarizada (TC) es una técnica de diagnóstico que se utiliza menos frecuentemente en la EM que la RM, debido a que la TC no proporciona el mismo nivel de detalle de las lesiones desmielinizantes en la sustancia blanca del cerebro.

**Características.** La TC puede ser útil para descartar otras condiciones, como tumores o hemorragias, que pueden tener síntomas similares a los de la EM. Sin embargo, en términos de

visualización directa de lesiones de EM, la TC es menos sensible que la RM, presentando menor resolución para la sustancia blanca.

La resonancia magnética (RM) es primordial para el diagnóstico y seguimiento de la esclerosis múltiple, ya que permite detectar y evaluar con precisión las lesiones desmielinizantes. Según Rodrigo et al. (2013), los avances en segmentación con RM de alto campo han mejorado notablemente la precisión diagnóstica, superando técnicas como la tomografía computarizada, que resultan menos sensibles para identificar las manifestaciones típicas de la enfermedad.

**Comparación con Diagnósticos de Neurólogos.** Según Yaman et al., (2025), la IA muestra un desempeño comparable y superior en algunas áreas en la identificación de lesiones en comparación con los neurólogos expertos. Esto sugiere que la IA puede ser una herramienta valiosa para apoyar y complementar la toma de decisiones clínicas, reduciendo el riesgo de errores humanos y mejorando la eficiencia en el diagnóstico de EM. La aplicación de IA en el análisis de imágenes diagnósticas de la esclerosis múltiple está revolucionando la forma en que se diagnostica y monitorea la enfermedad. Las técnicas de aprendizaje automático y redes neuronales ofrecen ventajas en precisión, eficiencia y velocidad, lo que facilita una mejor gestión clínica de los pacientes con EM.

## **Utilidad de la Inteligencia Artificial en Imágenes Diagnósticas para la Esclerosis Múltiple**

### ***Introducción a la IA y al AA en Imágenes Médicas***

La inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático (AA) permiten a los sistemas informáticos aprender de datos y realizar tareas complejas como la detección de patrones y la toma de decisiones sin intervención humana. En el diagnóstico por imágenes, algoritmos como las redes neuronales convolucionales (CNN), asimismo, los modelos de aprendizaje profundo han demostrado ser especialmente eficaces para optimizar el proceso de adquisición, aumentar la

precisión diagnóstica y reducir la exposición a la radiación. En el caso de la esclerosis múltiple, su aplicación en resonancia magnética facilita la identificación automática, rápida y precisa de lesiones desmielinizantes, promoviendo diagnósticos más objetivos, reproducibles y eficientes, y contribuyendo a una atención médica más personalizada. En el contexto del diagnóstico por imágenes, estas tecnologías han demostrado un impacto significativo al automatizar el proceso de adquisición, reducir la exposición a la radiación y mejorar la eficiencia diagnóstica, lo que contribuye a evaluaciones más rápidas, precisas y personalizadas (Fernández, 2024). Esto representa un avance significativo en la práctica clínica, permitiendo un abordaje más objetivo, reproducible y eficiente para el manejo de la EM.

### **Descripción de las Técnicas de IA Utilizadas para Analizar Imágenes Diagnósticas en la Esclerosis Múltiple**

Como refieren López (2023) y Yaman et al., (2025), diversas técnicas de IA, como el aprendizaje automático (AA) y las redes neuronales, se están implementando para mejorar el análisis de imágenes diagnósticas en la esclerosis múltiple (EM). Estas tecnologías se han convertido en herramientas fundamentales para la tipificación y evaluación puntual de las lesiones desmielinizantes típicas de la EM, como las lesiones hiperintensas en T2, el realce en anillo con gadolinio y los dedos de Dawson. El aprendizaje automático y las redes neuronales permiten la detección de patrones complejos dentro de las imágenes de resonancia magnética (RM), Permitiendo el procesamiento eficiente de grandes cantidades de datos.

El aprendizaje automático se aplica en la resonancia magnética (RM) para establecer patrones característicos de la esclerosis múltiple (EM), como la localización y clasificación de lesiones según su actividad, incluyendo la detección de lesiones periventriculares y su dispersión en tiempo y espacio, fundamentales en los criterios diagnósticos de McDonald. Además, los

modelos predictivos permiten anticipar la progresión de la enfermedad, permitiendo un tratamiento y seguimiento más personalizados (Rodas et al., 2018).

Por otro lado, las redes neuronales profundas DNN, en específico las redes neuronales convolucionales (CNN), han demostrado una alta eficacia en la segmentación automática y precisa de lesiones en pacientes con esclerosis múltiple (EM), permitiendo cuantificar de forma fiable la carga lesional. Estas redes entrenadas con grandes volúmenes de imágenes de RM, pueden identificar de manera autónoma las áreas afectadas, reduciendo la intervención humana y el margen de error (Lubinus et al., 2021).

No obstante, la efectividad de estos algoritmos está directamente relacionado con la calidad de las imágenes generadas, y puede verse afectada por el tipo de equipo, la experiencia del operador o las condiciones del paciente. Ante esta variabilidad, la aplicación de la IA y el AA son una solución competente para optimizar automáticamente los parámetros de adquisición, mejorando la uniformidad, calidad de las imágenes y estandarizando los protocolos. Esto favorece una visualización más precisa de las lesiones, un diagnóstico más fiable y un seguimiento clínico más efectivo.

La optimización del proceso de adquisición mediante inteligencia artificial también tiene el potencial de mejorar la eficiencia del diagnóstico. Estos avances permitirán una disminución de la dosis de radiación sin afectar la calidad de las imágenes, lo que resulta beneficioso para los pacientes que requieren estudios repetidos para el seguimiento de la enfermedad.

Conjuntamente, la mejora en la segmentación de lesiones, combinada con la reducción de la variabilidad en la interpretación, puede contribuir a diagnósticos más tempranos y precisos, para una intervención clínica en etapas más tempranas de la EM (Febles, s.f.; Fernández, 2024).

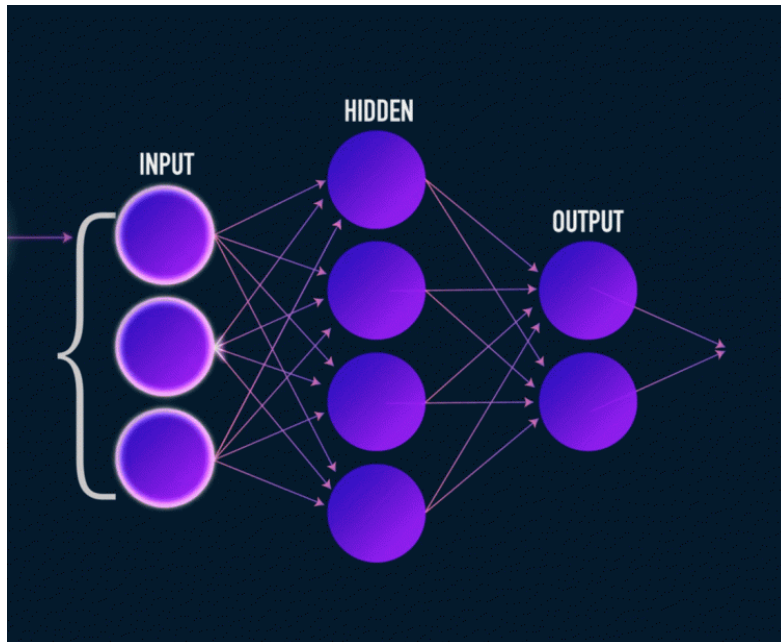
Las principales técnicas son:



redes pueden detectar patrones complejos y proporcionar un diagnóstico basado en la comparación de nuevas imágenes con un gran volumen de datos previos.

### Figura 3

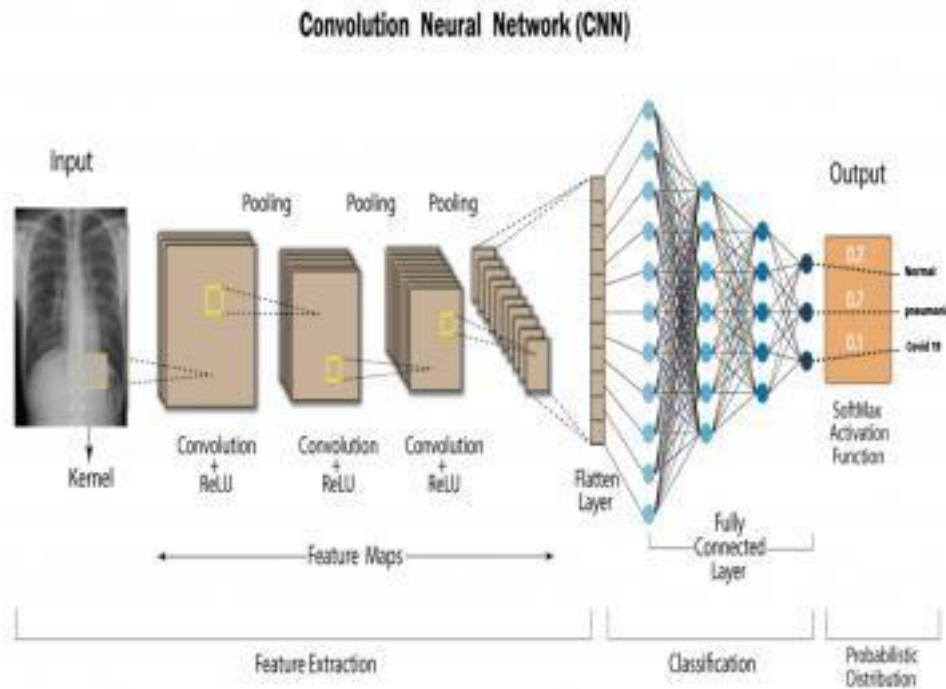
*Qué es una Red Neuronal Artificial*



*Nota.* Tomado de: (Duckerman, 2021)

### **Redes Convolucionales (CNNs)**

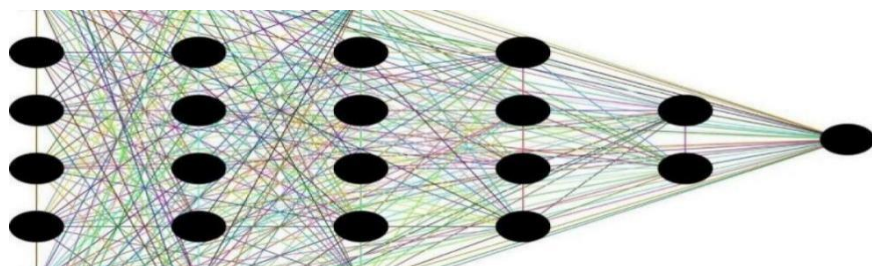
Dentro del Deep Learning, las redes neuronales convolucionales son particularmente eficaces en el procesamiento de imágenes, extrayendo características relevantes de las imágenes médicas y clasificar automáticamente las lesiones de EM, como las de inflamación activa o desmielinización crónica, facilitando un diagnóstico más preciso y consistente. La incorporación de algoritmos de IA y AA en la evaluación de las imágenes de RM en pacientes que padecen de esclerosis múltiple optimiza la calidad y precisión de los diagnósticos y también permite personalizar los protocolos de imagen y seguimiento, lo que contribuye a un manejo más efectivo y eficiente de la enfermedad.

**Figura 4***Redes Neuronales Convolucionales*

*Nota.* Tomado de: (Amezcuca, 2023)

***Redes Neuronales Profundas (DNNs)***

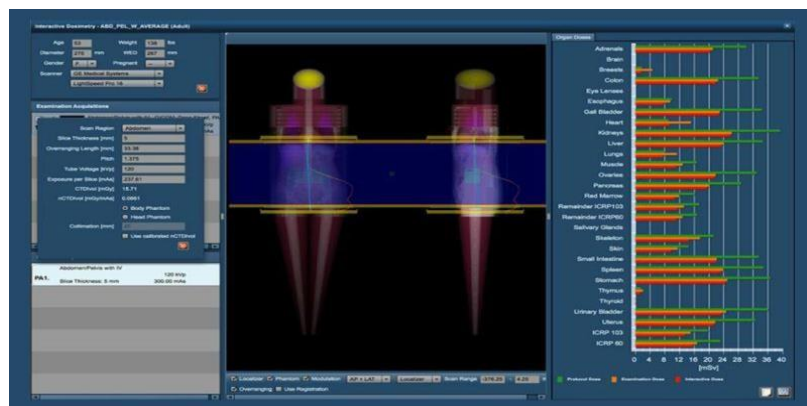
Usadas en el ajuste automático de parámetros en estudios de TC y RM. En el enfoque de la esclerosis múltiple (EM), estas redes se aplican para personalizar los protocolos de adquisición de imágenes según las características específicas del paciente, mejorando la calidad de imagen sin aumentar la dosis de radiación en TC o el tiempo de escaneo en RM. Esto resulta esencial para detectar con mayor precisión lesiones desmielinizantes sutiles, reducir artefactos de imagen y facilitar un análisis más confiable de la morfología cerebral. Estudios como los de Belzunce (2024) y Zhao et al., (2021) han evidenciado que los sistemas apoyados en DNNs mejoran la eficiencia diagnóstica y también contribuyen a la estandarización de los estudios, minimizando la variabilidad entre operadores y centros de imagen.

**Figura 5***Redes Neuronales Profundas*

*Nota.* Tomado de: (Montagud, 2020)

***Aprendizaje por Representación (Representation Learning - RL)***

Es una rama del aprendizaje automático que permite a los algoritmos identificar automáticamente las características más relevantes para clasificar y segmentar lesiones cerebrales, reduciendo la subjetividad humana y mejorando la precisión diagnóstica. Con respecto a la esclerosis múltiple (EM), este método ha sido eficaz de detectar patrones sutiles de desmielinización en imágenes de resonancia magnética, facilitando la diferenciación entre distintos tipos de lesiones y fortaleciendo la capacidad predictiva y la reproducibilidad de los modelos diagnósticos (Llufriu, 2024).

**Figura 6***Aprendizaje por Representación – RL*

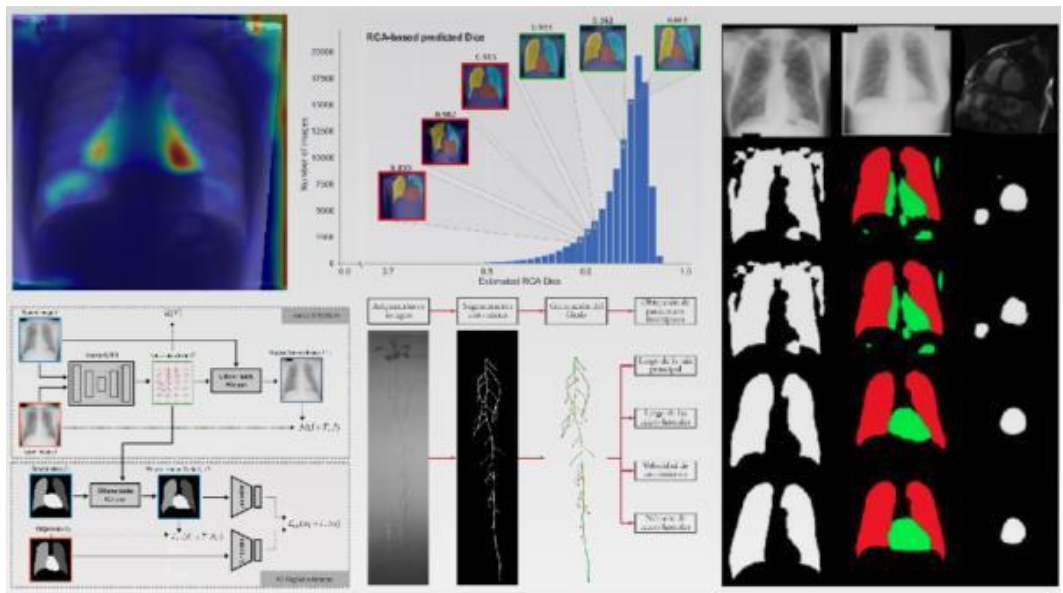
*Nota.* Tomado de: (De la Cámara Egea, 2016)

### ***Aprendizaje Profundo (Deep Learning - DL)***

Forma avanzada del RL que utiliza redes neuronales artificiales de múltiples capas para procesar grandes volúmenes de datos complejos, como las imágenes de resonancia magnética (RM), aplicadas en el diagnóstico de la esclerosis múltiple (EM). Según Fernández (2024), esta técnica ha permitido una mejora sustancial en la detección automática de lesiones desmielinizantes, al identificar patrones morfológicos sutiles que pueden pasar desapercibidos en el análisis visual convencional. Gracias al DL, es posible generar segmentaciones precisas de las lesiones, evaluar su actividad, y producir informes preliminares con alta velocidad y fiabilidad, lo que optimiza el flujo de trabajo clínico. Además, su capacidad de aprendizaje continuo a partir de nuevas imágenes le permite adaptarse a la variabilidad de los datos entre diferentes pacientes, escáneres o protocolos de adquisición, haciendo del DL una herramienta poderosa para la personalización del diagnóstico y seguimiento de la EM.

