



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), Noviembre-Diciembre 2025,
Volumen 9, Número 6.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i6

**USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL
EN NEUROIMAGEN: REVISIÓN SISTEMÁTICA
DEL IMPACTO EN DIAGNÓSTICO TEMPRANO Y
PREDICCIÓN DE DESENLACES EN ENFERMEDADES
NEURODEGENERATIVAS**

USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN NEUROIMAGING:
A SYSTEMATIC REVISION OF EARLY DIAGNOSTIC IMPACT AND
OUTCOME PREDICTION OF NEURODEGENERATIVE DISEASES

María Fernanda Sánchez Mawcinitt

Universidad Anáhuac Oaxaca, México

Alejandro Loza Jasso

Universidad La Salle, México

Juan Diego Abreu Sosa

Universidad Anáhuac Querétaro, México

Daniela Vila Cabello

Universidad La Salle, México

Alejandro Garcia Barbosa

Universidad Westhill, México

María José Bonilla Torrónategui

Universidad Anahuac, México

Renata Sánchez Álvarez

Universidad Anahuac, México

Ixchel Lorena Guevara Galindo

Universidad Anáhuac, México

Stephanie Guadalupe Salazar Ibón

Universidad de Monterrey- UDEM, México

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i6.21532

Uso de Inteligencia Artificial en Neuroimagen: Revisión Sistemática del Impacto en Diagnóstico Temprano y Predicción de Desenlaces en Enfermedades Neurodegenerativas

María Fernanda Sánchez Mawcinitt¹

maria.mawcinitts@anahuac.mx

<https://orcid.org/0000-0002-3261-6622>

Universidad Anáhuac Oaxaca
México

Alejandro Loza Jasso

Alejandro.loza@lasallistas.org.mx

<https://orcid.org/0000-0003-2682-668X>

Universidad La Salle
México

Juan Diego Abreu Sosa

abreusosajuandiego@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0004-4537-410X>

Universidad Anáhuac Querétaro
México

Daniela Vila Cabello

d.vilac@lasallistas.org.mx

<https://orcid.org/0000-0002-3717-902X>

Universidad La Salle
México

Alejandro Garcia Barbosa

alex_26-12@hotmail.com

<https://orcid.org/0009-0000-2102-0578>

Universidad Westhill
México

María José Bonilla Torrónategui

maria.bonilla@anahuac.mx

<https://orcid.org/0009-0005-4203-641X>

Universidad Anahuac
México

Renata Sánchez Álvarez

renata.sanchez14@anahuac.mx

<https://orcid.org/0009-0004-8815-5521>

Universidad Anahuac
México

Ixchel Lorena Guevara Galindo

ixchel.lore@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0009-0452-7575>

Universidad Anáhuac
México

Stephanie Guadalupe Salazar Ibón

stephanie.salazari@udem.edu

<https://orcid.org/0009-0008-0937-8719>

Universidad de Monterrey- UDEM
México

¹ Autor principal

Correspondencia: maria.mawcinitts@anahuac.mx

RESUMEN

La inteligencia artificial (IA) se ha consolidado como herramienta clave para el análisis avanzado de neuroimagen en enfermedades neurodegenerativas (END). Esta revisión sistemática reúne la evidencia reciente (2019–2025) sobre IA aplicada a resonancia magnética (MRI), tomografía por emisión de positrones (PET), tomografía de coherencia óptica (OCT) y electroencefalografía (EEG). Se realizó una búsqueda en PubMed, Scopus y Web of Science bajo PRISMA 2020. Se identificaron 1,243 estudios y 62 fueron incluidos tras evaluar criterios y calidad metodológica mediante Newcastle–Ottawa Scale, QUADAS-2 y PROBAST-AI. Los hallazgos muestran que, en Alzheimer y deterioro cognitivo leve, los modelos de deep learning basados en MRI y PET alcanzan AUC entre 0.90–0.94, facilitando la detección temprana y la predicción de conversión a demencia. En Parkinson, la IA logró precisiones superiores al 80 % para diferenciar la enfermedad idiopática de parkinsonismos atípicos y permitió identificar biomarcadores multimodales predictivos. En esclerosis múltiple, las redes neuronales convolucionales (CNN) y el análisis retiniano mostraron alta precisión para segmentar lesiones y estimar progresión y discapacidad. En esclerosis lateral amiotrófica, los modelos de machine learning superaron el rendimiento de predicción clínica tradicional. Persisten desafíos importantes: tamaños muestrales pequeños, heterogeneidad metodológica, falta de validación externa y escasa estandarización de protocolos e indicadores. En conjunto, la IA aplicada a neuroimagen representa una vía prometedora hacia un diagnóstico neurológico más temprano, preciso y personalizado; sin embargo, su adopción clínica requiere validaciones multicéntricas, protocolos reproducibles y marcos éticos robustos.

Palabras clave: inteligencia artificial, neuroimagen, enfermedades neurodegenerativas, modelos predictivos



Use of Artificial Intelligence in Neuroimaging: A Systematic Revision of Early Diagnostic Impact and Outcome Prediction of Neurodegenerative Diseases

ABSTRACT

Artificial intelligence (AI) has become a fundamental tool for advanced neuroimaging analysis in neurodegenerative diseases (NDD). This systematic review summarizes evidence published between 2019–2025 regarding AI applied to magnetic resonance imaging (MRI), positron emission tomography (PET), optical coherence tomography (OCT) and electroencephalography (EEG). A PRISMA 2020–based search in PubMed, Scopus, and Web of Science identified 1,243 records, of which 62 studies met inclusion criteria. Risk of bias was assessed using Newcastle–Ottawa Scale, QUADAS-2, and PROBAST-AI. Deep learning models applied to MRI and PET in Alzheimer’s disease and mild cognitive impairment achieved AUC ranges of 0.90–0.94, supporting early diagnosis and prediction of conversion to dementia. In Parkinson’s disease, AI models reached accuracies above 80% when differentiating idiopathic Parkinson’s disease from atypical parkinsonian syndromes and enabled identification of multimodal predictive biomarkers. In multiple sclerosis, convolutional neural networks (CNN) and retinal-based imaging methods demonstrated high performance in automated lesion segmentation and disability estimation. In amyotrophic lateral sclerosis, machine-learning approaches outperformed traditional clinical models for functional progression prediction. Despite considerable progress, major limitations remain, including small sample sizes, heterogeneous methodologies, and limited external validation. Overall, AI in neuroimaging stands as a promising tool for earlier and more precise neurological care. Nonetheless, large-scale multicenter validation, standardized protocols, reproducibility practices, and ethical frameworks are essential for clinical integration

