



Recibido: 2026-05-02

Aceptado: 2026-05-22

Publicado: 2026-06-24

**Aplicaciones de la IA en neurología y neurocirugía: oportunidades,
desafíos y perspectivas futuras**

**Applications of AI in neurology and neurosurgery: opportunities,
challenges and future prospects**

Autores

Jimmy Fernando Yaguana Torres¹
<https://orcid.org/0000-0003-2743-5605>
jimmy.yaguana@yahoo.com
Universidad Católica de Santiago de
Guayaquil, Clínica SurHospital
Guayaquil – Ecuador

Jorge Anoceto Millán²
<https://orcid.org/0009-0005-4625-7551>
jorgeanoceto@hotmail.com
Clínica SurHospital
Guayaquil – Ecuador

Víctor José Barrera Avendaño³
<https://orcid.org/0009-0003-1555-7880>
victorjose1657@gmail.com
Universidad Católica de Santiago de
Guayaquil
Guayaquil – Ecuador

George William Rodríguez Correa⁴
<https://orcid.org/0000-0002-7569-3425>
georgerodriguezcorrea@gmail.com
Universidad Católica de Santiago de
Guayaquil
Guayaquil – Ecuador

Dana Milena Mosquera Calderón⁵
<https://orcid.org/0009-0002-6379-1025>
dana.mosquera@cu.ucsg.edu.ec
Universidad Católica de Santiago de Guayaquil
Guayaquil – Ecuador

Resumen

Introducción: La inteligencia artificial (IA) ha emergido como una herramienta innovadora en el ámbito de la medicina, especialmente en neurología y neurocirugía, donde el análisis de grandes volúmenes de datos clínicos y de neuroimagen permite mejorar el diagnóstico, tratamiento y pronóstico de múltiples enfermedades neurológicas.

Objetivo: Analizar las principales aplicaciones de la inteligencia artificial en neurología y neurocirugía, así como sus beneficios clínicos, limitaciones éticas y perspectivas futuras dentro de las neurociencias modernas.

Metodología: Se realizó una revisión narrativa estructurada bajo el enfoque PRISMA, mediante la búsqueda de artículos científicos en bases de datos como PubMed, Google Scholar y ScienceDirect. Se incluyeron estudios publicados entre 2021 y 2026 relacionados con inteligencia artificial, *machine learning*, *deep learning*, neuroimagen y neurocirugía. Tras aplicar criterios de inclusión y exclusión, se seleccionaron 23 artículos para análisis cualitativo y síntesis temática.

Resultados: La evidencia revisada demuestra que la inteligencia artificial mejora significativamente la precisión diagnóstica en enfermedades neurológicas, optimiza el análisis de neuroimágenes, facilita la planificación neuroquirúrgica y permite predecir complicaciones postoperatorias. Además, su aplicación en epilepsia, accidentes cerebrovasculares, tumores cerebrales y trastornos del movimiento ha mostrado beneficios clínicos relevantes. Sin embargo, persisten limitaciones relacionadas con sesgos algorítmicos, privacidad de datos y falta de interpretabilidad de los modelos.

Conclusión: La inteligencia artificial representa una herramienta complementaria de alto impacto en neurología y neurocirugía, con potencial para transformar la práctica clínica. No obstante, su implementación debe realizarse bajo supervisión médica y marcos éticos adecuados para garantizar su uso seguro y responsable.

Palabras clave: inteligencia artificial, neurología, neurocirugía, machine learning, deep learning, neuroimagen, revisión narrativa estructurada.

Abstract

Introduction: Artificial intelligence (AI) has emerged as an innovative tool in modern medicine, particularly in neurology and neurosurgery, where the analysis of large volumes of clinical and neuroimaging data enhances the diagnosis, treatment, and prognosis of multiple neurological disorders.

Objective: To analyze the main applications of artificial intelligence in neurology and neurosurgery, as well as its clinical benefits, ethical limitations, and future perspectives within contemporary neurosciences.

Methods: A structured narrative review following PRISMA-based reporting principles was conducted. Scientific articles were retrieved from PubMed, Google Scholar, and ScienceDirect. Studies published between 2021 and 2026 related to artificial intelligence, machine learning, deep learning, neuroimaging, and neurosurgery were included. After applying inclusion and exclusion criteria, 23 articles were selected for qualitative analysis and thematic synthesis

Results: The reviewed evidence shows that artificial intelligence significantly improves diagnostic accuracy in neurological diseases, enhances neuroimaging analysis, supports neurosurgical planning, and enables prediction of postoperative complications. Its application in conditions such as epilepsy, stroke, brain tumors, and movement disorders has demonstrated relevant clinical benefits. However, limitations remain, including algorithmic bias, data privacy concerns, and lack of model interpretability.