**Figura 7**

#### *Deep Learning para la Segmentación de Imágenes Médicas*



Nota. Tomado de: (Ferrante, s.f.)

## **Aplicaciones de la IA en la Interpretación de Imágenes Médicas**

### ***Detección y Diagnóstico de Cáncer***

La IA analiza imágenes médicas para identificar patrones desapercibidos por el ojo humano, permitiendo la detección temprana de tumores. Diversos estudios han evidenciado que los algoritmos de aprendizaje profundo pueden clasificar imágenes de biopsias con un nivel de precisión comparable al de los patólogos expertos. Este mismo enfoque puede trasladarse a la EM, donde los algoritmos de Deep learning pueden detectar lesiones desmielinizantes pequeñas o atípicas en la resonancia magnética (RM) que podrían pasar desapercibidas mediante la lectura humana convencional, facilitando un diagnóstico más temprano y preciso.

### ***Análisis de Enfermedades Cardíacas***

La evaluación automatizada del flujo y volumen en estudios cardíacos es un ejemplo de cómo la IA puede analizar parámetros fisiológicos complejos. En EM, este tipo de proceso se adapta al análisis de imágenes de perfusión cerebral o volumetría cortical, lo que permite un control más preciso de la progresión de la enfermedad o el efecto de terapias modificadoras.

### ***Identificación de Patologías Cerebrales***

La IA ya está siendo aplicada exitosamente en la detección de accidentes cerebrovasculares y demencias mediante imágenes cerebrales. De manera similar, en EM, puede contribuir a identificar patrones de atrofia cortical, diseminación espacial y temporal de las lesiones, así como a diferenciar la EM de otras patologías neurológicas con manifestaciones clínicas o radiológicas similares.

### ***Optimización de Técnicas Radiológicas***

La IA ayuda en la reconstrucción de imágenes de alta calidad en resonancia magnética y tomografía computarizada, con menor tiempo de adquisición y dosis más bajas es crucial en la

EM, especialmente cuando se requieren múltiples estudios longitudinales. Esto permite reducir el estrés del paciente, mejorar la resolución de las lesiones y estandarizar los protocolos de imagen entre diferentes equipos de RM.

### ***Asistencia en la Detección de Lesiones***

La IA puede diferenciar entre tejido sano y patológico. En la EM, esta función se aplica directamente a la segmentación automatizada de lesiones en sustancia blanca y gris, lo cual mejora la reproducibilidad del diagnóstico y apoya la toma de decisiones terapéuticas más informadas.

### ***Predicción de Respuesta al Tratamiento***

En enfermedades oncológicas y crónicas, la IA analiza datos clínicos e imagenológicos para prever la respuesta terapéutica. En EM, esto se traduce en modelos predictivos que pueden anticipar la progresión de la discapacidad o la respuesta a fármacos modificadores, permitiendo una personalización más efectiva del tratamiento.

### ***Detección Temprana de Enfermedades***

La IA ha confirmado su utilidad en la identificación precoz de enfermedades como el Alzheimer. En EM, este mismo principio se aplica al análisis de cambios sutiles en la estructura cerebral o en la microarquitectura de la sustancia blanca, lo cual puede preceder a los síntomas clínicos, permitiendo intervenciones más tempranas.

Si a esto se le suma que el almacenamiento en la nube juega un papel clave en este proceso, consintiendo la gestión y análisis eficiente de gran volumen de datos DICOM esenciales para el entrenamiento y aplicación de modelos de IA. En EM permite acceso remoto a estudios para el seguimiento longitudinal, colaboración interdisciplinaria en tiempo real e implementación de modelos complejos.

En conjunto, estas tecnologías no solo mejoran la calidad de la atención, sino que facilitan la optimización de los procesos de adquisición, la segmentación precisa de lesiones, la reducción de errores diagnósticos y la predicción individualizada de la evolución de la EM, posicionando a la IA como una herramienta indispensable para el futuro de la neurorradiología clínica.

## **Implementación de la IA en el Análisis de Imágenes Diagnósticas para la Esclerosis**

### **Múltiple**

Tal como refiere Llufríu (2024), los avances en IA aplicada a las imágenes diagnósticas de esclerosis múltiple (EM) están revolucionando el diagnóstico y seguimiento de la enfermedad. La IA se usa principalmente en el estudio de imágenes de resonancia magnética para identificar, segmentar y clasificar las lesiones cerebrales asociadas con la EM de manera más rápida y precisa que los métodos tradicionales. Los algoritmos de IA permiten detectar lesiones pequeñas o de difícil visualización, contribuyendo a una valoración precisa de la actividad y progresión de la enfermedad. Además, la IA también facilita el monitoreo de la respuesta a los tratamientos por la comparación de imágenes de seguimiento, ayudando a los médicos en la toma de decisiones más informadas. Estos avances tienen el potencial de mejorar la precisión diagnóstica y reducir los errores humanos, optimizando así el manejo clínico de los pacientes con esclerosis múltiple.

Aymerich (2011) y Bermúdez (2022) señalan que la aplicación de la IA en las imágenes diagnósticas para la esclerosis múltiple (EM) ha mostrado resultados prometedores en la mejora de la detección de lesiones pequeñas y la optimización del diagnóstico en resonancia magnética (RM):

**Detección de Lesiones Pequeñas:** conforme a Aymerich (2011), la IA ha mejorado de manera significativa la capacidad para detectar lesiones pequeñas, lo que resulta crucial para el

diagnóstico temprano de la esclerosis múltiple (EM). Las técnicas avanzadas como el análisis de difusión, integradas con algoritmos de aprendizaje profundo, permiten identificar lesiones desmielinizantes que serían difíciles de observar mediante métodos tradicionales. Por ejemplo, los algoritmos de redes neuronales convolucionales (CNN) han demostrado ser efectivos para identificar estas lesiones al procesar las imágenes con alta resolución y segmentarlas con gran precisión. Esta tecnología no solo mejora la visualización de lesiones diminutas en áreas complejas del cerebro, sino que también facilita la detección de lesiones en fases iniciales de la enfermedad, lo que disminuye la posibilidad de pasar por alto áreas afectadas. Además, en la optimización de la morfología cerebral, la IA contribuye al análisis automatizado de estructuras cerebrales por medio de técnicas como la segmentación y el análisis volumétrico, mejorando la precisión en la estimación de la progresión de la enfermedad y la adaptación de protocolos de tratamiento. Este enfoque automatizado permite una interpretación más eficiente y precisa, especialmente cuando se enfrentan casos clínicos con variabilidad en la presentación de la EM.

**Identificación de lesiones pequeñas o de difícil visualización:** la aplicación de algoritmos de Inteligencia Artificial ha demostrado ser especialmente útil en la identificación de lesiones pequeñas o de difícil visualización en pacientes con esclerosis múltiple. Estas tecnologías permiten detectar alteraciones sutiles en las imágenes de resonancia magnética que, en muchos casos, podrían pasar desapercibidas mediante la observación convencional, lo cual mejora significativamente la sensibilidad diagnóstica (Lufriu, 2024).

**Monitoreo de la Respuesta A Los Tratamientos Mediante La Comparación De Imágenes De Seguimiento:** uno de los aportes más significativos de la Inteligencia Artificial en el manejo de la esclerosis múltiple es su capacidad para facilitar el monitoreo de la respuesta a los tratamientos mediante la comparación automatizada de imágenes de seguimiento. Gracias a los

algoritmos de IA, es posible identificar cambios sutiles en las lesiones a lo largo del tiempo, lo que permite evaluar con mayor precisión la eficacia de las terapias y ajustar los esquemas de tratamiento en función de la progresión o estabilización de la enfermedad (Llufriu, 2024).

**Neurorradiología:** según Bermúdez (2022), la aplicación de la IA en neurorradiología, especialmente en el estudio de imágenes de resonancia magnética, ha generado avances importantes en la evaluación de la morfología cerebral y la detección temprana de lesiones en enfermedades como la esclerosis múltiple. Las redes neuronales convolucionales (CNN) y otros algoritmos de aprendizaje profundo han mostrado una eficacia destacada en la clasificación de lesiones, así como en la evaluación de la actividad y progresión de la enfermedad, superando en ciertos casos el rendimiento de neurólogos expertos. Estos hallazgos refuerzan el valor de la IA como herramienta complementaria en el diagnóstico clínico, especialmente en contextos de alta complejidad diagnóstica.

**Predicción De La Evolución De La Enfermedad Y Personalización De Tratamientos Por El Análisis De Datos (Incluyendo Metabolómica):** la Inteligencia Artificial, mediante modelos predictivos y el estudio sistemático de grandes bases de datos clínicos y de imagen (incluyendo técnicas como la metabolómica), han demostrado ser útiles para anticipar el progreso de la esclerosis múltiple y personalizar los tratamientos. Law et al., (2019) destacan que los algoritmos de aprendizaje automático ofrecen una mayor precisión en la predicción de la progresión de la enfermedad, lo que permite ajustar las intervenciones terapéuticas a las condiciones individuales de cada paciente.

### **Resultados de la Aplicación de la IA en Imágenes Diagnósticas para la EM**

La literatura revisada indica que los algoritmos de aprendizaje automático aplicados al diagnóstico y monitoreo de la esclerosis múltiple (EM) han demostrado un alto potencial,

especialmente en la segmentación y cuantificación de lesiones en imágenes de resonancia magnética (RM), mejorando la precisión diagnóstica y la detección de lesiones sutiles. No obstante, su implementación enfrenta desafíos, como la demanda de extensas cantidades de datos, la posibilidad de falsos positivos y la limitada generalización entre distintos equipos de RM. Para que estas herramientas sean realmente útiles en la práctica clínica, es fundamental un enfoque interdisciplinario que integre a radiólogos, neurocientíficos y especialistas en informática. Aunque la IA puede disminuir la carga de trabajo médico y favorecer la detección temprana de la EM, aún se requiere investigación adicional para superar sus limitaciones.

De acuerdo con Law et al., (2019) y Nasar et al., (2024), la implementación de la inteligencia artificial (IA) en las imágenes diagnósticas de esclerosis múltiple (EM) tiene implicaciones significativas en el diagnóstico y en monitoreo de la progresión de la enfermedad. La aplicación de algoritmos de aprendizaje automático en la clasificación de imágenes y en la predicción de la discapacidad ha evidenciado su eficacia en la mejora en la precisión diagnóstica y optimizar el tratamiento. Sin embargo, estas aplicaciones también presentan desafíos éticos y técnicos:

**Mejora en el Diagnóstico y Seguimiento:** según Vázquez et al., (2020), los algoritmos de Machine Learning han mostrado una mejora significativa en la capacidad para detectar lesiones cerebrales y predecir la actividad y progresión de la esclerosis múltiple (EM). Algoritmos como las SVM, los árboles de decisión y las redes neuronales artificiales y máquinas de vector de soporte (SVM), los cuales han sido aplicados en la categorización de subtipos de la enfermedad, diagnóstico y predicción de la progresión de la discapacidad. De manera similar, Law et al., (2019) desarrollaron modelos predictivos basados en algoritmos de árboles de

decisión (DT) para predecir la progresión de la discapacidad en pacientes con esclerosis múltiple progresiva secundaria (EMPS).

Estos modelos utilizaron variables como el volumen de lesiones T2, la fracción de parénquima cerebral, la duración de la enfermedad, la edad y el sexo, logrando áreas bajo la curva ROC (AUC) superiores al 60%, indicando una efectividad limitada, pero funcional, en la estimación de la progresión de la discapacidad a corto plazo.

**Predicción y Personalización del Tratamiento:** Nasar et al., 2024, exploran cómo las redes neuronales artificiales, al incorporar datos de metabolómica sanguínea, pueden predecir la evolución de la enfermedad y personalizar los tratamientos.

Esto ofrece un enfoque más preciso y adaptable, en lugar de seguir un tratamiento estándar para todos los pacientes. Esto subraya el potencial de la IA para no solo ayudar en el diagnóstico, sino también en la individualización de los planes de tratamiento en función de las particularidades de cada paciente.

**Optimización en Neurorradiología:** Los algoritmos de aprendizaje profundo y redes neuronales son avances notables en la evaluación de la morfología cerebral y la detección temprana de lesiones desmielinizantes, superando en algunos casos el rendimiento de neurólogos expertos en escenarios clínicos específicos.

Investigaciones como las de Llufríu (2024) y Law et al., (2019) resaltan que estas tecnologías permiten un análisis más ágil y preciso, aspecto crucial frente a la complejidad y variabilidad clínica que caracteriza a la EM. Dentro de este contexto, la inteligencia artificial se establece como una herramienta clave, al no solo mejorar la exactitud diagnóstica, sino también simplificar procesos clínicos complejos y fortalecer el manejo individualizado del paciente,

adaptando los protocolos de imagen a las necesidades de cada paciente y elevando la calidad del cuidado médico.

### **Importancia de la Optimización De Parámetros para la Calidad de la Imagen y las Dosis de Radiación con IA**

La optimización en la adquisición de imágenes médicas es fundamental para equilibrar la precisión diagnóstica y la seguridad del paciente, especialmente en estudios que implican el uso de radiación ionizante, como la tomografía computarizada. En este contexto, la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático (AA) evidencian la eficacia al ajustar de forma automatizadas variables como la corriente, el voltaje del tubo, el tiempo de exposición y la colimación, según las características del paciente y el tipo de estudio. Este enfoque optimiza la calidad de las imágenes y la detección de lesiones, además reduce la dosis de radiación, evita repeticiones innecesarias y optimiza el flujo de trabajo clínico (Rojas et al., 2024; Fernández, 2024).

### **La IA y el Análisis de Grandes Volúmenes de Datos para Seleccionar Automáticamente Parámetros Óptimos**

De acuerdo con Arias et al., (2018), los sistemas basados en IA permiten procesar grandes volúmenes de datos de imagenología médica para identificar patrones complejos y ajustar automáticamente los parámetros de adquisición. Esta capacidad es crucial en entornos clínicos donde se busca precisión diagnóstica y eficiencia operativa. Mediante algoritmos de aprendizaje automático, la inteligencia artificial optimiza aspectos como el tiempo de adquisición, la resolución espacial y el contraste, adaptándolos a las características del paciente y del estudio. Esto optimiza la calidad de las imágenes, reduce la variabilidad entre operadores y,

al integrarse con plataformas en la nube, facilita el acceso, la seguridad y la personalización de los protocolos según las necesidades clínicas específicas.