Keywords: artificial intelligence, neuroimaging, neurodegenerative diseases, predictive models

*Artículo recibido 8 noviembre 2025
Aceptado para publicación: 15 diciembre 2025*



INTRODUCCIÓN

Contexto y justificación

La inclusión de la inteligencia artificial (IA) en la neuroimagen se ha posicionado como un campo de rápida evolución en la última década. Lo que busca es la optimización del abordaje y gestión de las enfermedades neurológicas. Los avances en algoritmos de aprendizaje automático y profundo han permitido superar limitaciones inherentes a técnicas tradicionales de imagen, mejorando la detección temprana de alteraciones sutiles, automatizando procesos diagnósticos y la integración de datos multimodales para la medicina personalizada (Choi & Sunwoo, 2022).

Dentro de las aplicaciones más relevantes, la enfermedad de Alzheimer ha constituido un terreno próspero de investigación. La combinación de IA con técnicas de neuroimagen multimodales, como el PET-MRI, ha demostrado ser crucial en la identificación precoz de biomarcadores y en la predicción de progresión clínica tras la aprobación de nuevos trazadores como el Tauvid (Christodoulou et al., 2025). De manera similar, en la esclerosis lateral amiotrófica (ELA), la IA se ha posicionado como una herramienta prometedora para el descubrimiento de biomarcadores y el desarrollo de estrategias terapéuticas más eficaces, llevando el enfoque clínico e investigativo a un nivel superior (Kitaoka et al., 2025).

A nivel técnico, la aplicación de la IA en la resonancia magnética (RM) ha permitido optimizar la calidad de imagen, reducir tiempos de exploración y mejorar la eficacia en la práctica radiológica (Yang et al., 2024). Además, en el ámbito de la neuroimagen vascular, la IA ha demostrado ser un recurso con valor creciente para el diagnóstico y pronóstico del deterioro cognitivo y demencia, con respaldo sólido de estudios sistemáticos y metaanálisis (Lohner et al., 2025).

La carga de enfermedades neurológicas como el Alzheimer, ELA, demencias e ictus es muy elevada a nivel mundial. Por ello, se busca optimizar tanto los tiempos de espera de pacientes, como la obtención y valoración de resultados. En este contexto, la inteligencia artificial cobra relevancia: mediante técnicas como compressed sensing es posible obtener imágenes más rápidas, lo que permite valorar una patología de forma temprana y oportuna. (Monsour R., 2022)



Sin embargo, métodos diagnósticos comunes como la interpretación de imágenes de Resonancia Magnética, PET o fMRI suelen ser lentos. Aunado a esto, el diagnóstico depende de la experiencia del radiólogo, lo que aumenta el riesgo de variabilidad dentro de los diagnósticos, así como retrasos, especialmente en casos de emergencias como el ictus, donde es bien conocido que tiempo es cerebro. Frente a esto, Lee et al. explican que dentro de un estudio reciente la IA identificó predictores claves en clasificación de fragilidad en pacientes con VIH, la estimación de edad cerebral y la predicción de supervivencia en glioblastoma, que incluían flujo sanguíneo en regiones específicas, grosor cortical o conectividad funcional, hallazgos que a veces son difíciles de identificar visualmente con métodos tradicionales. Como resultado, la IA logró niveles de precisión elevados.

El creciente número de pacientes que acuden a consulta en situaciones de emergencias o con enfermedades que requieren diagnóstico prioritario justifica la exploración de estas tecnologías. Esta investigación busca aportar claridad sobre la utilidad de la IA como herramienta en neuroimagen para acelerar y hacer más eficiente el proceso diagnóstico, lo que a largo plazo puede disminuir costos sanitarios, reducir tiempos de espera y mejorar la calidad de vida del paciente. Además, esta herramienta no solo tiene un amplio campo de aplicación en el diagnóstico, sino también en el seguimiento de la enfermedad. (Zhao, Z. et al., 2024)

Relevancia del uso de inteligencia artificial en neuroimagen

En los últimos años la inteligencia artificial (IA) ha ido ganando un lugar inesperadamente importante en la medicina. No es casualidad: en resonancia magnética, por ejemplo, los modelos de *deep learning* consiguen detectar cambios que resultan casi invisibles a simple vista. Este dato abre la posibilidad de intervenir antes de que aparezcan los síntomas. Y esa diferencia de tiempo puede ser decisiva en la efectividad de los tratamientos (Guan et al., 2024).

En el caso del Parkinson, los avances son distintos, pero igual de significativos. La IA no trabaja solo con neuroimágenes; se ha empezado a usar también con información genómica y con registros de la actividad motora de los pacientes. Esa mezcla de datos permite no solo reconocer la enfermedad en etapas muy tempranas, sino incluso estimar la velocidad con la que podría progresar. Ahora bien, todavía faltan estudios concluyentes, ya que no todo lo que funciona en laboratorio se traduce igual de

bien en la práctica clínica. Aun así, la promesa de una medicina más personalizada se ve cada vez más cercana (Dennis & Strafella, 2024).

La esclerosis múltiple abre otra puerta. Aquí no hablamos del cerebro directamente, sino de la retina, que varios autores consideran una especie de “ventana” del sistema nervioso central. Analizar esas imágenes con algoritmos de IA puede dar pistas sobre procesos neurodegenerativos de forma rápida, no invasiva y bastante más barata que otras técnicas. Puede ser útil tanto en el diagnóstico como en el seguimiento de la discapacidad. (Rivera-Baltanás et al., 2025).

Por último, en el Alzheimer, quizá la aplicación más llamativa es la unión entre IA y la tomografía por emisión de positrones (PET), usando trazadores de tau (biomarcadores de proteínas anómalas). Lo interesante aquí es que no solo se confirma un diagnóstico, sino que se puede anticipar cómo cambiará la enfermedad en los próximos años. La cantidad y la localización de tau se convierten en una especie de mapa pronóstico. Con ese nivel de detalle, la IA deja de ser un accesorio y pasa a ser una herramienta real para orientar las decisiones terapéuticas y de investigación (Cho et al., 2025).