Conclusion: Artificial intelligence represents a powerful complementary tool in neurology and neurosurgery with the potential to transform clinical practice. Nevertheless, its implementation must be guided by clinical supervision and strong ethical frameworks to ensure safe and responsible use.

Keywords: artificial intelligence, neurology, neurosurgery, machine learning, deep learning, neuroimaging, systematic review.

Introducción

En los últimos años, la inteligencia artificial (IA) ha experimentado un crecimiento acelerado en múltiples áreas de la medicina, transformando progresivamente los procesos de diagnóstico, tratamiento, pronóstico y seguimiento clínico. El desarrollo de algoritmos basados en machine learning y deep learning ha permitido analizar grandes volúmenes de datos clínicos con una precisión cada vez mayor, favoreciendo la toma de decisiones médicas más rápidas, objetivas y personalizadas. Estas tecnologías han comenzado a integrarse en diferentes especialidades médicas debido a su capacidad para reconocer patrones complejos, optimizar recursos hospitalarios y mejorar la calidad de la atención sanitaria.

Dentro de este contexto, la neurología y la neurocirugía representan áreas particularmente relevantes para la aplicación de la IA, debido a la enorme cantidad de información clínica, neurofisiológica y de neuroimagen que generan diariamente. La complejidad anatómica y funcional del sistema nervioso central requiere herramientas capaces de procesar datos altamente especializados, especialmente en enfermedades neurológicas cuya evolución clínica puede ser variable y difícil de predecir. En este sentido, la inteligencia artificial ha demostrado un importante potencial en el análisis de imágenes por resonancia magnética, tomografía computarizada, electroencefalografía y otros métodos diagnósticos utilizados rutinariamente en neurociencias (Wang et al., 2023).

En el ámbito neuroquirúrgico, la IA ha comenzado a desempeñar un papel relevante tanto en la planificación preoperatoria como en la asistencia intraoperatoria y el seguimiento postoperatorio. El análisis automatizado de imágenes cerebrales permite una mejor delimitación tumoral, identificación de estructuras anatómicas críticas y evaluación de áreas funcionales cerebrales, facilitando procedimientos quirúrgicos más precisos y seguros. Además, los sistemas basados en IA han demostrado utilidad para estimar pronósticos clínicos, predecir complicaciones postoperatorias y optimizar estrategias terapéuticas individualizadas. De igual manera, la integración entre neurocirugía y tecnologías inteligentes ha impulsado el desarrollo de herramientas robóticas y plataformas de navegación quirúrgica asistida (Kalani & Anjankar, 2024).

Actualmente, el avance continuo de la inteligencia artificial está redefiniendo las perspectivas futuras de la neurología y la neurocirugía moderna, sin embargo, para alcanzar una

implementación efectiva y ética, será indispensable fortalecer la colaboración interdisciplinaria entre médicos, ingenieros, investigadores y organismos regulatorios.

El objetivo de este estudio es analizar las principales aplicaciones de la inteligencia artificial en neurología y neurocirugía, abordando sus beneficios clínicos, limitaciones éticas, desafíos actuales y perspectivas futuras dentro del contexto de las neurociencias modernas.

Metodología

El presente estudio corresponde a una revisión narrativa estructurada, orientada al análisis de las aplicaciones de la inteligencia artificial en neurología y neurocirugía, así como de sus principales desafíos éticos y perspectivas futuras dentro de las neurociencias modernas. La investigación se desarrolló bajo un enfoque descriptivo, analítico y documental, con el propósito de recopilar, organizar e interpretar la evidencia científica más relevante publicada recientemente acerca del uso de tecnologías basadas en inteligencia artificial, machine learning y deep learning en el ámbito neurológico y neuroquirúrgico.

La búsqueda bibliográfica se realizó mediante la consulta de bases de datos científicas reconocidas internacionalmente, incluyendo PubMed, Google Scholar y ScienceDirect, seleccionadas debido a su relevancia en la indexación de investigaciones biomédicas y tecnológicas relacionadas con inteligencia artificial aplicada a medicina, neurología y neurocirugía. La recopilación de información se efectuó priorizando publicaciones recientes y artículos de impacto científico significativo dentro del área de estudio.

Para optimizar la estrategia de búsqueda se utilizaron diferentes combinaciones de palabras clave en inglés, entre ellas: “*Artificial Intelligence in Neurology*”, “*Artificial Intelligence in Neurosurgery*”, “*Machine Learning in Neurological Disorders*”, “*Deep Learning Neuroimaging*”, “*Ethical Challenges of Artificial Intelligence in Medicine*” y “*AI Future Perspectives in Neurosciences*”; de igual manera, se emplearon operadores booleanos como AND y OR con la finalidad de ampliar y precisar la identificación de estudios potencialmente relevantes para el objetivo de la investigación.