### **Descripción de los Parámetros Clave y cómo la IA Puede Optimizarlos**

La calidad de las imágenes por resonancia magnética (RM) es crucial para el diagnóstico y seguimiento de enfermedades como la esclerosis múltiple (EM), donde la detección de lesiones pequeñas exige alta resolución y mínima interferencia. Según Bhandari et al. (2024), ajustar con precisión los aspectos técnicos es esencial para lograr un equilibrio entre calidad diagnóstica y seguridad del paciente. La inteligencia artificial (IA) permite automatizar y personalizar esta optimización, lo que mejora notablemente la eficacia clínica. Entre los aspectos más relevantes se encuentran los que influyen directamente en la resolución, el contraste y la reducción de artefactos.

#### ***Voltaje del Tubo (kVp)***

Aunque este parámetro es más común en estudios de tomografía computarizada (TC), en procedimientos complementarios de imagen empleados en pacientes con EM, su ajuste sigue siendo relevante. El kVp establece la energía del haz de rayos X y afecta directamente al contraste de la imagen. La IA puede evaluar variables como la complejidad del paciente, el tipo de tejido y el objetivo clínico, ajustando automáticamente el voltaje para maximizar el contraste entre estructuras sin aumentar innecesariamente la dosis de radiación.

#### ***Corriente del Tubo (mA) y Tiempo de Exposición (s)***

La combinación de estos dos factores (mAs) regula la cantidad total de radiación. Un mayor mAs reduce el ruido de la imagen, pero aumenta la dosis al paciente. Algoritmos de IA pueden adaptar dinámicamente la corriente del tubo durante la adquisición, teniendo en cuenta la

morfología del cerebro y la localización esperada de lesiones, como ocurre en la EM, donde las áreas afectadas pueden ser sutiles y estar dispersas.

### ***Filtración***

La filtración elimina los fotones de baja energía que no aportan a la calidad de la imagen, pero que incrementan la dosis. En procedimientos como la TC o radiografías, los sistemas basados en IA pueden calcular el grosor y tipo de material de filtración ideal, reduciendo la exposición sin comprometer el contraste o la resolución.

### ***Colimación***

En modalidades de imagen como la RM, aunque no se utiliza radiación ionizante, existe una necesidad similar de focalizar la adquisición sobre las regiones cerebrales más relevantes. En este contexto, la IA permite definir automáticamente los volúmenes de interés (ROI), evitando la adquisición innecesaria de regiones no pertinentes y reduciendo tiempos de escaneo, artefactos y datos irrelevantes.

En conjunto, la implementación de IA en la optimización de estas condiciones no solo mejora la eficiencia y calidad del estudio, sino que también permite personalizar los protocolos de adquisición para adaptarse a las características específicas de cada paciente con EM. Esto se traduce en imágenes más nítidas, segmentaciones más precisas y una detección más temprana y fiable de las lesiones, elementos críticos para un manejo clínico efectivo de la enfermedad.

### **Ventajas de la Optimización con IA: Personalización de Protocolos, Mejora en la Calidad de Imagen y Disminución de la Dosis de Radiación**

De acuerdo con Belzunce (2024), el uso de inteligencia artificial (IA) en la optimización de protocolos de adquisición de imágenes permite personalizar los estudios en función de las características individuales de cada paciente, lo que mejora la calidad diagnóstica y reduce la

exposición a la radiación. Este avance representa un cambio significativo en la práctica radiológica, al elevar la precisión y seguridad en los procedimientos de imagen médica.

Además, Zhao et al., (2021), refieren que la inteligencia artificial aplicada al análisis de imágenes médicas contribuye de manera significativa a la mejora de la precisión diagnóstica en la radioterapia guiada por imagen. Los modelos de IA pueden optimizar los parámetros de adquisición de imágenes, mejorando la localización y caracterización de las lesiones, esto se traduce en una evaluación más precisa y eficiente de los objetivos terapéuticos. La integración de la IA en este contexto promete revolucionar el monitoreo y tratamiento de diversas patologías, proporcionando una atención más personalizada y precisa.

## **La Nube y el Almacenamiento de Imágenes Diagnósticas en el Contexto de la IA**

### ***Aplicación de la Tecnología de la Nube en el Almacenamiento de Imágenes Diagnósticas***

La capacidad de la nube para almacenar grandes volúmenes de datos DICOM facilita de forma significativa el uso de la inteligencia artificial (IA) en el análisis de imágenes diagnósticas, principalmente en el contexto de enfermedades como la esclerosis múltiple (EM). Al permitir el almacenamiento y acceso remoto de estas imágenes en tiempo real, la nube optimiza tanto la gestión de los datos como el procesamiento mediante algoritmos de IA. Estos algoritmos, al estar respaldados por potentes capacidades de almacenamiento en la nube, pueden analizar grandes cantidades de imágenes de resonancia magnética (RM) de forma más rápida y precisa. Esto es primordial para mejorar el diagnóstico temprano y el seguimiento de la progresión de la EM.

Según Lucena (2024), la integración de la nube con IA ha revolucionado los diagnósticos por imágenes, brindando herramientas avanzadas que optimizan la precisión y la eficiencia en la detección de diversas patologías. En el caso específico de la EM, el uso de la nube permite procesar grandes volúmenes de imágenes, apoyando la personalización de los protocolos de

adquisición y la mejora de la calidad de las imágenes, todo ello con el objetivo de lograr diagnósticos más certeros y menos dependientes de variabilidades humanas. La nube, por lo tanto, juega un papel crucial al posibilitar la aplicación de IA para la optimización de imágenes, especialmente en condiciones de alta complejidad como la esclerosis múltiple.

### ***Uso de la Nube para Almacenar, Procesar y compartir Imágenes DICOM***

Como refieren Fonseca y Orozco (2015) el uso de la nube para el respaldo y almacenamiento de imágenes médicas permite reducir costos, mejora la disponibilidad y aumenta la interoperabilidad de los estudios de tomografía computarizada (TC), resonancia magnética (RM) y otros métodos de diagnóstico por imágenes, generados por sistemas como ALAS PACS, DICOM, lo que facilita el acceso remoto y su integración con herramientas avanzadas de análisis, incluyendo inteligencia artificial para la optimización de parámetros de imagen y diagnóstico automatizado.

### **Beneficios de la Centralización, Acceso en Tiempo Real y Reducción de la Dependencia del Almacenamiento Físico**

La tecnología en la nube se utiliza para almacenar, procesar y compartir imágenes médicas en formatos DICOM, Arias et al., (2018) señalan que el uso de la nube permite centralizar la gestión de imágenes médicas, mejorando el acceso a ellas en tiempo real y reduciendo la dependencia de almacenamiento físico. Esto es especialmente relevante en situaciones de emergencia médica o cuando se requiere una consulta rápida entre especialistas en diferentes ubicaciones.

La nube ha transformado el almacenamiento y manejo de imágenes médicas, permitiendo acceso remoto, colaboración entre profesionales y escalabilidad, lo que facilita la gestión de grandes volúmenes de datos (Acosta y Orellana, 2023). Además, herramientas como la

compresión de imágenes contribuyen a optimizar el espacio y el tiempo de transferencia (Noreña y Romero, 2013). Sin embargo, surgen desafíos relacionados con la seguridad y privacidad de los datos, ya que es crucial asegurar la protección contra accesos no autorizados (Arias et al., 2018), y la conectividad a Internet es fundamental para su funcionamiento eficiente. A pesar de estos retos, la nube continúa ganando terreno como solución en el ámbito médico, con el potencial de mejorar la precisión diagnóstica y a bajar los costos (Guzmán y Vega, 2014).

### ***Facilidad del Acceso Remoto, la Colaboración entre Profesionales y la Escalabilidad***

Según Guzmán (2014), el uso de la nube para almacenar, procesar y compartir imágenes médicas, especialmente aquellas en formato DICOM, ha transformado la gestión de datos en el sector de la salud. La implementación de la nube en sistemas de almacenamiento y transmisión de imágenes permite una mayor flexibilidad y eficiencia, facilitando el acceso remoto a las imágenes y la información médica en tiempo real, lo que es fundamental para el diagnóstico oportuno. Además, este sistema contribuye a la interoperabilidad entre diferentes plataformas y dispositivos, asegurando que los datos puedan ser procesados y compartidos de manera eficiente entre profesionales de la salud en diversas ubicaciones, promoviendo una colaboración más efectiva y el acceso a herramientas avanzadas de análisis, como la inteligencia artificial, para optimizar la imagen y mejorar la precisión diagnóstica.

### ***Optimización del Espacio y Tiempo de Transferencia Mediante la Compresión de Imágenes***

Acosta et al., (2023) destacan que la compresión de imágenes DICOM ha mejorado la eficiencia en el almacenamiento y la transferencia de estudios médicos, especialmente mediante aplicaciones móviles para dispositivos Android. Esta técnica permite bajar el tamaño de los archivos manteniendo la calidad diagnóstica, lo que agiliza el acceso remoto a las imágenes,

facilita la toma de decisiones clínicas y promueve la cooperación entre profesionales desde distintas ubicaciones.

### **Ventajas del Almacenamiento en la Nube en el Ámbito de la Salud y su Conexión con la IA** ***Mejora de la Gestión de Imágenes Médicas con Accesibilidad Remota e Interoperabilidad***

El almacenamiento en la nube ha revolucionado la gestión de datos en la salud, brindando soluciones innovadoras para la adquisición, almacenamiento y análisis de imágenes, optimizando el acceso a la información, mejora la colaboración entre profesionales y garantiza la seguridad de los datos clínicos. Este almacenamiento tiene ventajas como la mejora de la gestión de imágenes médicas con accesibilidad remota, interoperabilidad con distintos sistemas, escalabilidad de adaptación a los requerimiento de las instituciones de salud y seguridad avanzada en la protección de datos, facilita la integración de IA para mejorar el análisis y optimización de imágenes, garantizando diagnósticos más precisos con menor exposición a radiación, también ofrece respaldo automático de datos y reduce los tiempos de procesamiento, mejorando la eficiencia operativa en hospitales y centros de diagnóstico (Axial ERP, 2022).

### ***Escalabilidad para Adaptarse a Grandes Volúmenes de Datos Necesarios para la IA***

La escalabilidad es clave para que las soluciones de inteligencia artificial (IA) puedan gestionar eficazmente grandes volúmenes de datos generados en imagenología médica. Guzmán (2014) señala que el almacenamiento en la nube permite una gestión flexible y eficaz de estos datos, sin comprometer el rendimiento del sistema. Esto es especialmente relevante en patologías como la esclerosis múltiple, donde la IA debe procesar imágenes complejas de RM y TC. Según Acosta et al. (2023), la integración con plataformas en la nube no solo facilita el almacenamiento y análisis dinámico a gran escala, sino que también permite entrenar modelos con grandes conjuntos de datos, optimizando así la precisión diagnóstica y la personalización del tratamiento.

En conjunto, la escalabilidad en la nube potencia el uso de la IA en medicina, optimizando tanto el análisis de datos como los resultados clínicos.

### ***Seguridad Avanzada en la Protección de Datos***

La protección de los datos médicos es un aspecto crítico, principalmente cuando se trata de la información sensible de pacientes con enfermedades crónicas como la esclerosis múltiple (EM). En este contexto, la seguridad avanzada en la protección de datos no solo garantiza la privacidad del paciente, sino también la integridad y fiabilidad de los diagnósticos realizados a partir de imágenes médicas. La implementación de soluciones en la nube para el almacenamiento y procesamiento de imágenes DICOM, como lo destacan Guzmán (2014) y Acosta et al., (2023), debe ir acompañada de estrictos protocolos de seguridad para evitar accesos no autorizados y proteger la información personal y médica de los pacientes. Dado que los datos de pacientes con EM contienen información crítica sobre su salud, que puede incluir diagnósticos, historial de tratamiento y progresión de la enfermedad, su protección es esencial. también Arias et al., (2018), señalan que la seguridad en la nube debe involucrar cifrado de extremo a extremo, autenticación multifactorial y controles de acceso granulares, lo que garantiza que solo personal autorizado acceda a los datos de los pacientes. Este enfoque no solo protege la confidencialidad del paciente, sino que también es crucial para mantener la confianza en los sistemas basados en IA que analizan estos datos. La correcta implementación de medidas de seguridad es, por tanto, indispensable para asegurar que los beneficios de la IA en el diagnóstico y tratamiento de la EM no se vean comprometidos por vulnerabilidades en el manejo de los datos.

### ***Facilitación de la Integración de IA para Mejorar el Análisis y Optimización de Imágenes***

La sinergia de la IA con la medicina ha tenido avances cruciales en la mejora del análisis y optimización de imágenes médicas, especialmente en la imagen cardiaca. Según Loncarci et

al., (2021), la IA en este campo ha demostrado un impacto en el aumento de la precisión diagnóstica y en la mejora de los procedimientos para el análisis de imágenes. Los modelos de IA, particularmente los basados en aprendizaje profundo y redes neuronales, son capaces de examinar grandes volúmenes de datos de imágenes médicas, lo que permite la detección temprana de anomalías y una evaluación más precisa de la condición del paciente. La automatización del proceso de análisis no solo incrementa la velocidad de los diagnósticos, sino que también mejora su precisión, reduciendo los errores humanos que pueden aparecer en la interpretación de las imágenes. Además, la inteligencia artificial permite personalizar los protocolos de adquisición en resonancia magnética, ajustándolos a las características individuales de cada paciente y a los requerimientos específicos del estudio, lo que contribuye a optimizar el uso de la dosis de radiación y la eficiencia diagnóstica del procedimiento. Asimismo, esta integración tecnológica favorece la interoperabilidad entre distintos sistemas de diagnóstico, permitiendo que las soluciones basadas en IA se adapten e integren sin dificultades en las infraestructuras clínicas existentes. En resumen, la IA mejora la eficacia y precisión de los diagnósticos y al mismo tiempo optimiza la toma de decisiones clínicas, fortaleciendo el papel de los profesionales de la salud en el manejo de enfermedades complejas, como las patologías cardíacas y, por extensión, otras áreas de la medicina como la neurología y la esclerosis múltiple.

### ***Respaldo Automático de Datos y Reducción de Tiempos de Procesamiento***

Según Fonseca y Pina (2015), el respaldo automático de datos es una herramienta clave en el manejo de imágenes médicas, especialmente en sistemas que involucran grandes volúmenes de información, como las imágenes de resonancia magnética y tomografía computarizada. Los sistemas modernos de adquisición, almacenamiento, transmisión y visualización de imágenes médicas (SISTAM) han evolucionado para incluir mecanismos que

permiten la automatización del respaldo de los datos, lo que garantiza la integridad y disponibilidad de la información. Este enfoque no solo mejora la seguridad de los datos, sino que también reduce significativamente los tiempos de procesamiento al optimizar el flujo de trabajo. La implementación de técnicas como la compresión de imágenes y el uso de sistemas de almacenamiento en la nube contribuye a agilizar el proceso de transferencia y visualización de las imágenes, minimizando los retrasos asociados con la carga de grandes volúmenes de datos. Los autores destacan que, al automatizar el respaldo de datos y optimizar la gestión de imágenes médicas, se facilita el acceso inmediato y eficiente a los registros clínicos, mejorando la eficiencia operativa en los entornos clínicos. Este tipo de optimización es esencial en contextos de alta demanda, como el diagnóstico de enfermedades complejas, incluyendo la esclerosis múltiple, donde la velocidad y precisión del análisis de imágenes son cruciales para una correcta evaluación y tratamiento de los pacientes.