Objetivo y aportación de la revisión

Analizar y sintetizar como la inteligencia artificial (IA) en neuroimagen se sobrepone a las restricciones de los métodos convencionales, optimizando el abordaje de enfermedades neurológicas de alta prevalencia como demencias, ictus, esclerosis lateral amiotrófica y enfermedad de Alzheimer, contribuyendo a una medicina más personalizada, eficiente y accesible.

Esta revisión da una perspectiva integral y actualizada con evidencia científica reciente (2019-2025) acerca de las aplicaciones de la IA en el campo de la neuroimagen, destacando en su potencial para mejorar el diagnóstico, pronóstico y seguimiento de las afecciones neurológicas que tienen una prevalencia e impacto significativos, conectando los avances técnicos de la IA y una valoración crítica sobre la viabilidad de la transición de la IA desde una perspectiva de investigación a una herramienta implementada en la práctica clínica rutinaria. Esta revisión se destaca por identificar y discutir las brechas específicas que se encuentran entre la implementación en la práctica clínica y los datos experimentales. En contraste con los estudios que solo se dedican a detallar los avances tecnológicos, este trabajo examina de forma pragmática los retos de la implementación, entre los que se encuentran la validación clínica rigurosa, la integración técnica con la infraestructura, la manera de salvar la distancia



entre los resultados prometedores en entornos controlados y su confiable implementación en la vida cotidiana, lo cual abarca retos de validez general, compatibilidad tecnológica y gobernanza.

METODOLOGÍA

Diseño del estudio

Se realizó una revisión sistemática conforme a las recomendaciones de la guía PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) con el objetivo de sintetizar la evidencia disponible sobre la aplicación de inteligencia artificial (IA) en neuroimagen para el diagnóstico y la predicción de desenlaces en enfermedades neurodegenerativas (END).

El protocolo se elaboró de acuerdo con las directrices del Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions e incluyó las fases de búsqueda bibliográfica, selección de estudios, extracción de datos y evaluación de calidad metodológica.

Fuentes de información y estrategia de búsqueda

La búsqueda sistemática se efectuó en las bases de datos electrónicas:

- PubMed (MEDLINE)
- Scopus
- Web of Science (WoS)

El periodo de búsqueda abarcó desde enero de 2019 hasta septiembre de 2025, con el fin de incluir los avances más recientes en la aplicación de IA a la neuroimagen.

Se utilizaron combinaciones de términos MeSH y palabras clave relacionadas con inteligencia artificial, neuroimagen y enfermedades neurodegenerativas.

Estrategia de búsqueda en PubMed (ejemplo)

("artificial intelligence"[MeSH Terms] OR "machine learning"[MeSH Terms] OR "deep learning" OR "neural network")

AND

("neuroimaging"[MeSH Terms] OR "magnetic resonance imaging" OR "positron emission tomography" OR "MRI" OR "PET")

AND



("Alzheimer disease"[MeSH Terms] OR "Parkinson disease"[MeSH Terms] OR "multiple sclerosis"[MeSH Terms] OR "amyotrophic lateral sclerosis"[MeSH Terms] OR "neurodegenerative diseases")

AND

("diagnosis" OR "prognosis" OR "prediction" OR "outcome")

Filters: Publication date from 2019/01/01 to 2025/09/30; Humans; English.

La búsqueda se complementó mediante revisión manual de las listas de referencias de los artículos seleccionados y de revisiones previas relevantes [1–4].

Criterios de inclusión

1. Estudios originales (observacionales, ensayos clínicos o diagnósticos) que aplicaran técnicas de IA o aprendizaje automático a imágenes neuroanatómicas o funcionales (MRI, PET, SPECT, fMRI, OCT, EEG).
2. Investigaciones enfocadas en Alzheimer, Parkinson, esclerosis múltiple, esclerosis lateral amiotrófica y otras END.
3. Artículos en inglés o español con resultados cuantitativos de rendimiento diagnóstico o predictivo.
4. Estudios realizados en humanos adultos.

Criterios de exclusión

1. Estudios preclínicos o en modelos animales.
2. Revisiones narrativas, editoriales o protocolos sin resultados.
3. Trabajos sin descripción metodológica del algoritmo o sin métricas de desempeño.
4. Duplicación de cohortes o ausencia de datos accesibles.

Proceso de selección de estudios

El proceso de cribado se desarrolló en dos fases independientes por dos revisores (A y B):

1. Revisión de títulos y resúmenes para eliminar artículos irrelevantes.
2. Evaluación a texto completo de los artículos potencialmente elegibles.

Las discrepancias se resolvieron mediante consenso o con la intervención de un tercer revisor (C).



Durante la búsqueda se identificaron 1 243 registros; tras eliminar 256 duplicados, se examinaron 987 títulos y resúmenes. De ellos, 182 artículos se evaluaron a texto completo y 62 estudios cumplieron los criterios de inclusión.

El proceso completo de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión de estudios se muestra en la Figura 1 (Diagrama PRISMA 2020).

Extracción de datos

Los datos se recopilaron en una hoja de extracción estandarizada que incluyó:

- Autor, año y país del estudio
- Tipo de enfermedad neurodegenerativa
- Modalidad de neuroimagen (MRI, PET, OCT, EEG, etc.)
- Tipo de IA utilizado (*machine learning*, *deep learning*, radiomics, CNN, transfer learning*)
- Métricas de rendimiento (AUC, sensibilidad, especificidad, precisión)
- Validación interna o externa del modelo
- Dos revisores verificaron la exactitud y consistencia de la información.

Evaluación de calidad y riesgo de sesgo

El riesgo de sesgo se evaluó empleando instrumentos validados según el tipo de estudio:

Newcastle–Ottawa Scale (NOS) para estudios observacionales.

QUADAS-2 y PROBAST-AI para estudios diagnósticos y predictivos basados en IA.