Los criterios de inclusión contemplaron artículos científicos publicados entre los años 2021 y 2026, escritos en idioma inglés, con acceso a resumen estructurado o texto completo. Se incluyeron revisiones narrativas, revisiones sistemáticas, artículos originales y publicaciones orientadas al análisis de aplicaciones tecnológicas emergentes dentro de las neurociencias.

Por otra parte, se excluyeron artículos duplicados, publicaciones con información insuficiente, estudios con limitada relevancia clínica, documentos enfocados en áreas médicas ajenas a neurología y neurocirugía, así como investigaciones con escasa relación respecto a los objetivos planteados en esta revisión. Del mismo modo, se descartaron publicaciones antiguas que no reflejaban el avance reciente de la inteligencia artificial en el ámbito biomédico.

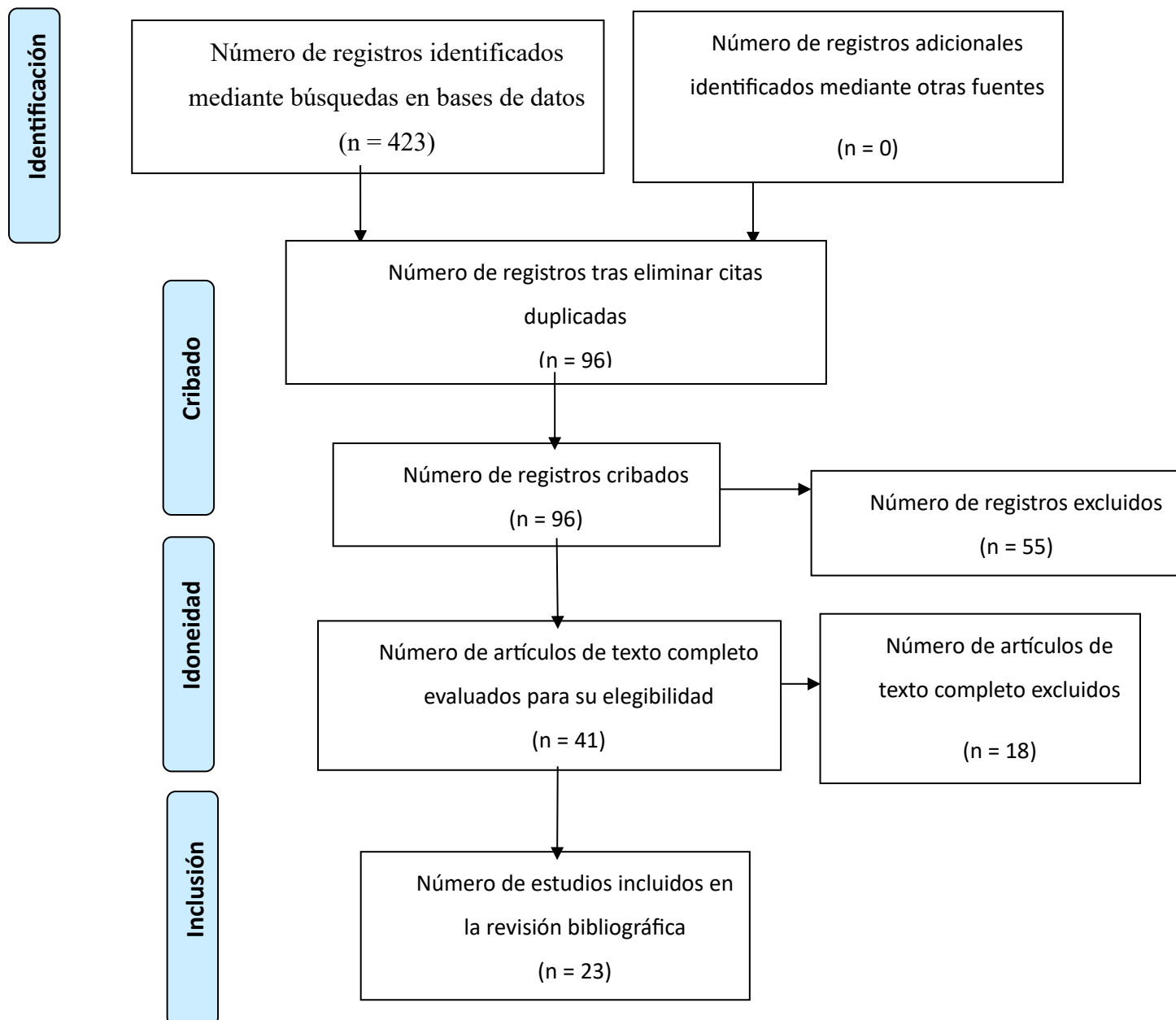
El proceso de identificación, selección y elegibilidad de los artículos científicos fue organizado mediante un diagrama de flujo basado en la metodología PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) (Gráfico 1), con la finalidad de transparentar el proceso de búsqueda y selección bibliográfica. Inicialmente se identificaron múltiples registros potencialmente relevantes a través de las bases de datos seleccionadas. Posteriormente, tras la eliminación de duplicados y la revisión de títulos y resúmenes, se procedió a evaluar la elegibilidad de los artículos mediante lectura completa, aplicando finalmente los criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos.