### **Desafíos del Almacenamiento en la Nube en el Ámbito de la Salud**

A pesar de sus ventajas, la implementación de la IA en el diagnóstico de la EM también trae consigo ciertos desafíos, Vázquez et al., (2020) y Law et al., (2019) advierten que la dependencia de algoritmos de IA podría generar una sobrecarga de datos si no se gestionan adecuadamente, y hay preocupaciones sobre la interpretación ética de los resultados generados por estos sistemas. Además, Nasar et al., (2024) resaltan que la calidad de los datos, como los obtenidos de metabolómica o imágenes médicas, debe ser altamente confiable para garantizar la efectividad de los modelos predictivos.

### ***Protección de Datos y Privacidad (Riesgos de Accesos no Autorizados y Ciberataques)***

La salvaguarda de los datos y la privacidad son cuestiones clave al emplear tecnologías de inteligencia artificial (IA) y almacenamiento en la nube en el análisis de imágenes médicas,

especialmente en enfermedades sensibles como la esclerosis múltiple (EM). El uso de la nube, si bien aporta ventajas como el acceso remoto y la escalabilidad, también conlleva riesgos relacionados con accesos no autorizados, ciberataques y pérdida de información sensible. Según Arias et al., (2018), garantizar la seguridad de los datos médicos en entornos digitales requiere implementar mecanismos robustos de cifrado, autenticación y monitoreo continuo, dado que las imágenes DICOM contienen información altamente confidencial del paciente. En este sentido, resulta imprescindible establecer políticas claras de gestión de datos, así como cumplir con las normativas de protección de información, para asegurar un uso ético y seguro de estas tecnologías en la práctica clínica.

### ***Cumplimiento Normativo***

El cumplimiento normativo representa uno de los principales retos en la implementación de inteligencia artificial (IA) y tecnologías en la nube dentro del ámbito de la salud. La gestión de datos médicos sensibles, como los utilizados en el diagnóstico y seguimiento de la esclerosis múltiple (EM), debe estar alineada con las normativas legales y éticas que rigen la protección de la información personal de cada paciente. Según Egli (s.f.), el uso de sistemas de almacenamiento digital y análisis automatizado en salud debe cumplir con estándares internacionales como HIPAA (en EE. UU.) o el RGPD (en Europa), que exigen medidas de seguridad, transparencia en el tratamiento de datos y consentimiento informado. El incumplimiento de estos marcos normativos no solo pone en riesgo la privacidad del paciente, sino que también compromete la confianza en el uso clínico de estas tecnologías avanzadas.

### ***Interoperabilidad con Sistemas Tradicionales***

Otro reto importante es la integración del almacenamiento en la nube con los sistemas hospitalarios tradicionales. Muchos centros de salud aún utilizan infraestructuras locales que no

están diseñadas para interactuar con plataformas avanzadas de procesamiento en la nube. Esta falta de interoperabilidad puede limitar el acceso en tiempo real a las imágenes médicas y restringir el uso de herramientas basadas en IA para el análisis y optimización de la imagen. (Innovación Digital 360, 2022)

### ***Costos de Implementación y Mantenimiento***

Otro de los desafíos importantes en la adopción de tecnologías como la IA y el almacenamiento en la nube en radiología es el costo. Según Fonseca y Orozco (2015), aunque estas herramientas mejoran la eficiencia y el acceso a los datos, requieren una inversión inicial considerable en infraestructura, software y personal capacitado. A esto se suman costos operativos continuos, como el mantenimiento, las actualizaciones y el soporte técnico, lo que puede dificultar su implementación en centros de salud con recursos limitados. Por ello, es fundamental considerar la viabilidad económica al integrar estas tecnologías, especialmente en áreas con alta demanda de procesamiento de imágenes, como la esclerosis múltiple.

### ***Dependencia de la Conectividad a Internet***

La dependencia y necesidad de una conexión estable a internet representa otro desafío importante en la adopción de sistemas basados en la nube para el almacenamiento y análisis de imágenes médicas.

Guzmán y Vega (2014) advierten que cualquier interrupción en el servicio de red puede afectar significativamente el acceso a los estudios diagnósticos, lo que podría retrasar decisiones clínicas críticas, especialmente en patologías como la esclerosis múltiple, donde el seguimiento continuo y preciso es esencial. Esta limitación técnica resalta la necesidad de contar con infraestructuras de red robustas y planes de contingencia para garantizar la disponibilidad

constante de la información médica, minimizando así los riesgos asociados a la interrupción del flujo de trabajo clínico.

### ***Resistencia al Cambio y Necesidad de Capacitación***

La implementación de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial y el almacenamiento en la nube en el ámbito clínico también enfrenta barreras humanas y organizativas. González y Martínez (2020) señalan que la resistencia al cambio por el personal médico y técnico es un factor frecuente que puede retrasar la adopción de estas innovaciones. Esta resistencia suele estar ligada al desconocimiento de las nuevas herramientas, temor a la sustitución laboral o a errores derivados de su uso incorrecto. Por esta razón, los autores destacan la necesidad de programas de capacitación específicos, dirigidos a familiarizar a los profesionales con las funcionalidades, beneficios y limitaciones de estas tecnologías. Solo a través de una formación adecuada se podrá fomentar su aceptación y garantizar una integración efectiva en el flujo de trabajo clínico.

### **Aplicación Especifica de la Nube para el Análisis con IA en Pacientes con EM y**

### **Facilitación del Acceso en Tiempo Real a Imágenes para el Análisis con IA**

La combinación del almacenamiento en la nube con algoritmos de IA representa un avance clave en el abordaje clínico de la esclerosis múltiple, al permitir el acceso en tiempo real a imágenes diagnósticas de alta resolución desde distintos dispositivos y ubicaciones. Esta funcionalidad es especialmente relevante en una enfermedad como la EM, que requiere un monitoreo continuo y preciso de lesiones desmielinizantes a lo largo del tiempo. Fonseca y Orozco (2015) destacan que los sistemas de respaldo y transmisión de imágenes médicas basados en la nube no solo mejoran la disponibilidad de los estudios, sino que también permiten su integración con herramientas avanzadas de análisis, como la IA.

## **Permiso para la Aplicación de Algoritmos de IA Y ML Para Mejorar la Detección de Lesiones, Optimizar Parámetros y Reducir la Variabilidad**

Guzmán y Vega (2014) subrayan que el uso de plataformas en la nube para el almacenamiento y procesamiento de imágenes médicas no solo mejora el acceso remoto y la gestión de datos clínicos, sino que también habilita la integración de algoritmos avanzados de inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático (ML). Esta infraestructura facilita la aplicación de modelos computacionales capaces de mejorar la detección de lesiones desmielinizantes, optimizar automáticamente los procesos de adquisición de imagen y reducir la variabilidad en los estudios. En el contexto de la esclerosis múltiple, esta capacidad es especialmente valiosa, ya que permite un diagnóstico más preciso, un monitoreo longitudinal más efectivo y una mayor estandarización en la evaluación clínica de los pacientes.

### **Desafíos Éticos y Técnicos de la IA en el Diagnóstico de la EM**

#### ***Dependencia de Algoritmos de IA y Potencial por Sistemas de IA***

Uno de los retos éticos más significativos en la implementación de IA en el diagnóstico de la esclerosis múltiple (EM) es la creciente dependencia de los sistemas algorítmicos para la toma de decisiones clínicas. A pesar de que los algoritmos de aprendizaje automático (AA) tienen gran precisión en la identificación y segmentación de lesiones, existe el riesgo de una gran confianza en sus resultados, lo que podría disminuir el juicio clínico independiente de los especialistas (González y Martínez, 2020). Este fenómeno plantea un reto ético importante, puesto que la tecnología no debe reemplazar, sino apoyar la capacidad analítica de los profesionales. Además, los sistemas de IA, si no son adecuadamente validados y auditados, pueden incurrir en sesgos derivados de los datos con los que fueron entrenados, comprometiendo la equidad y la seguridad del diagnóstico (Arias et al., 2018).

En este contexto, se plantea el reto de la sobrecarga de datos. La inteligencia artificial es capaz de manejar y analizar vastos volúmenes de información, lo cual es crucial en el caso de la EM, donde se pueden generar gran cantidad de imágenes y datos. Sin embargo, esta abundancia de datos puede llevar a que los sistemas de IA se vean desbordados o sobrecargados, lo que podría afectar la precisión de los diagnósticos. Es necesario establecer mecanismos para filtrar, gestionar y seleccionar adecuadamente la información relevante para que los modelos de IA sean eficaces y no propicien una saturación de datos que afecte la calidad de los resultados.

Además, la implementación de la IA en el diagnóstico de enfermedades como la esclerosis múltiple (EM) plantea importantes desafíos éticos, especialmente en la equidad y transparencia de los algoritmos.

Uno de los riesgos importantes, es la reproducción de sesgos presentes en los datos de entrenamiento, lo que puede derivar en resultados desiguales para subgrupos de pacientes con diferentes características clínicas, étnicas o socioeconómicas (Zhao et al., 2021). Para mitigar esto, es esencial asegurar que los datos sean diversos y representativos, y que los modelos sean validados rigurosamente.

Igualmente, la interpretación ética de las decisiones automatizadas requiere definir con claridad quién es responsable ante posibles errores diagnósticos o fallos en las recomendaciones de tratamiento.

Por ello, la colaboración entre especialistas en salud, científicos de datos y expertos en ética es crucial para desarrollar algoritmos auditables, explicables y que operen siempre bajo la supervisión de profesionales médicos, tal como señalan Fonseca y Orozco (2015). Así, se busca garantizar que la IA actúe como una herramienta de apoyo confiable y justa, sin reemplazar el juicio clínico humano.

### ***Interpretación Ética de los Resultados Generados por Sistemas de IA***

En términos de interpretación ética, la transparencia y la responsabilidad son fundamentales. Los sistemas de IA deben ser diseñados para que los resultados generados sean comprensibles y auditables por los profesionales médicos, permitiendo que estos validen y expliquen las decisiones tomadas por los algoritmos. De esta manera, se asegura que el diagnóstico asistido por IA se mantenga dentro de un marco ético, en el cual los errores puedan ser rastreados, comprendidos y corregidos (Fonseca y Orozco, 2015). Técnicamente, los sistemas de IA requieren una continua actualización y deben integrarse adecuadamente con plataformas clínicas existentes, para que no se pierda la supervisión humana en las decisiones.

### **Importancia de la Calidad y Fiabilidad de los Datos de Entrenamiento Para la Efectividad de los Modelos Predictivos**

La calidad y fiabilidad de los datos utilizados para entrenar los modelos predictivos son fundamentales para garantizar la eficacia de la inteligencia artificial (IA) en el diagnóstico de la esclerosis múltiple (EM). Según Arias et al., (2018), los modelos de IA y aprendizaje automático (ML) se basan en gran medida de datos representativos y de alta calidad, como las imágenes médicas y la metabolómica, para poder realizar predicciones precisas. Si los datos de entrenamiento no son lo suficientemente representativos o están sesgados, el potencial del modelo para trascender a nuevos casos se ve comprometida, lo que puede resultar en diagnósticos incorrectos o inexactos. Además, la integración de información biomédica adicional, como datos de metabolómica, puede optimar aún más la precisión de los modelos predictivos, al proporcionar una visión más completa de los procesos patológicos en el organismo (Fonseca y Orozco, 2015). Sin embargo, la fiabilidad de estos datos es crucial para la eficacia de los algoritmos de IA.

### ***Riesgos de Falsos Positivos y Negativos***

Con los modelos predictivos existe el riesgo de falsos positivos y falsos negativos, los cuales pueden exponer la precisión del diagnóstico y el tratamiento adecuado de los pacientes. Como señalan González y Martínez (2020), los falsos positivos pueden llevar a un sobretreatmento innecesario, mientras que los falsos negativos pueden resultar en diagnósticos tardíos, lo que desmejora el pronóstico de la enfermedad. En el contexto de la EM, este riesgo es aún más crítico debido a la variabilidad de las lesiones y la complejidad de la enfermedad, lo que hace que la precisión del diagnóstico sea esencial para personalizar los tratamientos y mejorar los resultados a largo plazo. Por lo tanto, es esencial que los modelos de IA sean continuamente validados y ajustados con datos de alta calidad y que se realicen evaluaciones rigurosas para minimizar el riesgo de estos errores en el diagnóstico.

### **Dificultad de Generalizar Modelos a Diferentes Tipos de Escáneres de RM y Poblaciones de Pacientes**

De acuerdo con Zhao et al., (2021), la generalización de los modelos de IA a diferentes tipos de escáneres de resonancia magnética (RM) y poblaciones de pacientes presenta un desafío importante en el diagnóstico por imágenes de la esclerosis múltiple (EM). La variabilidad en los equipos de RM utilizados en distintos entornos clínicos, como la resolución de imagen, las configuraciones de escaneo y los protocolos técnicos, puede influir significativamente en los resultados de los modelos predictivos. Esta dificultad de estandarización implica que los modelos entrenados en un tipo específico de escáner o población de pacientes no siempre logren la misma precisión cuando se aplican a otros contextos. Rojas et al., (2024) también destacan que la capacidad de los algoritmos de IA para adaptarse a la diversidad de estos factores es crucial para

optimizar la precisión diagnóstica y garantizar la eficacia de la herramienta en diversas circunstancias clínicas.

### **Importancia de la Colaboración Interdisciplinaria entre Radiólogos, Neurocientíficos y Especialistas en Informática**

Fernández (2024) señala la importancia de la colaboración interdisciplinaria entre radiólogos, neurocientíficos y expertos en informática para superar estos desafíos. La integración de conocimientos y perspectivas de estos profesionales es esencial para desarrollar modelos de IA robustos y adaptativos que puedan ser utilizados en una variedad de escenarios. La cooperación entre estos campos permite no solo mejorar la calidad de las imágenes y los algoritmos de análisis, sino también asegurar que los modelos sean aplicables de manera más amplia y efectiva en la práctica clínica. Este enfoque multidisciplinario facilita el desarrollo de soluciones tecnológicas más precisas y adaptadas, que permiten personalizar el diagnóstico y monitoreo de la esclerosis múltiple según las características específicas de cada paciente y las condiciones del equipo de imagen utilizado.

### **Futuras Líneas de Investigación en este Campo**

Las futuras líneas de investigación en la aplicación de la IA en imágenes diagnósticas para la esclerosis múltiple (EM) se centran en mejorar la detección temprana de la EM mediante IA en imágenes, optimizando la precisión en los primeros estadios de la enfermedad (Zhao et al., 2021). Además, se busca avanzar en el pronóstico de la progresión de la enfermedad utilizando IA y análisis de imágenes longitudinales, lo que permitirá un pronóstico más acertado y un seguimiento más efectivo (Rojas et al., 2024). La integración de múltiples técnicas de imagen (como resonancia magnética, OCT, entre otras) con IA promete un análisis más completo y detallado de la EM, abordando diversas perspectivas clínicas (Llufriu, 2024).

Otro objetivo clave es la reducción de falsos positivos y negativos en los algoritmos de IA, lo cual es fundamental para mejorar la precisión diagnóstica y evitar diagnósticos erróneos que puedan afectar al tratamiento (Fernández, 2024). También, se está ejecutando la creación de bases de datos más diversas entrenando modelos de IA que sean más precisos y adaptables, lo cual mejorará la capacidad de los modelos para adaptarse a diferentes poblaciones de pacientes y equipos de diagnóstico (Law et al., 2019).

La mejora de la interpretación clínica de los resultados de IA es otro enfoque importante, ya que permitirá que los profesionales de la salud tomen decisiones más informadas basadas en los resultados de los algoritmos (Llufriu, 2024). Se está explorando también la aplicación de la IA en el seguimiento a largo plazo de los pacientes con EM, así como en la personalización de tratamientos, para ofrecer intervenciones más efectivas y específicas para cada paciente (Zhao et al., 2021).