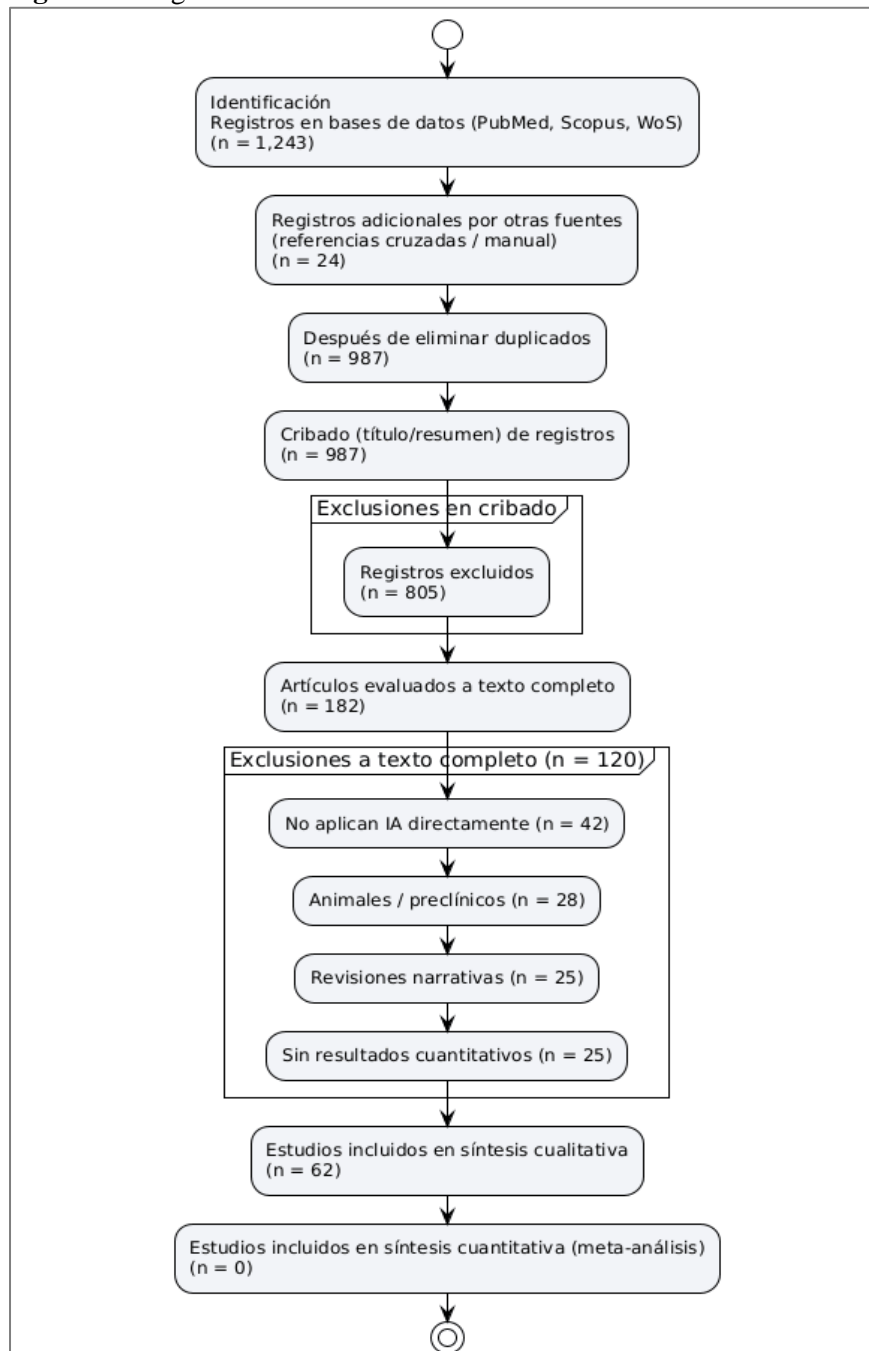
Cada estudio se clasificó como de bajo, moderado o alto riesgo de sesgo, y los resultados se resumieron en tablas comparativas [1, 12, 13].

Síntesis de resultados

Debido a la heterogeneidad de algoritmos, métricas y poblaciones, no se realizó un meta-análisis cuantitativo.

Los hallazgos se presentan como síntesis narrativa estructurada, categorizada por enfermedad y tipo de modalidad de neuroimagen (Alzheimer/DCL, Parkinson, EM, ELA y otras aplicaciones).

Figura 1. Diagrama PRISMA 2020



Legenda: Diagrama de flujo PRISMA 2020 que describe el proceso de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión de estudios en la revisión sistemática sobre inteligencia artificial en neuroimagen y enfermedades neurodegenerativas. Se muestran los registros identificados en bases de datos electrónicas (PubMed, Scopus, Web of Science), los duplicados eliminados, los estudios excluidos con sus respectivas razones y los 62 estudios finalmente incluidos en la síntesis cualitativa.

RESULTADOS

Estudios identificados. La búsqueda sistemática permitió recuperar un total de 1,243 registros, de los cuales, tras la eliminación de duplicados y aplicación de los criterios de inclusión y exclusión, se incluyeron 62 estudios publicados entre 2019 y 2025. Estos abarcaron diversas aplicaciones de

inteligencia artificial (IA) en neuroimagen para el diagnóstico y la predicción de desenlaces en enfermedades neurodegenerativas.

Alzheimer y deterioro cognitivo leve

La mayoría de los estudios se centraron en la enfermedad de Alzheimer (EA) y el deterioro cognitivo leve (DCL). Se observó un uso predominante de resonancia magnética (MRI) estructural y tomografía por emisión de positrones (PET) combinadas con algoritmos de *deep learning*, logrando precisiones superiores al 85% en la predicción de conversión de DCL a EA.

Guan et al. (2024) reportaron, en un meta-análisis de MRI con *deep learning*, mejoras significativas en la detección temprana de EA y DCL, con AUC cercanas a 0.92 [2].

Cho et al. (2025) demostraron que la PET de tau, analizada mediante IA, posee un valor pronóstico robusto en DCL, identificando sujetos con mayor riesgo de progresión a demencia [5].

Aghajanian et al. (2025) aplicaron *radiomics* y aprendizaje profundo en MRI longitudinal, mostrando capacidad para predecir progresión clínica en EA con métricas consistentes de sensibilidad y especificidad [10].