Después del proceso de selección y elegibilidad, se incluyeron un total de 23 artículos científicos considerados pertinentes para el desarrollo de la investigación. Posteriormente, la información recopilada fue organizada en categorías temáticas relacionadas con aplicaciones clínicas de la inteligencia artificial en neurología, neuroimagen, neurocirugía, enfermedades neurológicas específicas, desafíos éticos y perspectivas futuras. Finalmente, se realizó un análisis comparativo y descriptivo de los hallazgos más relevantes reportados en la literatura científica reciente, con el propósito de identificar las principales contribuciones, limitaciones y proyecciones futuras de la inteligencia artificial dentro del campo de las neurociencias.

Con la finalidad de organizar de manera estructurada el proceso de selección bibliográfica y orientar la pregunta de investigación, se empleó un diagrama de flujo antes mencionado, así como la estrategia PICO (Tabla 1) para delimitar los principales componentes clínicos y tecnológicos abordados en esta revisión.

Gráfico 1.

PRISMA



Nota: Diagrama de flujo PRISMA del proceso de selección de estudios.

PICO: ¿De qué manera la aplicación de inteligencia artificial en pacientes con enfermedades neurológicas y neuroquirúrgicas contribuye a mejorar la precisión diagnóstica, la planificación terapéutica y los resultados clínicos en comparación con los métodos convencionales utilizados en neurología y neurocirugía?

Tabla**1.***PICO (Población, Intervención, Comparación, Resultados)*

Criterios PICO	
P	Pacientes con enfermedades neurológicas y neuroquirúrgicas
I	Uso de inteligencia artificial
C	Métodos diagnósticos y terapéuticos convencionales
O	Mejoría diagnóstica, terapéutica y pronóstica

Nota: Estructuración de la pregunta de investigación mediante estrategia PICO.**Resultados y discusión**

En los últimos años, la inteligencia artificial ha adquirido un papel cada vez más importante dentro de la neurología y la neurocirugía, generando avances significativos en varias áreas. Los estudios revisados muestran que herramientas basadas en machine learning y deep learning permiten analizar grandes volúmenes de información clínica de manera más rápida y precisa, favoreciendo una atención médica más eficiente y personalizada (Kalani & Anjankar, 2024).

No obstante, junto con sus múltiples beneficios, la implementación de estas tecnologías también ha dado lugar a importantes desafíos relacionados con la ética, la privacidad de los datos y la interpretación de los modelos predictivos. A continuación, se presentan los principales estudios analizados sobre las aplicaciones de la inteligencia artificial en neurología y neurocirugía (Tabla 2).

Tabla**2.***Resumen de los estudios incluidos*

Cita/DOI/Enlace	Año	Título	Objetivo	Hallazgo relevante
Kalani, M., & Anjankar, A. Doi: 10.7759/cureus.61706	2024	Revolutionizing Neurology: The Role of Artificial Intelligence in Advancing Diagnosis and Treatment	Analizar el impacto de la IA en neurología.	La IA mejora el diagnóstico, optimiza tratamientos y aumenta la precisión en el análisis de neuroimágenes y enfermedades neurológicas.
Wang, R., et al. Doi: 10.1016/j.neuroimage.2023.119898	2023	Applications of Generative	Analizar el uso de redes GAN	Las redes GAN mejoran