Finalmente, se dedica una atención especial a la investigación específica en la implementación de técnicas de inteligencia artificial orientadas a la optimización de los parámetros de adquisición en estudios de resonancia magnética en pacientes con EM, con el fin de optimizar la calidad diagnóstica y reducir la dosis de radiación durante las exploraciones (Rojas et al., 2024). Estas líneas de investigación ofrecen un futuro prometedor para el diagnóstico y tratamiento de la EM, permitiendo avanzar hacia una medicina más precisa, personalizada y eficiente.

### **Evaluación de los Impactos Éticos, Técnicos y Prácticos de la Implementación de la IA**

La aplicación de la inteligencia artificial (IA) en la resonancia magnética (RM) para el diagnóstico y seguimiento de la esclerosis múltiple (EM) presenta significativas implicaciones en la práctica clínica y en el desarrollo de nuevas tecnologías. A continuación, se discuten diversos

aspectos clave, incluyendo las mejoras en el diagnóstico y seguimiento, así como los desafíos éticos y técnicos que deben plantearse para garantizar el uso seguro y efectivo de estas herramientas en la práctica clínica.

### ***Mejora en el Diagnóstico y Seguimiento***

La IA ha transformado el análisis de imágenes médicas para la esclerosis múltiple (EM), especialmente en la detección temprana de lesiones desmielinizantes. Gracias al uso de redes neuronales convolucionales (CNN) y algoritmos de aprendizaje automático (AA), la resonancia magnética (RM) se ha vuelto más eficaz para identificar lesiones pequeñas o atípicas que podrían pasar desapercibidas con métodos tradicionales. Aymerich (2011) destaca que la IA es capaz de detectar patrones sutiles en las imágenes que incluso pueden escapar a la observación humana, contribuyendo así a un diagnóstico más temprano y preciso. Además, la IA permite la optimización automatizada de los aspectos técnicos de adquisición de RM, como el grosor de las secciones, el tiempo de adquisición o la intensidad de las secuencias, ajustándolos en función de los rasgos individuales del paciente. Esta capacidad de adaptación mejora la calidad y la resolución de las imágenes sin necesidad de intervención manual (Llufriu, 2024; Law et al., 2019).

Asimismo, la segmentación precisa de estructuras cerebrales mediante IA facilita un análisis más detallado de la morfología cerebral, esencial para monitorizar la progresión de la enfermedad y personalizar los tratamientos. En conjunto, estas aplicaciones fortalecen el seguimiento clínico y optimizan la toma de decisiones terapéuticas en pacientes con EM.

### ***Ventajas de la IA***

La incorporación de la IA en el análisis de imágenes médicas, particularmente en la resonancia magnética (RM) para la esclerosis múltiple (EM), presenta múltiples ventajas clínicas

y operativas. En primer lugar, destaca su alta precisión para detectar lesiones sutiles que podrían pasar desapercibidas en evaluaciones convencionales, gracias a modelos evolucionados como las redes neuronales convolucionales (CNN) y algoritmos de aprendizaje profundo (Bermúdez, 2022). Esta capacidad no solo mejora la calidad del diagnóstico, sino que también aumenta la reproducibilidad de los hallazgos, reduciendo la variabilidad entre observadores (Zhao et al., 2021). Asimismo, la detección automatizada de lesiones pequeñas permite una intervención clínica más temprana y efectiva, esencial en enfermedades progresivas como la EM (Aymerich, 2011). Otro beneficio relevante es la reducción del volumen de trabajo para los profesionales de salud, al automatizar tareas repetitivas y facilitar el análisis de grandes volúmenes de datos, optimizando el tiempo de respuesta y mejora la eficiencia en entornos hospitalarios exigentes (Guzmán y Vega, 2014). Estas ventajas consolidan a la IA como una herramienta estratégica en la medicina personalizada y en la mejora de los procesos diagnósticos en neurorradiología.

### **Desafíos Éticos**

A pesar de los avances en la precisión de los modelos de IA, uno de los grandes desafíos éticos es el aumento de la dependencia de los algoritmos para la toma de decisiones clínicas. Como advierten González y Martínez (2020), la excesiva confianza en los sistemas automatizados puede llevar a una disminución del juicio clínico, lo que podría ser riesgoso, especialmente si los algoritmos no están completamente validados. Por lo tanto, es crucial que los radiólogos y otros profesionales mantengan el control en las decisiones clínicas, usando la IA como una herramienta adicional y no como un sustituto.

Otro desafío ético importante es la transparencia de los sistemas de IA, que suelen ser considerados cajas negras, es decir que los procesos internos de toma de decisiones del algoritmo no siempre son comprensibles para los usuarios. Esto plantea preocupaciones sobre la equidad y

la responsabilidad, especialmente cuando las decisiones clínicas basadas en IA afectan la salud y el bienestar de los pacientes. Para mitigar estos riesgos, es fundamental garantizar que los modelos de IA sean auditables, explicables, garantes y que su uso en la práctica médica esté sujeto a un marco ético claro que priorice la seguridad y los derechos de los pacientes.

### ***Desafíos Técnicos y Limitaciones***

Desde una perspectiva técnica, uno de los principales desafíos técnicos en la implementación de IA en el diagnóstico de la esclerosis múltiple (EM) es la calidad y representatividad de los datos de entrenamiento. La eficacia de los modelos depende en gran medida de contar con datos diversos y abundantes que reflejen la variabilidad clínica y morfológica de la enfermedad. Sin embargo, debido a la complejidad de la EM y a las diferencias entre pacientes y equipos diagnósticos, lograr esa representatividad puede ser difícil, lo que limita la capacidad de los modelos para generalizar sus resultados a distintas poblaciones (Zhao et al., 2021).

La mejora de la precisión y generalización de los modelos de IA en el diagnóstico por RM requiere bases de datos más amplias y diversas, que tengan distintos tipos de equipos y representen a todos los subgrupos de pacientes. La falta de multiplicidad puede generar sesgos en los resultados, comprometiendo la equidad del diagnóstico. Asimismo, la integración de la IA con los sistemas de salud existentes, como los PACS, sigue siendo un reto técnico clave. Aunque el almacenamiento en la nube facilita la administración de grandes volúmenes de datos, se necesita una mayor interoperabilidad para garantizar un acceso rápido, seguro y útil a las herramientas de IA en la práctica clínica.

## Metodología

La presente investigación adopta un enfoque cualitativo basado en la revisión estructurada de la literatura para explorar cómo se puede utilizar la Inteligencia Artificial (IA) y el Aprendizaje Automático (AA) para optimizar el proceso de adquisición de imágenes médicas, con el objetivo de mejorar la calidad de la imagen y reducir la dosis de radiación.

El enfoque cualitativo, como plantean Hernández et al., (2006), se centra en comprender las interpretaciones subjetivas y múltiples de la realidad a través de métodos flexibles, en esta investigación, se busca comprender las percepciones, experiencias y conocimientos de diversos autores en la literatura científica sobre el uso de la IA para la optimización de parámetros de imagen en resonancia magnética (RM), especialmente en el contexto del diagnóstico y seguimiento de la esclerosis múltiple (EM). A través del análisis de estudios científicos, este enfoque facilita la interpretación del significado y la intencionalidad que los investigadores atribuyen a la implementación de técnicas de IA, así como las motivaciones, ventajas percibidas, barreras y desafíos asociados con su aplicación clínica.

Además, el enfoque cualitativo permite identificar patrones temáticos, contrastar diferentes perspectivas y construir una visión comprensiva del estado actual del conocimiento en torno a la personalización de los procesos de adquisición de imágenes mediante algoritmos de IA. Esto es esencial en un campo en evolución como el de la tecnología médica, donde los aspectos técnicos se entrelazan con consideraciones éticas, prácticas y contextuales que no pueden ser plenamente captadas desde un enfoque cuantitativo. Por tanto, este enfoque metodológico permite profundizar en los discursos científicos y clínicos, ofreciendo una comprensión más rica y contextualizada del impacto potencial de la IA en la optimización de la calidad diagnóstica y la seguridad del paciente.

El procedimiento para alcanzar los objetivos propuestos se describe a continuación:

**Figura 8.**

*Pasos de la metodología*



*Nota.* Elaboración propia

### **Definición del Problema**

Esta investigación se orienta a explorar, desde una perspectiva cualitativa, la literatura existente sobre cómo los algoritmos de IA se pueden entrenar para ajustar automáticamente los parámetros de adquisición de imágenes médicas, considerando el tipo de estudio y los rasgos individuales del paciente, con el fin de optimizar la calidad diagnóstica, reducir la dosis de radiación y disminuir la intervención manual del operador.

### **Diseño del Estudio**

Se adoptó un diseño cualitativo de revisión exhaustiva de la literatura con el objetivo de analizar e interpretar la información existente sobre la aplicación de tecnologías emergentes, específicamente la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático (ML), en la optimización de imágenes en el ámbito de la imagenología médica. Este diseño permite

comprender en profundidad los conceptos, experiencias y valoraciones presentes en la literatura relevante.

### **Limitaciones de la Metodología**

Las principales limitaciones del enfoque basado en revisión de literatura incluyen la dependencia de fuentes secundarias, lo que impide observaciones directas o validaciones empíricas. Además, la disponibilidad de artículos clave puede estar restringida por barreras de suscripción o idioma, lo que puede sesgar los resultados. Además, la dificultad de comparar hallazgos por la heterogeneidad en los diseños metodológicos de los estudios revisados. Así como, el rápido avance tecnológico en IA puede hacer que parte de la información quede obsoleta rápidamente.

### **Fases de la Metodología**

Las fases que guiaron el desarrollo metodológico del estudio son:

Fase 1. Exploración Bibliográfica en Bases de Datos

Fase 2. Organización de la Información Recolectada

Fase 3. Análisis e Interpretación de Datos

A continuación, se desglosa el proceso de investigación metodológico, estructurado así:

#### ***Fase 1. Exploración Bibliográfica en Bases de Datos***

**Tarea 1.** Realización de una búsqueda exhaustiva de literatura relevante en bases de datos como PubMed, Science Direct, Scielo, Researchgate, Elsevier, Redalyc, Biblioteca Virtual UNAD, Medigraphic, Dialnet y Google Académico, utilizando combinaciones de palabras clave.

**Tarea 2.** Identificación y selección de artículos relevantes utilizando palabras clave como: Inteligencia Artificial, algoritmos de IA, Aprendizaje Automático, personalización de parámetros de imagen, redes neuronales, radiología digital, impacto de la IA, innovación

tecnológica en radiología, reducción de radiación, calidad de la imagen. Además, se tuvieron en cuenta criterios de búsqueda específicos que permitieran identificar estudios relevantes sobre el uso de la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático (AA) en la optimización de las imágenes en resonancia magnética (RM) aplicados al diagnóstico y seguimiento de la esclerosis múltiple (EM). Se incluyeron artículos revisados por pares, publicados entre 2013 y 2024, en inglés o español, que abordaran directamente la aplicación de IA o AA en imágenes por RM relacionadas con EM.

### ***Fase 2. Organización de la Información Recolectada***

**Tarea 1.** Categorización temática de la información, por temas significativos de los hallazgos obtenidos a partir de la literatura seleccionada, con el fin de organizar y analizar de forma sistemática la información relacionada con el uso de la inteligencia artificial (IA) en la optimización de parámetros de imagen en resonancia magnética (RM) aplicada a la esclerosis múltiple (EM). Para ello, se realizó la lectura crítica y análisis cualitativo de los textos, centrado en identificar conceptos recurrentes, términos clave y patrones temáticos.

**Tarea 2.** Análisis y sistematización de la información, mediante un análisis detallado de la información derivada de la revisión de la literatura, aplicando un proceso de sistematización basado en criterios temáticos previamente definidos. Se empleó como criterio de agrupación la presencia de conceptos clave relacionados con tres ejes fundamentales: (1) la optimización de parámetros de adquisición de imagen, (2) la mejora de la calidad diagnóstica de las imágenes y (3) la reducción de dosis y tiempos de exploración.

La información fue clasificada en categorías temáticas específicas que permitieron comparar de manera estructurada los enfoques metodológicos, las tecnologías de inteligencia artificial utilizadas y los resultados clínicos descritos por los distintos autores. Para establecer

dichas categorías, se identificaron y analizaron palabras clave recurrentes en los textos, como automatización de protocolos, mejora de contraste, segmentación de lesiones, Deep learning, machine learning, entre otras. Esta sistematización permitió una organización coherente y comparativa de los datos compilados, facilitando la tipificación de tendencias, avances y desafíos en la aplicación de IA en la resonancia magnética para la esclerosis múltiple. Asimismo, permitió resaltar los aportes más relevantes de cada estudio en correlación con los objetivos específicos de la indagación.

### ***Fase 3. Análisis e Interpretación de Datos***

**Tarea 1.** Análisis de las categorías temáticas y evidencia de la importancia del tema, organizada en 3 categorías principales: (1) optimización de parámetros de adquisición de imagen, (2) mejora de la calidad diagnóstica, y (3) reducción de dosis y tiempos de exploración. Para este propósito, se empleó un enfoque cualitativo de análisis temático, que permitió identificar patrones recurrentes, relaciones entre conceptos y categorías emergentes en la literatura revisada. Esta sistematización facilitó la identificación de enfoques metodológicos compartidos, coincidencias en los beneficios clínicos reportados y divergencias entre estudios en cuanto a técnicas o resultados.

Paralelamente, se utilizó la literatura científica especializada como soporte para evidenciar la relevancia clínica y técnica del tema. A través de la revisión de fuentes actualizadas y revisadas por pares, se validó la pertinencia de la investigación al demostrar cómo la aplicación de IA y AA puede mejorar la calidad de las imágenes diagnósticas, reducir la exposición a radiación y personalizar los protocolos según las características individuales del paciente, particularmente en la resonancia magnética para esclerosis múltiple (EM).

**Tarea 2.** Presentación de evidencia específica y síntesis de hallazgos como, la IA y el AA están revolucionando el campo del diagnóstico por imágenes al permitir procesos más precisos, personalizados y eficientes. La tecnología ofrece mejoras sustanciales en la calidad de imagen, reducción de errores humanos y optimización de los recursos clínicos, marcando un avance significativo en el manejo de patologías como la esclerosis múltiple.

## **Desarrollo del Proyecto**

En primer lugar, se relacionan los resultados derivados de la investigación, organizados según las fases previamente establecidas para el desarrollo de la ruta metodológica de este estudio:

### **Fase 1: Exploración Bibliográfica en Bases de Datos**

En esta fase, se realizó una exploración sistemática y exhaustiva en bases de datos, utilizando los criterios de búsqueda previamente seleccionados, los cuales fueron la optimización de parámetros de imagen con inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático en la mejora de la calidad diagnóstica, la reducción de la dosis de radiación y la personalización de los ajustes de adquisición de imágenes.

La elección de artículos se realizó en dos etapas: primero, se examinaron los títulos y resúmenes para determinar su relevancia según los criterios de inclusión (artículos científicos en inglés o español que abordaran la IA o el ML en la optimización de imágenes en radiología). En la segunda etapa, se revisó el texto completo de los artículos preseleccionados para verificar su pertinencia al tema de investigación.