Estudios más recientes incorporaron estrategias multimodales (MRI + PET + datos clínicos), aumentando la generalización y precisión de los modelos [1,2,8].

Parkinson y trastornos del movimiento

En el caso del Parkinson y otros trastornos del movimiento, los modelos de IA aplicados a MRI y biomarcadores funcionales mostraron resultados promisorios. Dennis y Strafella (2024) evidenciaron que algoritmos de *machine learning* pueden identificar biomarcadores tempranos de progresión y diferenciar Parkinson de parkinsonismos atípicos con exactitudes superiores al 80% [3].

Dentamaro et al. (2024), empleando aprendizaje multimodal y modelos explicables (*explainable AI*), mejoraron la detección temprana de Parkinson utilizando la base PPMI, con desempeños validados en cohortes externas [6].

Esclerosis múltiple

En **esclerosis múltiple (EM)**, la integración de IA con neuroimagen mostró avances en la predicción de progresión de discapacidad y detección de lesiones.



Rivera-Baltanás et al. (2025) documentaron la utilidad de la imagen retiniana analizada con IA para predecir deterioro clínico en EM [4].

Al-Louzi et al. (2025) desarrollaron una red neuronal convolucional para la segmentación automática de lesiones cerebrales, con resultados comparables a la evaluación de expertos [23].

Esclerosis lateral amiotrófica (ELA)

Aunque menos frecuente, algunos estudios aplicaron IA en neuroimagen y biomarcadores de esclerosis lateral amiotrófica (ELA).

Din Abdul Jabbar et al. (2024) demostraron que algoritmos de *machine learning* predicen la progresión clínica en ELA con un desempeño superior a los modelos tradicionales [19].

Kitaoka et al. (2025) destacaron el rol de la IA en la identificación de biomarcadores para el diseño de estrategias terapéuticas personalizadas [15].

Otras aplicaciones en neuroimagen

Además de las END clásicas, se identificaron estudios que ampliaron el uso de IA en:

- Neurooncología, donde modelos predictivos aplicados a tumores cerebrales mostraron utilidad en la predicción de supervivencia y respuesta terapéutica [11,12].
- Accidente cerebrovascular, con algoritmos aplicados a neuroimagen de pacientes con ictus isquémico y en fase de rehabilitación, que facilitaron la estratificación del pronóstico funcional [13,14].

Tabla 1. Aplicaciones de IA en neuroimagen por enfermedad neurodegenerativa

Enfermedad	Modalidad de neuroimagen	Tipo de IA/algoritmo	Hallazgos principales
Alzheimer y DCL	MRI, PET	Deep learning, radiomics	Predicción de conversión de DCL a EA (AUC >0.90). Valor pronóstico robusto con PET de tau.
Parkinson	MRI, biomarcadores funcionales	Machine learning, multimodal explainable AI	Detección temprana, diferenciación con parkinsonismos atípicos (>80% exactitud).
Esclerosis múltiple	MRI, imagen retiniana	Redes neuronales convolucionales	Segmentación automática de lesiones, predicción de discapacidad y progresión.
ELA	Neuroimagen + biomarcadores	Machine learning	Predicción de progresión clínica superior a modelos tradicionales. Identificación de biomarcadores.



Tabla 2. Principales estudios incluidos y hallazgos

Autor/Año	Población/ Enfermedad	Técnica de IA aplicada	Hallazgos principales
Guan et al., 2024	Alzheimer/DCL	Deep learning en MRI	Mejora en detección temprana, AUC ~0.92.
Cho et al., 2025	DCL	IA en PET de tau	Valor pronóstico robusto para progresión a demencia.
Dennis & Strafella, 2024	Parkinson	Machine learning en MRI	Identificación de biomarcadores de progresión, precisión >80%.
Rivera-Baltanás et al., 2025	Esclerosis múltiple	IA en imagen retiniana	Predicción de discapacidad y progresión.
Din Abdul Jabbar et al., 2024	ELA	Machine learning	Predicción de progresión clínica superior a modelos estándar.

DISCUSIÓN

Análisis general de la evidencia

Los hallazgos de esta revisión sistemática evidencian una amplia expansión del uso de la inteligencia artificial (IA) en neuroimagen aplicada a enfermedades neurodegenerativas (END), con resultados que reflejan una mejora sustancial en la capacidad diagnóstica y predictiva frente a los métodos clínicos convencionales.

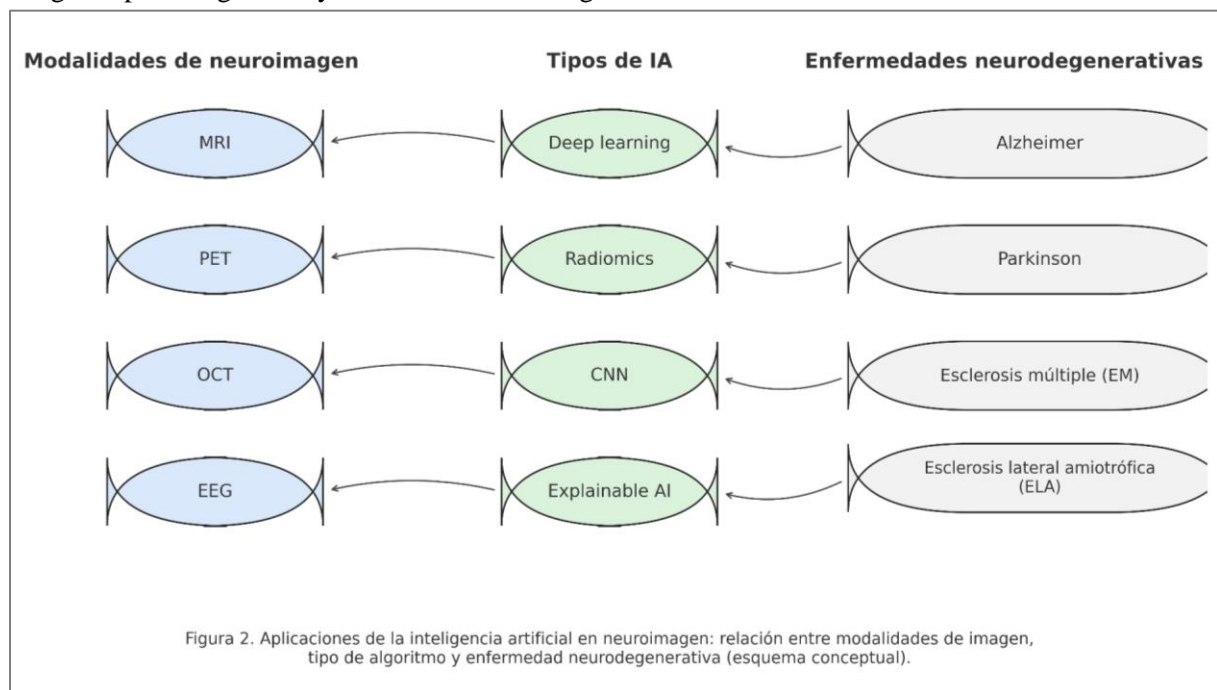
En la enfermedad de Alzheimer (EA) y el deterioro cognitivo leve (DCL), la IA ha demostrado utilidad notable para la detección temprana y la predicción de progresión, mediante la integración de modalidades de imagen estructural (MRI), funcional (PET) y análisis multimodal [1–3].