		Adversarial Networks in Neuroimaging and Clinical Neuroscience	en neuroimagen y neurociencias clínicas.	el análisis de neuroimágenes y ayudan en el diagnóstico y comprensión de enfermedades neurológicas complejas.
Bösel, J., et al. Doi: 10.1186/s42466-025-00367-2	2025	AI and Neurology	Analizar las aplicaciones de la IA en neurología.	La IA mejora el diagnóstico, pronóstico y toma de decisiones en enfermedades neurológicas, aunque persisten desafíos éticos y de seguridad.
Trasca, D.-M., et al. Doi: 10.3390/pharmaceutics17121564	2025	Artificial Intelligence in Biomedicine: A Systematic Review from Nanomedicine to Neurology and Hepatology	Evaluar las aplicaciones de la IA en distintas áreas biomédicas	La IA mejoró el diagnóstico temprano, el análisis de biomarcadores y la estratificación de pacientes en enfermedades neurológicas.
Koryciński, M., et al. Doi: 10.3390/s25247415	2025	Decision Support Systems in Neurosurgery: Current Applications and Future Directions	Revisar el uso de sistemas de apoyo basados en IA en neurocirugía.	Los sistemas de apoyo con IA mejoran la precisión quirúrgica y reducen riesgos durante procedimientos neuroquirúrgicos complejos.
Bravo, J., et al. Doi: 10.7759/cureus.23662	2022	Robotics and Artificial Intelligence in Endovascular Neurosurgery	Revisar las aplicaciones de la IA y robótica en neurocirugía endovascular.	La IA y la robótica mejoran el diagnóstico, optimizan procedimientos endovasculares y favorecen mejores resultados clínicos.
Schonfeld, E., et al. Doi: 10.7759/cureus.51963	2024	Machine Learning in Neurosurgery: Toward Complex Inputs, Actionable	Analizar las aplicaciones del machine learning en neurocirugía.	El machine learning permite predecir diagnósticos y resultados quirúrgicos, además de apoyar

		Predictions, and Generalizable Translations		la toma de decisiones intraoperatorias.
Sugiyama, T., et al. Doi: 10.31662/jmaj.2024-0141	2025	Artificial Intelligence for Patient Safety and Surgical Education in Neurosurgery	Analizar el impacto de la IA en la seguridad y educación neuroquirúrgica.	La IA mejora la toma de decisiones, reduce errores médicos y fortalece el entrenamiento quirúrgico en neurocirugía.
Iqbal et al. Doi: 10.25259/SNI_877_2022	2022	The future of artificial intelligence in neurosurgery: A narrative review	Revisar el uso actual de la inteligencia artificial en neurocirugía y analizar sus futuras aplicaciones.	La IA tiene potencial para mejorar el diagnóstico, la evaluación preoperatoria y la atención centrada en el paciente, aunque persisten desafíos éticos y de manejo de datos.
Mofatteh, M. http://www.aimspress.com/journal/neuroscience	2021	Neurosurgery and artificial intelligence	Analizar el papel de la IA en el cuidado neuroquirúrgico preoperatorio, intraoperatorio y postoperatorio.	La IA mejora el diagnóstico, pronóstico y toma de decisiones en neurocirugía, además de optimizar el manejo de datos clínicos.

Nota: Tabla de elaboración propia con base en los estudios incluidos sobre las aplicaciones de la inteligencia artificial en neurología y neurocirugía, considerando diagnóstico, tratamiento, toma de decisiones y desafíos clínicos y éticos.

Aplicaciones de la inteligencia artificial en neurología

La inteligencia artificial ha generado un impacto significativo en el campo de la neurología, transformando progresivamente la manera en que se diagnostican, monitorizan y tratan múltiples enfermedades del sistema nervioso. Debido a la elevada complejidad anatómica y funcional del cerebro, así como a la gran cantidad de información clínica y neuroimagenológica que requiere interpretación especializada, la neurología se ha convertido en una de las áreas médicas con mayor potencial para la implementación de tecnologías basadas en inteligencia artificial, machine learning y deep learning (Kalani & Anjankar, 2024).

Uno de los principales aportes de la inteligencia artificial en neurología se relaciona con el análisis automatizado de neuroimágenes. Los algoritmos de aprendizaje profundo han demostrado una elevada capacidad para identificar alteraciones estructurales cerebrales, reconocer patrones patológicos y detectar lesiones que podrían pasar desapercibidas mediante métodos convencionales de evaluación radiológica (Kalani & Anjankar, 2024). Estas herramientas son utilizadas especialmente en estudios de resonancia magnética y tomografía computarizada, permitiendo mejorar la precisión diagnóstica y reducir el tiempo necesario para la interpretación clínica.