#### ***Tarea 1. Revisión Literaria en Bases de Datos***

Revisión literaria en bases de datos como: PubMed, Science Direct, Scielo, Researchgate, PubMed, Dialnet, Elsevier, Redalyc, Biblioteca Virtual UNAD y Google Académico. Los artículos científicos revisados para esta investigación destacan aspectos clave relacionados con el tema en estudio, señalando su relevancia e innovación sobre el uso de inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático en la optimización de parámetros de imagen en radiología. Además, se observa que el tema ha conseguido mayor importancia en los últimos años, ya que la mayoría de

las publicaciones citadas en la bibliografía corresponden al periodo comprendido entre 2013 y 2024, como se establece en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Revisión Literaria*

<b>Año de publicación</b>	<b>Búsquedas realizadas</b>	<b>Selección</b>
2013 - 2017	25	12
2018 - 2022	55	19
2023 - 2024	85	35
Total	165	66

*Nota.* Elaboración propia

La búsqueda exhaustiva y relevante para esta investigación se ejecutó en bases de datos confiables, la literatura analizada proviene de plataformas reconocidas como Scielo, Google Académico, Dialnet, Researchgate, ScienceDirect, PubMed, Biblioteca Virtual UNAD, Elsevier, Redalyc y Medigraphic, las cuales contienen diversas referencias sobre el tema de estudio.

***Tarea 2: Identificación de Palabras Clave Relevantes***

Identificación de palabras clave relevantes, como: Inteligencia Artificial, algoritmos de IA, Aprendizaje Automático, personalización de parámetros de imagen, redes neuronales, así como radiología digital, impacto de la IA, innovación tecnológica en radiología, reducción de radiación y calidad de la imagen.

En esta tarea, se identificaron y seleccionaron las palabras clave más pertinentes al tema de investigación, para facilitar la búsqueda, organización y análisis del contenido bibliográfico. La identificación de estas palabras guio la búsqueda y facilitó la selección de la literatura pertinente.

**Fase 2: Organización de la Información Recolectada**

El análisis de la información se efectuó por codificación abierta, donde se identificaron temas emergentes a partir de la lectura detallada de los artículos. Posteriormente, estos códigos

se agruparon en categorías temáticas más amplias relacionadas con los beneficios, desafíos y aplicaciones de la IA en la optimización de parámetros de imagen.

### ***Tarea 1: Descripción de la Información más Relevante de la Investigación***

Durante esta fase, se llevó a cabo la sistematización de la información recopilada, utilizando un enfoque cualitativo para explorar sistemáticamente cómo se puede utilizar la Inteligencia Artificial (IA) y el Aprendizaje Automático (AA) para optimizar los parámetros de adquisición de imágenes médicas, con el propósito de identificar, clasificar y destacar los contenidos más relevantes coherentes con el objeto de estudio “Inteligencia Artificial para la Optimización de Parámetros de RM en Esclerosis Múltiple: Impacto en Diagnóstico y Seguimiento”, específicamente en cómo los algoritmos pueden ser utilizados para ajustar automáticamente los parámetros de adquisición de imágenes en función del tipo de estudio y las particularidades individuales del paciente. La organización de la información permitió reconocer las tendencias más actuales en el uso de tecnologías de IA en imagenología médica, especialmente en la mejora de la calidad diagnóstica, la reducción de la dosis de radiación y la automatización de procesos clínicos. También se analizaron estudios que abordan el impacto que estas innovaciones pueden tener en la eficiencia del trabajo médico, así como en la personalización de protocolos de imagen según variables fisiológicas del paciente. Este proceso resultó esencial para establecer una base conceptual clara de soporte para la interpretación de los hallazgos, permitiendo una perspectiva estructurada del estado actual del conocimiento del tema.

### ***Tarea 2. Categorización por Temas Específicos***

Se realizó la identificación y análisis de las palabras clave más utilizadas y pertinentes al tema de estudio. Esta tarea fue fundamental para establecer el enfoque temático de la investigación, facilitar la búsqueda bibliográfica y construir una base teórica sólida.

Las palabras clave seleccionadas reflejan los conceptos centrales del estudio, entre ellas se destacan: Inteligencia Artificial, algoritmos de IA, aprendizaje automático, personalización de parámetros de imagen, redes neuronales, radiología digital, impacto de la IA, innovación tecnológica en radiología, reducción de radiación y calidad de la imagen.

Estas palabras clave no solo permitieron delimitar el campo de investigación, sino también agrupar la información recopilada en categorías temáticas que facilitaron el análisis posterior. Cada término representa un eje conceptual importante que contribuye a la comprensión del fenómeno investigado, permitiendo abordar de manera integral el uso de tecnologías basadas en IA para optimizar la adquisición de imágenes médicas, mejorar su calidad diagnóstica y reducir la exposición del paciente a la radiación.

En la Tabla 2 se evidencian los resultados de la búsqueda literaria y su aporte para la presente investigación:

**Tabla 2**

*Resultados de la búsqueda*

Autor y Año	Tema	Aporte a la Investigación
Acosta, et al., (2023)	Aplicación Android para visualización de estudios DICOM	Facilita la accesibilidad y transferencia de imágenes médicas en plataformas móviles.
Ahmed, et al., (2023)	IA en imágenes pancreáticas	Muestra cómo la IA mejora la adquisición de imágenes según el tipo de órgano y características del paciente.
Almojadah, T. et al., (2023)	Repetición de radiografías digitales	Destaca cómo la IA puede ayudar a reducir repeticiones y exposición innecesaria.
Arboleda, et al., (2024)	Protocolo para optimizar dosis en radiología convencional	Propuesta para reducir dosis de radiación y mejorar la calidad del procedimiento en estudiantes y personal clínico.

Autor y Año	Tema	Aporte a la Investigación
Montalban et al., (2020)	Guía sobre el tratamiento farmacológico de personas con esclerosis múltiple	Aporta contexto clínico y diagnóstico sobre la esclerosis múltiple.
Arias, et al., (2018)	Seguridad en la nube para imágenes médicas	Aborda el almacenamiento seguro de imágenes médicas en la nube, para la transferencia y accesibilidad de estudios con IA.
Axial ERP (2022)	Computación en la nube en salud	Analiza los beneficios y riesgos del uso de la nube, destacando su rol en el uso de grandes volúmenes de datos.
Aymerich, F. (2011)	Detección de lesiones en EM mediante técnicas difusas	Explora técnicas automatizadas para el análisis de imágenes de RM en esclerosis múltiple.
Belzunce, M. (2024)	Revolución de la IA en imágenes médicas	Analiza riesgos, pros y contras en la implementación de IA en diagnóstico por imagen.
Bermúdez, S. (2022)	IA en resonancia magnética en neurorradiología	Describe mejoras en precisión diagnóstica usando IA en estudios neurológicos.
Bermejo, et al., (2011)	Esclerosis múltiple: criterios diagnósticos y pruebas complementarias	Proporciona fundamentos clínicos para comprender las necesidades diagnósticas que pueden ser optimizadas mediante IA en imagenología.
Brieva, L. (2021)	Tomografía de coherencia óptica en la esclerosis múltiple	Aporta conocimientos sobre técnicas avanzadas de imagen que pueden beneficiarse de algoritmos de IA
Carretero, et al., (2001)	Actualización sobre esclerosis múltiple	Historia de los avances diagnósticos en EM, comparado con las innovaciones actuales basadas en IA.
Cerrato, A. et al., (s.f.)	Guía de Esclerosis Múltiple	Criterios diagnósticos y clínicos para la personalización de parámetros de imagen mediante IA.
Consejo de Seguridad Nuclear (s.f.)	Protección radiológica	Fundamenta la importancia de reducir la dosis de radiación, uno de los principales beneficios del uso de IA.

Autor y Año	Tema	Aporte a la Investigación
Egli, (s.f.)	Impacto de la IA y AA en la atención médica	Describe cómo la IA mejora la medicina personalizada, base para ajustar parámetros de imagen según las características del paciente.
Febles, (s.f.)	Aplicaciones de la inteligencia artificial en imagenología	Ofrece una revisión conceptual útil para contextualizar el uso de IA en la adquisición y optimización de imágenes médicas.
Fernández, (2024)	Inteligencia artificial y análisis de imágenes médicas	Aporta el uso de IA para mejorar la calidad diagnóstica mediante procesamiento inteligente de imágenes.
Fonseca, (2015)	Respaldo de imágenes médicas	Refiere soluciones tecnológicas para el almacenamiento y transmisión de imágenes, que complementan la optimización basada en IA.
Georgiou, (2024)	IA para optimizar dosimetría con yodo activo	Muestra cómo la IA puede personalizar tratamientos y reducir dosis, aplicable a la reducción de radiación en imagenología.
González, (2020)	Dilemas éticos en IA	Reflexiones para considerar en la implementación ética de IA en entornos médicos, incluyendo imagenología.
Giraud, (2024)	IA en radioterapia	Describe aplicaciones avanzadas que reflejan el potencial de la IA para ajustar tratamientos e imágenes con mayor precisión.
Guzmán, (2014)	Sistema de almacenamiento y transmisión de imágenes médicas	Apoya la gestión eficiente de imágenes optimizadas por IA, facilitando su uso en sistemas digitales de salud.
Hanneman et al., (2024)	IA en imagen cardiovascular	Directrices científicas sobre cómo la IA puede mejorar la adquisición y análisis de imágenes médicas, lo cual puede extrapolarse a otras especialidades como la radiología.

Autor y Año	Tema	Aporte a la Investigación
Hernández, (s.f.)	Software para optimización de imágenes en rayos X	Ejemplo de desarrollo tecnológico para optimizar el flujo de imágenes médicas, integradas con sistemas de IA para automatizar ajustes.
Iglesias, (2023)	Impacto de la IA en la radiología	Revisión sobre cómo la IA está transformando la radiología.
Jiménez, et al., (2022)	Inteligencia artificial radiológica	Analiza el impacto general de la IA en la práctica radiológica moderna y su rol en la optimización de parámetros y diagnóstico automatizado.
Law, et al., (2019)	Machine learning en esclerosis múltiple	modelo predictivo útil para adaptar parámetros de imagen según evolución clínica, aplicable a la personalización con IA.
Llufriu, (2024)	Avances en IA para esclerosis múltiple	Muestra cómo la IA se utiliza para optimizar el diagnóstico y seguimiento por imágenes en esta enfermedad, resaltando la importancia de ajustar parámetros según características.
Lucena, (2024)	Diagnóstico por imágenes asistido por IA	Describe cómo la IA revoluciona el análisis de imágenes médicas, facilitando la detección de patologías y optimizando la calidad diagnóstica.
Machacado, & Aparicio, (2021)	Técnicas de IA en imágenes diagnósticas	Presenta métodos concretos de IA para mejorar el procesamiento y análisis de imágenes, contribuyendo a la eficiencia clínica.
Nasar, et al., (2024)	Red neuronal para predecir EM mediante metabólica	Aporta evidencia sobre el uso de IA para predicción diagnóstica de EM, lo cual puede guiar la personalización de parámetros de imagen basados en datos metabólicos.
Nichols, (s.f.)	Reducción de dosis en radiología médica	Destaca la importancia de ajustar parámetros de imagen para minimizar exposición, objetivo que puede lograrse con IA.

Autor y Año	Tema	Aporte a la Investigación
Parada, et al., (s.f.)	Futuro de la IA en imágenes diagnósticas	Enfatiza la evolución de la IA en la interpretación y optimización de imágenes médicas, proponiendo mejoras en la precisión diagnóstica.
Philips, (2021)	IA para reducir dosis y mejorar calidad	Muestra cómo la IA puede ajustar parámetros técnicos en tomografía para reducir radiación sin sacrificar calidad de imagen.
Puentes, et al., (2022)	Disrupción tecnológica en radiología	Analiza cómo la IA transforma el paradigma radiológico tradicional, mejorando flujos de trabajo y resultados clínicos.
Rojas, et al., (2024)	Optimización de parámetros en TC con IA	Comparación de algoritmos de IA para mejorar la calidad de imagen y reducir la dosis en tomografía computarizada.
Visionplatform (2024)	Algoritmos de reconocimiento de imágenes	Explica el funcionamiento de los algoritmos de IA usados en reconocimiento visual, base técnica de muchos sistemas médicos.
Yaman, et al., (2025)	IA vs neurólogos en EM	Estudio comparativo que demuestra la eficacia de IA en la evaluación de esclerosis múltiple.
Zhao, et al., (2021)	IA en radioterapia guiada por imagen	Revisión de cómo la IA mejora la localización precisa de objetivos mediante ajustes automáticos en imágenes radiológicas.

*Nota.* Elaboración propia

### **Fase 3: Análisis e Interpretación de los Datos**

En esta última fase, se realizó el análisis detallado de la información organizada en las fases anteriores, para identificar patrones, relaciones y categorías emergentes que permitieran comprender en profundidad el tema de estudio: la optimización de parámetros de imagen mediante Inteligencia Artificial (IA) y Aprendizaje Automático (ML), y su aplicación en función

del tipo de estudio y las características del paciente, con el fin de optimizar la calidad diagnóstica y disminuir las dosis de radiación.

### ***Tarea 1: Análisis de los Datos Categorizados***

Se realizó un análisis detallado de las categorías temáticas definidas en fases anteriores, lo cual permitió identificar patrones, tendencias y relaciones clave entre los conceptos centrales del estudio. Este proceso facilitó la comprensión de cómo se articulan elementos como la inteligencia artificial, el aprendizaje automático, la calidad de imagen diagnóstica, y la reducción de la dosis de radiación. Asimismo, se exploraron las conexiones entre la automatización del ajuste de parámetros técnicos y su impacto en la eficiencia clínica y la seguridad del paciente.

A partir del análisis, emergieron relaciones significativas que evidencian cómo la integración de algoritmos de IA en la práctica radiológica puede transformar los procesos de adquisición de imágenes, haciéndolos más precisos, personalizados y menos invasivos.

### ***Tarea 2: Evidenciar la Importancia del Tema Mediante la Literatura Científica***

A través del estudio y contraste de las fuentes bibliográficas, se evidenció con claridad la relevancia de la optimización de parámetros de imagen mediante IA y Aprendizaje Automático (AA), especialmente en su capacidad para mejorar la calidad diagnóstica, reducir las dosis de radiación ionizante y personalizar los ajustes técnicos de adquisición.

La literatura científica consultada respalda considerablemente los beneficios clínicos y tecnológicos que este enfoque aporta a la práctica radiológica, al ofrecer mayor precisión, eficiencia y seguridad en la atención al paciente (Zhao et al., 2021; Rojas et al., 2024). Estos hallazgos son consistentes con el objetivo de la presente investigación, que fue examinar cómo la optimización automática de parámetros, basada en IA y AA, puede aplicarse según el tipo de

estudio y las particularidades individuales del paciente, con el fin de lograr imágenes con mayor calidad diagnóstica y reducir la exposición innecesaria a la radiación.

Asimismo, se reconoce que la personalización de los protocolos de imagen, considerando variables como edad, complejidad física o el órgano a estudiar, constituye un avance sustancial hacia una medicina más precisa, eficiente y centrada en el paciente. En este sentido, estudios como los de Fernández (2024), Llufríu (2024) y Law et al., (2019) destacan cómo la aplicación de IA no solo mejora la calidad de las imágenes, sino que además permite adaptar los estudios a las necesidades clínicas específicas de cada caso, lo cual refuerza la pertinencia y actualidad del tema investigado. En definitiva, la evidencia teórica demuestra que el uso de IA y AA en la optimización de parámetros de imagen representa una innovación tecnológica y un cambio de paradigma en el manejo diagnóstico y terapéutico, especialmente en patologías complejas como la Esclerosis Múltiple.

Según lo encontrado en la revisión de la literatura, se realiza la sinterización:

### **Síntesis de los Hallazgos**

Estudios como el de Zhao et al., (2021) destacan cómo el uso de la IA en radioterapia guiada por imágenes, enfocándose en la localización precisa de los objetivos de tratamiento. Su estudio demuestra cómo el aprendizaje automático ML puede mejorar la calidad de imagen, reduciendo errores humanos y exposición innecesaria a la radiación con la optimización de parámetros en resonancia magnética para la evaluación de lesiones en EM, además demuestran que la disminución de la dosis de radiación es crucial, especialmente en estudios repetidos para el seguimiento de la EM.