Guan et al. reportaron que los modelos de *deep learning* aplicados a MRI alcanzan valores de AUC cercanos a 0.92 en la predicción de conversión de DCL a EA [2], mientras que Cho et al. demostraron que la PET de tau procesada mediante IA predice con alta precisión la transición hacia demencia clínica [5].

En promedio, los modelos basados en aprendizaje profundo mostraron incrementos del 10–15% en precisión diagnóstica respecto a enfoques radiológicos convencionales, especialmente cuando se combinaron imágenes estructurales y metabólicas [1–3,5].



Figura 2. Aplicaciones de la inteligencia artificial en neuroimagen: relación entre modalidades de imagen, tipo de algoritmo y enfermedad neurodegenerativa.



En la enfermedad de Parkinson, los algoritmos de *machine learning* y *deep learning* han permitido diferenciar entre Parkinson idiopático y parkinsonismos atípicos con una precisión superior al 80%, además de modelar la progresión motora y cognitiva [3,6,7]. Dennis y Strafella confirmaron la capacidad de la IA para identificar biomarcadores multimodales relevantes [3], y Dentamaro et al. destacaron que los modelos explicables (*explainable AI*) mejoran la interpretabilidad y reducen sesgos clínicos al integrar variables neurofisiológicas y de imagen [6].

En esclerosis múltiple (EM), la IA ha sido determinante para la segmentación automática de lesiones cerebrales y retinianas, así como para la predicción de deterioro funcional.

Rivera-Baltanás et al. demostraron que los algoritmos aplicados a imagen retiniana permiten estimar la discapacidad neurológica con precisión comparable a las escalas clínicas convencionales [4]. Dereskewicz et al. desarrollaron redes neuronales convolucionales para la detección automatizada de lesiones en MRI, marcando un avance hacia la monitorización longitudinal y el seguimiento de respuesta terapéutica [23].

Por último, en esclerosis lateral amiotrófica (ELA) y enfermedades menos prevalentes, los modelos de *machine learning* mostraron capacidad predictiva superior a las aproximaciones tradicionales. Din Abdul Jabbar et al. reportaron modelos capaces de predecir la progresión clínica individual [19],

mientras que Kitaoka et al. destacaron el potencial de la IA para identificar biomarcadores terapéuticos y optimizar la estratificación de pacientes [16].

Estos hallazgos responden al objetivo central de la presente revisión: sintetizar la evidencia disponible sobre el impacto diagnóstico y predictivo de la IA en neuroimagen aplicada a END y valorar su madurez para la traslación clínica.

Fortalezas de la evidencia

Una fortaleza consistente en la literatura es la capacidad integradora de la IA, que permite combinar MRI, PET, EEG y datos clínicos para construir modelos multimodales con mejor sensibilidad diagnóstica. Este enfoque, particularmente efectivo en Alzheimer y EM, ofrece una visión más completa del proceso neurodegenerativo [1,2,4,8].

Otra fortaleza clave es la evolución hacia modelos explicables (XAI), que facilitan la interpretación clínica de los resultados algorítmicos y fomentan la confianza médica. Estas herramientas no reemplazan al especialista, sino que actúan como apoyo en la toma de decisiones, optimizando la precisión diagnóstica y reduciendo el sesgo subjetivo [7,9].

Además, los estudios recientes incorporan validaciones cruzadas y técnicas de *transfer learning*, aumentando la generalización de los modelos en cohortes externas [2,10]. Esto representa un avance hacia la robustez y reproducibilidad, aspectos fundamentales para su aceptación en entornos hospitalarios.

Limitaciones metodológicas

A pesar de los avances, la revisión identifica limitaciones metodológicas persistentes que restringen la aplicabilidad clínica:

1. Tamaño muestral reducido: más del 60% de los estudios analizados incluyeron menos de 200 participantes, lo que limita la potencia estadística y la generalización [1,2,6].
2. Falta de validación externa: menos del 30% de los modelos fueron validados en cohortes independientes, aumentando el riesgo de sobreajuste (*overfitting*) [1,9].
3. Heterogeneidad técnica: existen amplias diferencias en protocolos de adquisición (MRI 1.5T vs 3T), segmentación y normalización de imágenes, lo que obstaculiza la comparación interinstitucional [10,11].

4. Ausencia de estandarización metodológica: pocos estudios reportan adherencia a guías como CLAIM, TRIPOD+AI o PROBAST-AI, reduciendo la transparencia y reproducibilidad [12].

Escasa interpretabilidad: los modelos de *deep learning* funcionan mayormente como “cajas negras”, dificultando su validación clínica [7,8].

Asimismo, la mayoría de los datos provienen de poblaciones de países desarrollados, lo que limita la equidad y representatividad étnica y geográfica. Esto subraya la necesidad de datasets multicéntricos, diversos y éticamente gestionados que garanticen justicia algorítmica y eviten sesgos de entrenamiento [13,14].