En enfermedades neurodegenerativas como la enfermedad de Alzheimer, la inteligencia artificial ha mostrado resultados prometedores en la detección temprana de cambios cerebrales asociados al deterioro cognitivo. Diversos modelos computacionales son capaces de analizar biomarcadores, patrones de atrofia cerebral y variaciones funcionales presentes en estudios de neuroimagen, facilitando el reconocimiento precoz de pacientes con riesgo elevado de progresión clínica (Wang et al., 2023). Asimismo, algunos sistemas permiten diferenciar etapas evolutivas de la enfermedad mediante el procesamiento simultáneo de imágenes, datos clínicos y pruebas neuropsicológicas.

Otra de las aplicaciones más relevantes se observa en el manejo del accidente cerebrovascular. La implementación de sistemas inteligentes permite identificar rápidamente áreas de isquemia cerebral, evaluar la extensión del daño neurológico y optimizar decisiones terapéuticas en situaciones de emergencia, donde el tiempo representa un factor crítico para el pronóstico del paciente (Bösel et al., 2025). Gracias al análisis automatizado de imágenes cerebrales y parámetros clínicos, la IA contribuye a agilizar la selección de candidatos para trombólisis o procedimientos endovasculares, favoreciendo intervenciones más oportunas y precisas.

En epilepsia, los modelos basados en inteligencia artificial han sido utilizados para el análisis de electroencefalogramas y la detección automatizada de actividad epileptiforme. Algunos algoritmos incluso han mostrado capacidad predictiva para anticipar crisis convulsivas antes de su manifestación clínica, lo que representa una herramienta potencialmente útil para mejorar el monitoreo continuo y la calidad de vida de los pacientes (Bösel et al., 2025). Además, estas tecnologías pueden asistir en la localización de focos epilépticos candidatos a tratamiento quirúrgico.

Los trastornos del movimiento también han sido objeto de múltiples investigaciones relacionadas con inteligencia artificial. Enfermedades como Parkinson pueden beneficiarse del análisis automatizado de patrones motores, expresiones faciales, alteraciones de la marcha y variaciones del habla mediante sistemas de aprendizaje automático (Kalani & Anjankar, 2024) y así, evaluar la respuesta terapéutica de manera más precisa.

Aplicaciones emergentes de la inteligencia artificial en neurología clínica

Además de las aplicaciones previamente descritas, la inteligencia artificial está ampliando progresivamente su utilidad hacia otras enfermedades neurológicas complejas. En la esclerosis múltiple, diversos algoritmos de aprendizaje profundo han demostrado capacidad para identificar nuevas lesiones desmielinizantes en estudios seriados de resonancia magnética, cuantificar la carga lesional y predecir la progresión de la discapacidad, facilitando una monitorización más precisa de la respuesta terapéutica (Kalincik et al., 2024; Wang et al., 2023).

De igual manera, en enfermedades neurodegenerativas como la esclerosis lateral amiotrófica (ELA), la inteligencia artificial ha mostrado potencial para analizar patrones clínicos, neurofisiológicos y de neuroimagen con el objetivo de identificar biomarcadores pronósticos y estimar la velocidad de progresión de la enfermedad. Estos modelos podrían contribuir a optimizar la selección de pacientes candidatos para ensayos clínicos y estrategias terapéuticas individualizadas (Bösel et al., 2025).

Otra área de creciente interés corresponde a la predicción temprana del deterioro cognitivo. Mediante el análisis combinado de datos clínicos, pruebas neuropsicológicas, biomarcadores y neuroimágenes, diversos sistemas basados en machine learning han demostrado capacidad para identificar individuos con riesgo elevado de desarrollar deterioro cognitivo leve o demencia en etapas preclínicas, favoreciendo intervenciones preventivas más oportunas (Trasca et al., 2025; Wang et al., 2023).

Finalmente, en neurología crítica, la integración de algoritmos inteligentes con sistemas de monitorización continua permite detectar patrones asociados a deterioro neurológico secundario, crisis epilépticas subclínicas, hipertensión intracraneal y otras complicaciones potencialmente graves. Estas herramientas podrían mejorar la vigilancia de pacientes

neurocríticos y facilitar intervenciones tempranas orientadas a reducir la morbimortalidad hospitalaria (Bösel et al., 2025).

Por otra parte, el desarrollo de redes generativas adversariales o GANs ha ampliado considerablemente las posibilidades diagnósticas dentro de la neurología y neuroimagen. Estas arquitecturas de deep learning permiten generar imágenes sintéticas altamente realistas, mejorar la calidad de estudios radiológicos y modelar patrones complejos relacionados con enfermedades neurológicas (Wang et al., 2023). Su aplicación ha mostrado utilidad en la identificación de tumores cerebrales, progresión de lesiones, análisis de envejecimiento cerebral y diferenciación entre tejido sano y patológico.