De manera similar, Rojas et al., (2024) demuestran que los algoritmos de IA en tomografía computarizada, optimizan la imagen y reducen la dosis de radiación, con datos

experimentales sobre el rendimiento de diferentes técnicas de ML, especialmente en la adaptación de protocolos de adquisición para mejorar la calidad diagnóstica y la reducción de la dosis de radiación es esencial para la seguridad del paciente y la eficacia del diagnóstico en EM.

Asimismo, Fernández, (2024) subraya la viabilidad clínica de la IA en el análisis de imágenes médicas en entornos clínicos reales, considerando tanto los beneficios como los desafíos éticos y técnicos y su aplicabilidad clínica, para mejorar la calidad diagnóstica en la EM, permitiendo una evaluación más precisa y eficiente de las lesiones.

Por su parte, Llufríu, (2024), evidencia los avances recientes en la aplicación de IA en la esclerosis múltiple, destacando cómo estas tecnologías admiten una evaluación más precisa y rápida de las imágenes médicas, lo que mejora el seguimiento y tratamiento del paciente, contribuyendo a una mejor calidad diagnóstica en la práctica clínica.

Del mismo modo, Law et al., (2019) ofrecen evidencia específica sobre un modelo predictivo basado en aprendizaje automático para la esclerosis múltiple progresiva secundaria, demostrando cómo los algoritmos pueden personalizarse para adaptarse a características individuales del paciente, permitiendo una predicción más precisa de la progresión de la enfermedad y la personalización del tratamiento. Este enfoque es directamente aplicable a la EM, donde la variabilidad entre pacientes requiere estrategias de tratamiento individualizadas.

Entonces, con el análisis realizado, se pudo evidenciar cómo la implementación de Inteligencia Artificial (IA) y Aprendizaje Automático (ML) ha revolucionado el campo del diagnóstico por imágenes, ofreciendo herramientas eficaces para optimizar los parámetros de adquisición en función de los rasgos clínicos de cada paciente y el tipo de estudio requerido, además se constató que estas tecnologías no solo optiman la calidad de las imágenes

diagnósticas, sino que además permiten una reducción significativa en las dosis de radiación, lo cual implica claramente en la seguridad del paciente y en la eficiencia del flujo clínico.

Igualmente, se observó que los modelos predictivos y de procesamiento automático de imágenes están avanzando hacia una medicina más personalizada y precisa, reforzando el papel de la IA a modo de un complemento clave para el profesional de la salud. En definitiva, la sinergia entre IA y diagnóstico por imágenes marca un nuevo paradigma en la medicina moderna, y abre la puerta a futuras investigaciones orientadas a perfeccionar algoritmos, mejorar la interoperabilidad entre sistemas y potenciar la toma de decisiones clínicas asistidas por tecnología.

Estos hallazgos coinciden con los objetivos de esta investigación, al evidenciar que la IA no solo permite automatizar parámetros técnicos como el tiempo de adquisición o la secuencia utilizada, sino que además facilita un enfoque más centrado en el paciente. Esta personalización tiene implicaciones directas en la mejora del flujo de trabajo, la precisión del diagnóstico y la calidad de vida del paciente. En conjunto, estos estudios confirman la relevancia, la oportunidad y el impacto potencial de implementar soluciones basadas en IA en el diagnóstico por imágenes de EM.

En síntesis, la revisión realizada valida empírica y teóricamente que la aplicación de IA y ML en la optimización de parámetros de imagen representa un avance significativo hacia una medicina más eficiente, segura y personalizada. Estos resultados fortalecen la base conceptual y metodológica de la presente investigación y abren nuevas líneas para el desarrollo clínico e investigativo futuro.

## Conclusiones

La presente investigación se propuso explorar, desde un enfoque cualitativo y mediante una revisión sistemática y exhaustiva de la literatura científica, el papel de la Inteligencia Artificial (IA) y el Aprendizaje Automático (AA/ML) en la optimización de los parámetros de adquisición de imágenes médicas, con énfasis en su aplicación en la Resonancia Magnética (RM) para el diagnóstico y seguimiento de la Esclerosis Múltiple (EM). El objetivo fue analizar cómo estas tecnologías emergentes pueden ajustarse automáticamente a las características específicas del paciente y del estudio, mejorando así la calidad diagnóstica y reduciendo la exposición innecesaria a radiación, cuando aplica.

A partir del análisis de la literatura comprendida entre 2013 y 2024, se evidenció un creciente cuerpo de investigaciones que enfatizan el potencial transformador de la IA en el campo del diagnóstico por imágenes. Se identificaron múltiples beneficios derivados de la aplicación de algoritmos inteligentes, entre ellos la mejora sustancial de la calidad de imagen, la eficacia en los procesos de adquisición y la reducción de dosis, especialmente en modalidades que utilizan radiación ionizante. La personalización de parámetros como el voltaje, la corriente del tubo, el tiempo de exposición o la colimación, a través de técnicas de IA, permite aplicar los protocolos a las necesidades clínicas individuales de los pacientes, lo que representa un avance hacia una medicina más precisa y centrada en el paciente.

Estudios clave como los de Zhao et al., (2021), Rojas et al., (2024) y Fernández (2024) muestran cómo la IA puede aplicarse eficazmente tanto en contextos experimentales como clínicos para mejorar la calidad diagnóstica y operativa. Por otro lado, investigaciones enfocadas en EM, como las de Llufríu (2024) y Law et al., (2019), aportan evidencia concreta sobre el uso

de la IA para la segmentación, el seguimiento longitudinal y la predicción de progresión de la enfermedad, resaltando su valor clínico en condiciones neurológicas complejas.

Bajo este enfoque, la computación en la nube aparece como una aliada estratégica para la implementación de soluciones basadas en IA, permitiendo el procesamiento y análisis de grandes volúmenes de datos, facilitando el acceso remoto y promoviendo la colaboración interdisciplinaria a escala global.

Sin embargo, también se identificaron importantes desafíos que deben ser considerados para una implementación segura y ética. Entre estos se encuentran la transparencia algorítmica, la calidad y diversidad de los datos de entrenamiento, la protección de la privacidad del paciente y la necesidad de supervisión profesional. Superar estas barreras requiere de una gobernanza adecuada, marcos regulatorios robustos y formación continua del personal de salud.

En síntesis, la IA y el AA constituyen herramientas con un enorme potencial para transformar el diagnóstico por imágenes y, particularmente, el manejo de la EM mediante la RM. La optimización automatizada de los parámetros de adquisición no solo mejora la calidad diagnóstica y reduce la exposición innecesaria, sino que también permite avanzar hacia un enfoque más personalizado en la atención médica. Las futuras líneas de investigación deberían orientarse a perfeccionar los modelos predictivos, garantizar su interoperabilidad en entornos clínicos reales, abordar los aspectos éticos pendientes y expandir las aplicaciones de la IA en el monitoreo y tratamiento individualizado de los pacientes, consolidando su papel como un soporte clave en la medicina moderna.

## **Recomendaciones**

A partir de los hallazgos resultados del análisis de esta indagación, se plantean las siguientes recomendaciones para avanzar en la aplicación efectiva de la Inteligencia Artificial (IA) y el Aprendizaje Automático (AA) en la optimización de parámetros de imagen, especialmente en estudios de Resonancia Magnética (RM) aplicados al diagnóstico y seguimiento de la Esclerosis Múltiple (EM):

**Fomentar la Investigación Interdisciplinaria:** dada la naturaleza multidisciplinaria de la optimización de parámetros de imagen con IA, se recomienda promover la colaboración continua entre radiólogos, físicos médicos, ingenieros informáticos y expertos en inteligencia artificial. Esta sinergia es crucial para el desarrollo, la validación clínica y la implementación efectiva de algoritmos de IA en la práctica radiológica.

**Desarrollar y Validar Algoritmos Específicos para la Esclerosis Múltiple:** se recomienda priorizar el desarrollo y la validación de algoritmos de IA diseñados específicamente para optimizar los parámetros de adquisición de imágenes de RM en pacientes con esta enfermedad. Estos algoritmos deben considerar la variabilidad de las lesiones, las secuencias específicas utilizadas y las necesidades de diagnóstico y seguimiento a largo plazo.

**Crear Bases de Datos Diversas y de Alta Calidad:** para garantizar la robustez y la generalización de los algoritmos de IA, es fundamental invertir en la creación de bases de datos de imágenes médicas amplias, diversas y de alta calidad. Estas bases de datos deben incluir datos de diferentes tipos de escáneres, poblaciones de pacientes y centros de salud, minimizando así los posibles sesgos y mejorando la aplicabilidad clínica de los modelos de IA.

**Establecer Marcos Regulatorios y Éticos Claros:** conforme la IA se integra más en la práctica médica, es crucial desarrollar marcos regulatorios y éticos claros que aborden aspectos

como la transparencia de los algoritmos, el compromiso en la toma de decisiones asistida por IA, la protección de la privacidad del paciente y la seguridad de los datos. Estos marcos deben fomentar la innovación responsable y garantizar la tranquilidad y confianza de los profesionales de la salud y los pacientes en las tecnologías emergentes.

**Promover la Formación y la Educación en IA para Profesionales de la Salud:** Para facilitar la adopción y el uso efectivo de la IA en la imagenología médica, es fundamental financiar programas de formación y educación dirigidos a radiólogos, técnicos radiólogos y otros profesionales de la salud. Estos programas deben cubrir los fundamentos de la IA, las aplicaciones específicas en la optimización de imágenes y la interpretación de los resultados generados por los algoritmos.

**Fomentar la Investigación en la Optimización en Tiempo Real y Adaptativa:** Se recomienda impulsar la investigación en algoritmos de IA que puedan optimizar los parámetros de adquisición de imágenes en tiempo real y de forma adaptativa, ajustándose dinámicamente a las características específicas del paciente y a la información obtenida durante el propio escaneo. Esto podría conducir a exámenes más eficientes, personalizados y con menor exposición a la radiación.

**Explorar la Integración de la IA con la Tecnología de la Nube:** Dada la capacidad de la nube para el almacenamiento y procesamiento de grandes volúmenes de datos, se recomienda seguir explorando y optimizando la integración de los algoritmos de IA con las plataformas de almacenamiento y análisis en la nube. Esto facilitará la colaboración, el acceso remoto a las herramientas de IA y la escalabilidad de las soluciones.

**Realizar Estudios de Validación Clínica a Gran Escala:** Es fundamental llevar a cabo estudios de validación clínica a gran escala en entornos reales para valorar el impacto de los

algoritmos de IA en la optimización de parámetros de imagen en términos de mejora de la calidad diagnóstica, reducción de la dosis de radiación, eficiencia del flujo de trabajo y resultados clínicos para los pacientes.

**Investigar la Percepción y la Aceptación de la IA por Parte de los Pacientes:** Es importante investigar las percepciones y el nivel de aceptación de los pacientes hacia el uso de la IA en sus exámenes de imagenología. Comprender sus inquietudes y expectativas puede ayudar a diseñar e implementar estas tecnologías de manera más efectiva y ética.

**Desarrollar Herramientas de Interoperabilidad:** Se recomienda trabajar en el desarrollo de herramientas y estándares que promuevan la interoperabilidad entre los diversos sistemas de IA y los equipos de imagenología existentes en los centros de salud. Esto permitirá una integración más fluida y eficiente de las soluciones apoyadas en IA en el flujo de trabajo clínico.

### Referencias Bibliográficas

- Acosta, J. & Orellana, A. (2023). Aplicación Android para la visualización y transferencia de estudios imagenológicos DICOM desde la nube. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 17(4). [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2227-18992023000400006&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2227-18992023000400006&lng=es&tlng=es)
- Ahmed, T., Kawamoto, S., Hruban, R., Fishman, E., Soyer, P. & Chua, C. (2023). Introducción a la inteligencia artificial en la obtención de imágenes pancreáticas. *Elsevier*. 104 (9) 435-447. <https://doi.org/10.1016/j.diii.2023.03.002>
- Almojadah, T., Alnowimi, M., Banoqitah, E. & Alkhateeb, S. (2023). Tasas de repetición de radiografías digitales y su efecto sobre la dosis al paciente. *Radiation Physics and Chemistry* 210, 110991. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2023.110991>
- Arboleda, K., Botina, M., Muñoz, V. & Rodríguez, L. (2024). *Propuesta de un protocolo para optimizar la dosis de radiación durante la práctica en radiología convencional*. [Repositorio Institucional de la UNAD]. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/60574/1/erodriguezpo.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Arias, S., Vargas, L., Di Gionantonio, A., Arch, D., Serrano, D., Navarro, M., Hernández, N., Sosa, P. & Ambrogio, E. (2018). *Seguridad en la nube: almacenamiento de imágenes médicas y watermarking*. *Repositorio Institucional de la Universidad de la Plata*. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/68386>
- Axial ERP. (2022). *Beneficios y riesgos de la computación en la nube en el sector de la salud*. [Axial ERP]. <https://axial-erp.co/erp/beneficios-y-riesgos-de-la-computacion-en-la-nube-en-el-sector-de-la-salud/>

- Aymerich, F. (2011). *Detección de lesiones pequeñas de esclerosis múltiple en imágenes de resonancia magnética mediante la aplicación de técnica difusas*. [Tesis, Universidad Politecnica de Catalunya]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=237919>
- Belzunce, M. (2024). *Cómo la IA está revolucionando las imágenes médicas: aplicaciones, riesgos y desafíos*. ISSN 1853-8819. Voces en el Fénix. <https://vocesenelfenix.economicas.uba.ar/como-la-ia-esta-revolucionando-las-imagenes-medicas-aplicaciones-riesgos-y-desafios/>
- Bernejo, P., Blasco, M. & García, A. (2011). Esclerosis múltiple. Criterios diagnósticos y pruebas complementarias. *Fuel and Energy Abstracts* 10(75):5087-5093 [http://dx.doi.org/10.1016/S0304-5412\(11\)70059-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-5412(11)70059-2)
- Bermúdez, S. (2022). La inteligencia artificial aplicada a la obtención de imágenes en resonancia magnética en neurorradiología. *Revista Colombiana de Radiología*; 33(1): 5688 <https://rcr.acronline.org/index.php/rcr/article/view/356/410>
- Bhandari, A. (2024). Revolutionizing Radiology With Artificial Intelligence. *Cureus*. 16(10); e72646, doi: 10.7759/cureus.72646
- Brieva, L. (2021). *Tomografía de coherencia óptica en la esclerosis múltiple*. [CONLAEM]. <https://www.conlaem.es/actualidad/tomografia-coherencia-optica>
- Carretero, J., Bowakim, W. & Acebes, M. (2001). Actualización: esclerosis Múltiple. *Medifam*, 11(9), 30-43. [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1131-57682001000900002&lng=es&tlng=pt](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1131-57682001000900002&lng=es&tlng=pt).
- Cerrato, A., Coulson, A., Chávez, F., Díaz, W., Duarte, O., García, L., Giroud, J., Guadamuz, A., Hernández, J., Martínez, J., Sirias, A., Vega, K. & Zamora, M. (s.f.). *Guía de Esclerosis Múltiple. Cámara Nicaraguense de Ciencias Neurológicas. Capítulo 5. Diagnóstico*