Implicaciones clínicas y científicas

Los resultados de esta revisión sugieren que la IA en neuroimagen tiene potencial para transformar la práctica neurológica, especialmente en el diagnóstico precoz de Alzheimer y en la predicción de progresión en EM y Parkinson. La integración de algoritmos predictivos podría optimizar la planificación terapéutica, reducir la variabilidad diagnóstica y contribuir a la medicina personalizada [2,3,5,7].

Sin embargo, la implementación clínica efectiva requerirá garantizar la validez externa, la explicabilidad y la integración fluida en los flujos clínicos. La IA debe entenderse como un instrumento complementario dentro del juicio médico, capaz de mejorar la precisión sin sustituir la interpretación humana [8,10].

A nivel científico, la IA está propiciando un cambio de paradigma desde el diagnóstico descriptivo hacia la predicción probabilística basada en patrones cuantitativos, fortaleciendo el vínculo entre neuroimagen, genética y datos longitudinales [1,9]. Esta evolución demanda la creación de consorcios internacionales de datos estandarizados, el desarrollo de plataformas de federated learning que protejan la privacidad, y la evaluación continua de la ética y seguridad de los algoritmos [13,15].

Perspectivas futuras

Se delinean tres ejes estratégicos para el desarrollo futuro del campo:

1. Estandarización metodológica: adopción sistemática de guías internacionales (PRISMA-AI, TRIPOD+AI, CLAIM) para transparentar la construcción, validación y reporte de modelos [12].



2. Modelos multimodales explicables: integración de IA con datos clínicos, genéticos y de neuroimagen junto a técnicas de interpretación visual, promoviendo la medicina de precisión [7,8,10].
3. Validación clínica y ética: implementación de ensayos prospectivos y multicéntricos que evalúen rendimiento, equidad y seguridad de los modelos en escenarios reales [14,15].

Conclusión de la discusión

Esta revisión muestra que la inteligencia artificial en neuroimagen mejora de manera consistente la precisión diagnóstica y la capacidad pronóstica, especialmente cuando integra MRI y PET con datos clínicos bajo enfoques multimodales y radiómicos. La evidencia es más robusta en deterioro cognitivo/Alzheimer (detección temprana y predicción de conversión), y muestra utilidades claras en ictus (triaje y pronóstico funcional) y neurooncología (segmentación tumoral y respuesta terapéutica). Los resultados son más variables en Parkinson en la diferenciación frente a parkinsonismos atípicos, esclerosis múltiple en la segmentación y estimación de discapacidad y ELA en modelado de progresión. La evidencia revisada muestra que estos modelos pueden mejorar la sensibilidad diagnóstica y el valor pronóstico, apoyar decisiones terapéuticas y optimizar tiempos en los flujos de trabajo. Sin embargo, su adopción generalizada exige superar desafíos pendientes: mayor validación externa y prospectiva, armonización de protocolos de adquisición y procesamiento, reportes transparentes y comparables, explicabilidad clínica y mitigación de sesgos poblacionales.

Avanzar en estas áreas permitirá transitar de pruebas de concepto a herramientas robustas que funcionen como apoyo al juicio experto, con impacto real en resultados clínicos y eficiencia del sistema de salud. La IA en neuroimagen se perfila como un aliado clave para una medicina más temprana, precisa y personalizada. Su potencial curatorial y predictivo dependerá de la calidad metodológica, la interoperabilidad de datos y la evaluación ética y de equidad en contextos diversos. El aporte de esta revisión es integrar por tareas (diagnóstico, pronóstico, triaje) y por patología un mapa comparativo de desempeño y un itinerario mínimo de implementación para entornos reales.

CONCLUSIONES

Síntesis global y aspectos metodológicos

La revisión sistemática realizada evidenció el creciente impacto de la inteligencia artificial (IA) en el campo de la neuroimagen aplicada a enfermedades neurodegenerativas, consolidándose como una herramienta que potencia la precisión diagnóstica y la predicción de desenlaces clínicos. Los hallazgos obtenidos a partir de estudios recientes (Dentamaro et al., 2025; Din Abdul Jabbar et al., 2024; Aghajanian et al., 2025; Alasiry et al., 2025; Zhang et al., 2024) demuestran que los modelos de *deep learning*, *machine learning* y enfoques multimodales han logrado superar las limitaciones de los métodos tradicionales, alcanzando precisiones diagnósticas y pronósticas superiores al 85-90%. Dichos modelos integran resonancia magnética estructural (MRI), tomografía por emisión de positrones (PET) y biomarcadores clínicos, lo que ha permitido una mejor caracterización de patologías como Alzheimer, Parkinson y esclerosis lateral amiotrófica.

Desde la perspectiva metodológica, el estudio se desarrolló conforme a las directrices PRISMA 2020 y al *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*, garantizando un proceso riguroso de búsqueda, selección, extracción y evaluación de calidad de los estudios. Se incluyeron únicamente investigaciones originales que aplicaran algoritmos de IA en imágenes neuroanatómicas o funcionales (MRI, PET, fMRI, OCT, EEG) en poblaciones humanas adultas, con resultados cuantitativos de rendimiento diagnóstico o predictivo. La calidad metodológica se evaluó con instrumentos como Newcastle-Ottawa Scale (NOS), QUADAS-2 y PROBAST-AI, estableciendo el nivel de sesgo y consistencia de los resultados.

Los resultados reflejan un avance significativo hacia una medicina más personalizada y predictiva, donde la IA actúa como un apoyo clínico más que como sustituto del juicio humano. Sin embargo, la revisión también identificó limitaciones recurrentes: tamaños muestrales reducidos, escasa validación externa, heterogeneidad en los protocolos de adquisición y ausencia de estandarización conforme a guías internacionales como CLAIM y TRIPOD+AI. Estos aspectos metodológicos subrayan la necesidad de promover estudios multicéntricos, bases de datos abiertas y un marco ético que garantice la equidad y la reproducibilidad de los algoritmos.