Aplicaciones de la inteligencia artificial en neurocirugía

El desarrollo de la IA en neurocirugía surge como respuesta a la enorme cantidad de datos que deben procesarse durante la atención de un paciente neuroquirúrgico. Los neurocirujanos no solo deben interpretar estudios de imagen complejos, sino también considerar variables clínicas, anatómicas, fisiológicas y quirúrgicas en periodos de tiempo muy cortos, especialmente en escenarios de emergencia. Debido a ello, la IA ha demostrado un gran potencial para complementar las capacidades humanas y disminuir errores relacionados con la práctica neuroquirúrgica (Awuah et al., 2024; Iqbal et al., 2022; Sugiyama et al., 2025).

Uno de los principales campos de aplicación de la inteligencia artificial en neurocirugía es el diagnóstico de enfermedades neurológicas. Diversos modelos de aprendizaje automático y deep learning han sido utilizados para detectar tumores cerebrales, clasificar gliomas y diferenciar lesiones intracraneales mediante el análisis de imágenes de resonancia magnética y tomografía computarizada (Sugiyama et al., 2025; Mofatteh, 2021). Incluso, algunos algoritmos han logrado identificar mutaciones moleculares asociadas a gliomas, como las mutaciones del gen IDH o la codeleción 1p/19q, permitiendo obtener información pronóstica relevante sin necesidad de procedimientos invasivos (Sugiyama et al., 2025).

La IA también ha mostrado gran utilidad en la detección de aneurismas intracraneales. Algunos sistemas basados en deep learning han alcanzado niveles de sensibilidad comparables e incluso superiores a los de radiólogos experimentados para identificar aneurismas en estudios angiográficos (Sugiyama et al., 2025; Awuah et al., 2024). De igual manera, se han desarrollado modelos predictivos capaces de estimar el riesgo de ruptura aneurismática y la probabilidad de

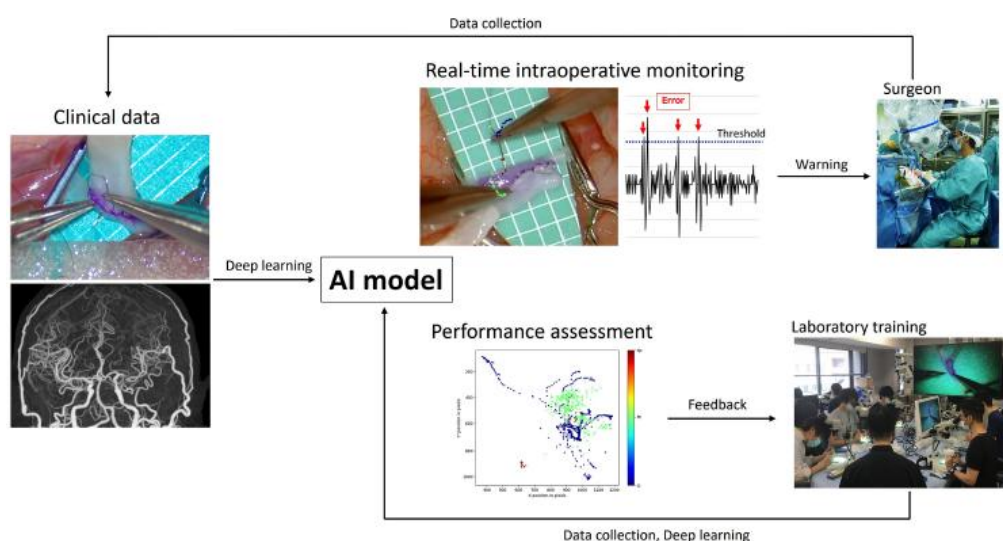
desarrollar complicaciones posteriores, como isquemia cerebral tardía después de una hemorragia subaracnoidea (Sugiyama et al., 2025).

En el área de cirugía funcional y cirugía espinal, la inteligencia artificial ha permitido avances importantes en el análisis automatizado de electroencefalogramas, clasificación de crisis epilépticas y detección de lesiones medulares compresivas (Sugiyama et al., 2025); otro aspecto fundamental es la aplicación de la IA en la predicción de resultados y complicaciones neuroquirúrgicas. Diversos estudios han demostrado que los algoritmos de machine learning pueden predecir mortalidad, supervivencia tumoral, riesgo de complicaciones postoperatorias, necesidad de transfusiones o probabilidad de reingreso hospitalario con alta precisión (Sugiyama et al., 2025; Awuah et al., 2024). Esto permite planificar mejor las intervenciones, individualizar tratamientos y tomar decisiones más seguras para cada paciente.