- Diferencial de la Esclerosis Múltiple*. [https://focem.org/wp-content/uploads/2019/10/Gu%C3%ADa-Esclerosis-Multiple\\_Nicaragua\\_Camara-Nicarag%C3%BCense-de-Ciencias-Neurologicas\\_compressed.pdf#page=42](https://focem.org/wp-content/uploads/2019/10/Gu%C3%ADa-Esclerosis-Multiple_Nicaragua_Camara-Nicarag%C3%BCense-de-Ciencias-Neurologicas_compressed.pdf#page=42)
- Chapa, J. (2024). *Las neuroimágenes en la Esclerosis Múltiple (EM)*. [Medicina Salud Pública.Revitamp.com]. <https://medicinaysaludpublica.com/especiales/esclerosis-multiple/las-neuroimagenes-en-la-esclerosis-multiple-em/9099>
- Consejo de Seguridad Nuclear. (s.f.). *Protección radiológica*. <https://www.csn.es/proteccion-radiologica>
- Egli, B. (s.f.). *The impact of AI and Machine Learning in Digital Healthcare & Personalised Medicine*. [Laurence Simon]. <https://laurencesimons.com/news-insights/the-impact-of-ai-and-machine-learning-in-digital-healthcare-personalised-medicine/>
- Febles, G. (s.f.). *Aplicaciones de la inteligencia artificial en imagenología. Revisión de conceptos, aplicaciones y consecuencias*. <https://www.sriuy.org.uy/ojs/index.php/Rdi/article/download/53/70?inline=1>
- Fernandez, D. (2024). *Inteligencia artificial y análisis de imágenes médicas*. 4D Medica. <https://4dmedica.ai/inteligencia-artificial-y-analisis-de-imagenes-medicas/>
- Fonseca, A. & Pina, C. (2015). *Propuesta para un sistema para el respaldo de imágenes médicas en el Sistema de Adquisición, Almacenamiento, Transmisión y Visualización de Imágenes Médicas*. [Trabajo de Diploma Universidad de las Ciencias Informáticas]. [https://repositorio.uci.cu/jspui/bitstream/123456789/7135/1/TD\\_07943\\_15.pdf](https://repositorio.uci.cu/jspui/bitstream/123456789/7135/1/TD_07943_15.pdf)
- Georgiou, M. F., Nielsen, J. A., Chiriboga, R., & Kuker, R. A. (2024). An artificial intelligence system for optimizing radioactive iodine therapy dosimetry. *Journal of Clinical Medicine*, 13(1), 117. <https://doi.org/10.3390/jcm13010117>

- Giraud, P. & Bibault, J. (2024). Inteligencia artificial en radioterapia: aplicaciones actuales y tendencias futuras. *Elsevier. Diagnostic and Interventional Imaging* 105 (12) 475-480.  
<https://doi.org/10.1016/j.diii.2024.06.001>
- González, M. & Martínez, D. (2020). Dilemas éticos en el escenario de la inteligencia artificial. *Economica y Sociedad*, 25(57), 1-18. <https://doi.org/10.15359/ey.25-57.5>
- Guadarrama, P., Regalado, X., Castillo, C. & Ángeles, M. (2014). Esclerosis Múltiple: enfermedad neurológica de alto impacto social: de vuelta al antiguo tratamiento. *Revista de la Facultad de Medicina (México)* 57 (6)  
[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0026-17422014000600005](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0026-17422014000600005)
- Guzmán, C. & Vega, D. (2014). Sistema de almacenamiento y transmisión de imágenes médicas, versión 3.0. *Revista Cubana de Informatica Médica* 6(1)17-23  
[https://www.researchgate.net/publication/317520477\\_Sistema\\_para\\_el\\_almacenamiento\\_y\\_transmision\\_de\\_imagenes\\_medicas\\_version\\_30](https://www.researchgate.net/publication/317520477_Sistema_para_el_almacenamiento_y_transmision_de_imagenes_medicas_version_30)
- Hanneman, K., Playford, D., Dey, D., Van, M., Mastrodicasa, D., Cook, T., Wawira, J., Williamson, E., Rubin, G. (2024). Value Creation Through Artificial Intelligence and Cardiovascular Imaging: A Scientific Statement From the American Heart Association. *American Heart Association. Circulation*. 149 (6)  
<https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000001202>
- Hernández, F. (s.f.). *Desarrollo e implementación de un software libre para la optimización del flujo y visualización de imágenes de rayos x en plataforma web para uso en Tecnovida diagnóstico por imágenes S.A.S.* [Programa de Ingeniería Física Universidad Tecnológica

- de Pereira]. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/262528a1-18ac-4321-914c-6c4cc26bc8c4/content>
- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2006). *Metodología de la investigación*. (4a ed.). McGrawHill.  
<http://187.191.86.244/rceis/registro/Metodolog%C3%ADa%20de%20la%20Investigaci%C3%B3n%20SAMPLERI.pdf>
- Icoba. (2024). *Esclerosis Múltiple: Criterios Diagnósticos, Estadios y Pruebas*. [Mayo Clinic].  
<https://www.mayoclinic.org/es/diseases-conditions/multiple-sclerosis/diagnosis-treatment/drc-20350274>
- Iglesias, D. (2023). Impacto de la Inteligencia Artificial en la Radiología. *Revista Cubana de Informática Médica* 15 (1) [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1684-18592023000100013](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1684-18592023000100013)
- InnovaciónDigital360. (01 Jun 2022). *Desafíos para implementar la nube en la Salud*. [Network360]. <https://www.innovaciondigital360.com/cloud/desafios-para-implementar-la-nube-en-la-salud/>
- Instituto Nacional del Cáncer. (2022). *¿Sirve la inteligencia artificial para ver el cáncer de formas nueva y más eficaces?*. <https://www.cancer.gov/espanol/noticias/temas-y-relatos-blog/2022/inteligencia-artificial-imagenes-cancer>
- Jiménez, A., Karami, R., Nieto, P., Cotrino, H. & Bohorquéz, B. (2022). La era de la inteligencia artificial radiológica. *Scientific & Education Medical Journal*, 5(2).  
<https://medicaljournal.com.co/index.php/mj/article/download/87/191>
- Jiménez, H. & González, J. (2020). *Factores asociados a esclerosis Múltiple recurrente remitente de alta actividad en población clínica de Medellín*. [Maestría Universidad del

- Rosario]. <https://repository.urosario.edu.co/server/api/core/bitstreams/97dc61ee-2af3-4a22-8d76-c5c7cd465f3a/content>
- Kaunzner, U. & Gauthier, S. (2017). MRI in the assessment and monitoring of multiple sclerosis: an update on best practice. *Ther Adv Neurol Disord.*;10(6):247-261. doi: 10.1177/1756285617708911
- Kjelle, E. & Chilanga, C. (2022). La evaluación de la calidad de la imagen y el valor diagnóstico en imágenes de rayos X: una encuesta sobre las razones de los radiólogos para rechazar imágenes. *Insights into Imaging*, 13(1), 1-9. <https://doi.org/10.1186/s13244-022-01169-9>
- Law, M., Traboulsee, A., Tam, R., Li, D., Carruthers, R., Freedman, M. & Kolind, S. (2019). Aprendizaje automático en la esclerosis múltiple progresiva secundaria: un modelo predictivo mejorado para la progresión de la discapacidad a corto plazo. *Multiple Sclerosis Journal*, 25(14), 1927-1937. <https://doi.org/10.1177/2055217319885983>
- Llufriu, S. (2024). *Avances en inteligencia artificial aplicada a la esclerosis múltiple*. [Sanofi]. <https://pro.campus.sanofi/es/esclerosis-multiple/articulos/avances-inteligencia-artificial-esclerosis-multiple>
- Loncarci, F., Camara, O., Piella, G. & Bijmens, B. (2021). La integración de la inteligencia artificial en el abordaje clínico del paciente: enfoque en la imagen cardíaca. *Revista Española de Cardiología*. 74(1), 72-80 <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2020.07.012>
- López, R. (2023). *El papel de la Inteligencia Artificial en el diagnóstico de Esclerosis Múltiple*. [Conlaem]. <https://www.conlaem.es/actualidad/inteligencia-artificial-diagnostico-esclerosis-multiple>

- Lubinus, F., Rueda, C., Marconi, B. & Arias, Y. (2021). Redes neuronales convolucionales: un modelo de Deep Learning en imágenes diagnósticas. Revisión de tema. *Revista Colombiana de Radiología*; 32(3). 5591-9 <https://doi.org/10.53903/01212095.161>
- Lucena, M. (2024). *Diagnóstico por Imágenes Asistido por Inteligencia Artificial: Una Revolución en la Medicina*. [Radiología Uno]. <https://radiologia.uno/diagnostico-por-imagenes-e-inteligencia-artificial/>
- Machacado, A. & Aparicio, L. (2021). Técnicas de inteligencia artificial aplicadas al análisis de imágenes diagnóstico. *Eco matemático*, 12 (2), 100-111. <https://revistas.ufps.edu.co/index.php/ecomatematico/article/view/3237/4278>
- Marín, J. & Lucini, G. (2021). *Inteligencia Artificial en radiología*. [Trabajo de Grado, Universidad de Extremadura]. [https://dehesa.unex.es/bitstream/10662/12503/1/TFGUEX\\_2021\\_Marin\\_Rodriguez.pdf](https://dehesa.unex.es/bitstream/10662/12503/1/TFGUEX_2021_Marin_Rodriguez.pdf)
- Martinez MC, Ramos O, Luna IM, Arrieta E. Revisión de la esclerosis múltiple (1). A propósito de un caso. *Semergen*, 41(5), 276-280 <https://doi.org/10.1016/j.semerng.2014.08.004>
- Montalban X, Gold R, Thompson AJ, Otero-Romero S, Amato MP, Chandraratna D, et al. (2018)ECTRIMS/EAN Guideline on the pharmacological treatment of people with multiple sclerosis. *Mult Scler J* 24 (2): 96-120. <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1352458517751049>
- Muscovsky, R. (s.f.). *Características de la Inteligencia Artificial para emplear de inmediato en la radiología*. [Carestream Blog]. <https://www.carestream.com/blog/2021/04/07/caracteristicas-de-la-inteligencia-artificial-para-emplear-de-inmediato-en-la-radiologia/>

- Nasar, A., Insha, Z., Nasrul, H., Syed, M., Senthilkumar, V., Filious, L., Laila P., Ramandeep, R., Nitesh K., Mirela, C. & Shailendra, G. (2024). Artificial neural network-based prediction of multiple sclerosis using blood-based metabolomics data. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*, 92, 105942. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2024.105942>
- Nichols, R. (s.f.). *Reducción de exposición y dosis en la radiología médica*. [Carestream Blog]. <https://www.carestream.com/blog/2023/11/07/reduccion-de-exposicion-y-dosis-en-la-radiologia-medica/>
- Noguerol, T., Paulano, F., Martín, M., Menias, C. & Luna, A. (2019). Análisis de fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas de aplicaciones de inteligencia artificial y aprendizaje automático en radiología. *Journal of the American College of Radiology*, 16(9), 1239-1247. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2019.04.031>
- Noreña, T. & Romero, E. (2013). Compresión de imágenes médicas. *Biomédica*, 33 (1), 137-151. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-41572013000100017](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-41572013000100017)
- Núñez, E. (2023). Guías diagnósticas y terapéuticas de esclerosis múltiple y NMOSD en el ISSSTE. *Revista de Neurología, Neurocirugía y Psiquiatría*. 51(2), 40-41. <https://www.medigraphic.com/pdfs/revneuneupsi/nnp-2023/nnp232a.pdf>
- Parada, O., Quintero, J., Quintero, J., Cetina, J. & Carvajal, E. (s.f.). *El futuro de la Inteligencia Artificial en la identificación e interpretación de imágenes diagnósticas*. [E.S.E. Hospital Universitario Erasmo Meoz]. <https://herasmomeoz.gov.co/wp-content/uploads/2024/03/PROYECTO-17.pdf>
- Pérez, A. (2024). *El 70% de los nuevos casos diagnosticados de Esclerosis Múltiple corresponden a personas entre 20 y 40 años*. Sociedad Española de Neurología <https://www.sen.es/saladeprensa/pdf/Link204.pdf>

- Philips. (2021). *IA para una dosis significativamente menor y una mejor calidad de imagen*.  
<https://www.philips.com/c-dam/b2bhc/ar/resources/landing-pages/ct-launch/incisive-ct-precise-image-spanish.pdf>
- Puentes, G., Salinas, E. & Triana, G. (2022). Inteligencia artificial y radiología: la disrupción tecnológica en la transformación de un paradigma. *Revista Medicina*, 43(4), e1648.  
<https://doi.org/10.18359/rmed.1648>
- Rodas, A., Asenjo, B., Nagib, F., Vidal, M., Rebolledo, N. & Leal, P. (2018.). *Esclerosis Múltiple: rol de la RM en el diagnóstico*. <https://piper.espacioseram.com/index.php/seram/article/download/2415/1193>
- Rodrigo, F., Graffigna, J. & Isoardi, R. (2013). *Segmentación de lesiones de Esclerosis Múltiple en imágenes de RM de alto campo*. [Repositorio Institucional del Centro Atómico Bariloche y el Instituto Balseiro]. <https://core.ac.uk/reader/80819140>
- Rodríguez, C., (2018). *El método AI reduce la dosis de radiación, acelera los tiempos de escaneo*. <https://es.linkedin.com/pulse/el-m%C3%A9todo-ai-reduce-la-dosis-de-radiaci%C3%B3n-acelera-los-rodr%C3%ADguez>
- Rojas, A., Camargo, E., Patarroyo, E., Torres, K. & Castaño, M. (2024). *Optimización de parámetros en tomografía computarizada con inteligencia artificial: comparativa de algoritmos para mejorar imagen y reducir radiación*. [Trabajo de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD].  
<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/65290/KarenMilenaTorresJoya.pdf?sequence=1>
- Singh, S., Sarrami, A., Gatidis, S., Varniab, Z., Chaudhari, A. & Daldrup, H. (2024). *Aplicaciones de la Inteligencia Artificial para la Imagen del cáncer pediátrico*. CB

SERAM. <https://cbseram.com/2024/10/15/aplicaciones-de-la-inteligencia-artificial-para-la-imagen-del-cancer-pediatrico/>

Sobrado, S. (2020). *Análisis del impacto de la implementación de recomendaciones para la solicitud de tomografía computarizada cerebral en los servicios de urgencias hospitalarios ante el motivo de consulta síncope y cefalea*. [Tesis de maestría, Universidad del País Vasco].

[https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/51986/TESIS\\_BENITO\\_SOBRADO\\_SARA%20de.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/51986/TESIS_BENITO_SOBRADO_SARA%20de.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Vázquez, L., Hidalgo, C., Beltrán, B., Broche, Y., & Mederos, A. (2021). Perfil epidemiológico, clínico e imagenológico de la esclerosis múltiple. *MediSur*, 19(6), 948-958.

[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1727-](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-)

[897X2021000600948&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-897X2021000600948&lng=es&tlng=es)

Vázquez, M., Sarrias, E., García, M., Martín, R. & Izquierdo, G. (2020). Revisión sistemática de la aplicación de algoritmos de machine learning en la esclerosis múltiple. *Neurología*, 35(9). <https://www.elsevier.es/es-revista-neurologia-295-avance-resumen-revision-sistemica-aplicacion-algoritmos-machine-S021348532030431X>

Visionplatform. (2024). *Entendiendo el reconocimiento de imágenes: algoritmos, aprendizaje automático y usos*. <https://visionplatform.ai/es/entendiendo-el-reconocimiento-de-imagenes-algoritmos-aprendizaje-automatico-y-usos/>

Yaman, A., Durmaz, N., Ozben, S. & Yatmazoglu, M. (2025). Inteligencia artificial versus neurólogos: un estudio comparativo sobre la experiencia en esclerosis múltiple. *Clinical Neurology and Neurosurgery*, 233, 107886.

<https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2025.107886>

Zhao, W., Shen, L., Islam, T., Qin, W., Zhang, Z., Liang, X., Zhang, G., Xu, S. & Li, X. (2021).

Inteligencia Artificial en radioterapia por imágenes: una revisión de la localización de objetivos de tratamiento. *Radiation Oncology*, 16(1), 222. <https://doi.org/10.1186/s13014-021-01957-y>