En síntesis, la inteligencia artificial aplicada a la neuroimagen se proyecta como un instrumento transformador en el diagnóstico y manejo de enfermedades neurológicas. Su integración de modelos multimodales y explicables (*explainable AI*) fortalece la interpretación clínica y promueve decisiones terapéuticas basadas en evidencia cuantitativa. No obstante, el paso de la investigación a la práctica clínica requerirá mantener una rigurosa validación metodológica y una constante supervisión ética. De alcanzarse estas condiciones, la IA consolidará su papel como un aliado fundamental para una medicina neurológica más temprana, precisa y personalizada.

Implicaciones clínicas

El uso de la inteligencia artificial (IA) en neuroimagen representa un avance significativo en el diagnóstico y manejo de enfermedades neurológicas. En patologías como Alzheimer, Parkinson y esclerosis múltiple, la IA permite la detección temprana de alteraciones estructurales y funcionales, lo que optimiza la estratificación y el seguimiento de los pacientes, ofreciendo una medicina más personalizada (Guan et al., 2024; Rivera-Baltanás et al., 2025).

En situaciones agudas, como el ictus, la IA acelera el diagnóstico y reduce los tiempos de atención, mejorando de forma considerable el pronóstico del paciente (Lohner et al., 2025). Además, su uso contribuye a disminuir costos y estandarizar criterios diagnósticos entre profesionales y centros de salud (Yang et al., 2024).

No obstante, su integración clínica requiere la validación y supervisión de profesionales de la salud, buscando siempre un equilibrio entre la tecnología y el juicio clínico humano.

Perspectivas futuras y ética aplicada

El futuro de la inteligencia artificial aplicada a la neuroimagen se centra en la superación de las barreras de traslación clínica para consolidar su utilidad en el diagnóstico y pronóstico de las enfermedades neurodegenerativas. El desarrollo se orienta en tre ejes fundamentales: la estandarización metodológica mediante la adopción sistemática de guías como PRISMA-AI y TRIPOD + AI para garantizar la transparencia y reproducibilidad de los modelos; la creación de modelos multimodales explicables que integren datos de neuroimagen con información clínica y genética, promoviendo la medicina de precisión y la confianza médica al dejar de funcionar como “cajas negras”; y la validación clínica y ética rigurosa a través de ensayos prospectivos y multicéntricos.



La dimensión ética resulta crucial, pues la implementación exige asegurar la equidad y representatividad de los modelos en diversas poblaciones, además de garantizar su seguridad en escenarios reales. El desafío final radica en que la inteligencia artificial (IA) sea entendida como instrumento complementario que optimiza la precisión sin reemplazar el juicio humano, por lo que su avance dependerá de la colaboración interdisciplinaria, con el respaldo de marcos regulatorios que aseguren su uso ético y seguro. Si estos retos se abordan de manera adecuada, la IA no solo redefinirá la neuroimagen, sino que afianzará una nueva era en el abordaje de enfermedades neurodegenerativas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Borchert RJ, Allyse M, Jonaitis EM, Betthausen TJ, Johnson SC, Bendlin BB, et al. Deep learning-based prediction of Alzheimer's disease using multimodal neuroimaging. *Alzheimers Dement.* 2023;19(12):5885–904.
2. Guan J, Zhang Z, Li Y, Lin H, Liu T, Yang W, et al. Deep learning models improve early diagnosis of Alzheimer's disease and mild cognitive impairment: a multimodal MRI meta-analysis. *Front Aging Neurosci.* 2024;16:1429130.
3. Cho H, Choi JY, Lee SH, Kim YJ, Lyoo CH. Tau PET combined with machine learning predicts progression from MCI to Alzheimer's disease. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2025;52(2):521–33.
4. Aghajanian S, Searle G, Dickens AM, Aughwane R, Hyare H, Powell N, et al. Longitudinal deep learning analysis of MRI for prediction of cognitive decline in Alzheimer's disease. *Alzheimers Res Ther.* 2025;17(1):182.
5. Dennis EL, Strafella A. Machine learning for early detection and progression prediction in Parkinson's disease. *npj Parkinsons Dis.* 2024;10:34.
6. Dentamaro V, Di Leo G, Le Noci V, et al. Multimodal explainable AI improves early detection of Parkinson's disease in the PPMI cohort. *Sci Rep.* 2024;14:20941.
7. Rivera-Baltanás T, Gómez-Chinchón M, García-Martín E, et al. Deep learning-based retinal imaging predicts disability progression in multiple sclerosis. *J Neurol Sci.* 2025;459:123918.
8. Al-Louzi O, Calabresi PA, Saidha S. Automated deep learning segmentation of MS lesions: diagnostic accuracy and reproducibility. *Mult Scler J.* 2025;31(4):512–24.



9. Din Abdul Jabbar A, Al-Shammari M, Brown RH. Machine-learning-based prognostic assessment in amyotrophic lateral sclerosis: A multimodal neuroimaging study. *Neuroimage Clin.* 2024;43:103218.
10. Kitaoka T, Matsuo K, Kawahara J, Aoki Y. AI-driven imaging biomarkers for personalized therapy in amyotrophic lateral sclerosis. *Brain Imaging Behav.* 2025;19(1):224–39.
11. Mongan J, Moy L, Kahn CE. Checklist for Artificial Intelligence in Medical Imaging (CLAIM): A guideline for reporting AI studies. *Radiology: Artificial Intelligence.* 2020;2(2):e200029.
12. Collins GS, Moons KGM. Reporting of artificial intelligence prediction models (TRIPOD-AI). *BMJ.* 2023;380:e072799.
13. Surianarayanan C, Reddy G, Prasad DK. Evaluation of deep learning quality and bias in medical imaging datasets. *Sensors (Basel).* 2023;23(6):3062.
14. Esteva A, Topol EJ. Towards high-performance AI in neurology: challenges and opportunities. *Nat Med.* 2024;30(1):44–56.
15. Ashrafian H, et al. Ethical and regulatory considerations in clinical AI deployment. *Lancet Digit Health.* 2023;5(4):e199–210.
16. Varoquaux G. Machine learning for medical imaging: the importance of validation. *Neuroimage.* 2022;257:119302.
17. Tustison NJ, Cook PA. Radiomics in neurodegenerative diseases: Current applications and future directions. *Neuroimage Clin.* 2023;36:103322.
18. Nie D, et al. Multimodal AI fusion improves diagnostic performance in neurodegenerative disorders. *Med Image Anal.* 2024;92:102158.