Durante el acto quirúrgico, la inteligencia artificial también comienza a desempeñar un papel importante. Se han desarrollado sistemas capaces de asistir al neurocirujano en tiempo casi real mediante el análisis intraoperatorio de imágenes y tejidos (Gráfico 2). Algunas redes neuronales profundas, combinadas con espectroscopía Raman y fluorescencia con verde de indocianina, han logrado identificar tejido tumoral en pocos minutos durante la cirugía, reduciendo significativamente el tiempo requerido para el diagnóstico intraoperatorio convencional (Sugiyama et al., 2025). Estas tecnologías pueden contribuir a lograr resecciones tumorales más completas y seguras.

Gráfico 2.

Integración de la inteligencia artificial en neurocirugía



Nota: Modelo de aplicación de inteligencia artificial en neurocirugía orientado a mejorar la seguridad del paciente y la educación quirúrgica. Adaptada de Sugiyama et al. (2025)

Asimismo, la IA se ha utilizado para optimizar la planificación quirúrgica. Algunos algoritmos basados en aprendizaje por refuerzo han sido diseñados para calcular trayectorias quirúrgicas mínimamente invasivas y seleccionar puntos de entrada más seguros al cráneo (Sugiyama et al., 2025). Otros sistemas permiten predecir deformaciones cerebrales intraoperatorias, conocidas como “brain shift”, mejorando la precisión de la neuronavegación y disminuyendo el riesgo de lesión de estructuras críticas.

La educación neuroquirúrgica también se ha beneficiado considerablemente de estas tecnologías. Tradicionalmente, la evaluación de habilidades quirúrgicas dependía de observaciones subjetivas realizadas por cirujanos expertos, sin embargo, actualmente existen sistemas de IA capaces de analizar movimientos, precisión y manipulación tisular durante simulaciones quirúrgicas (Sugiyama et al., 2025). Mediante simuladores de realidad virtual y algoritmos de seguimiento instrumental, es posible proporcionar retroalimentación objetiva a los residentes y evaluar su progreso de manera más precisa.

En procedimientos microquirúrgicos, algunos modelos de inteligencia artificial pueden rastrear movimientos de las manos e instrumentos quirúrgicos para analizar destreza, suavidad de movimientos y control técnico durante anastomosis vasculares o disecciones microscópicas (Bravo et al., 2022; Schonfeld et al., 2024; Sugiyama et al., 2025). Esto no solo mejora la formación de los neurocirujanos, sino que también podría contribuir a disminuir eventos adversos relacionados con errores técnicos.

Además de mejorar el diagnóstico y tratamiento, la inteligencia artificial podría contribuir a ampliar el acceso a atención neuroquirúrgica especializada. La incorporación de IA en telemedicina, telecirugía y cirugía robótica podría facilitar la atención de pacientes ubicados en zonas rurales, regiones con pocos especialistas o contextos de emergencia sanitaria, como ocurrió durante la pandemia de COVID-19 (Mofatteh, 2021). Esto permitiría descentralizar recursos y acercar procedimientos complejos a poblaciones con acceso limitado a centros de alta especialidad.

También es importante considerar que la inteligencia artificial no reemplaza el juicio clínico del neurocirujano. Aunque estos sistemas pueden ofrecer apoyo diagnóstico y predictivo, las decisiones médicas continúan dependiendo de la experiencia humana, el razonamiento clínico y la valoración integral de cada paciente. Por ello, la IA debe entenderse como una herramienta complementaria destinada a fortalecer la práctica neuroquirúrgica y no como un sustituto del profesional de salud (Awuah et al., 2024; Koryciński et al., 2025; Sugiyama et al., 2025).

Aplicaciones de la Inteligencia Artificial en Neuroimagen y Diagnóstico

La integración de la inteligencia artificial (IA) en la neuroimagen representa uno de los avances más significativos en la medicina de precisión contemporánea, permitiendo la transición desde una interpretación radiológica puramente morfológica hacia un análisis cuantitativo y predictivo altamente sofisticado. La implementación de modelos de aprendizaje profundo (deep learning) ha facilitado la extracción de biomarcadores digitales complejos que resultan imperceptibles al ojo humano, optimizando la precisión diagnóstica en patologías del sistema nervioso central (Li et al., 2025). Esta capacidad de procesamiento excede los métodos convencionales, permitiendo una caracterización tisular no invasiva que mejora sustancialmente la planificación preoperatoria y el seguimiento clínico (Szmyd et al., 2025).

En el ámbito de la neuro-oncología, la aplicación de algoritmos de inteligencia artificial ha permitido desarrollar lo que se denomina "biopsia virtual". Mediante el análisis de secuencias de resonancia magnética (RM) preoperatorias, diversos estudios han demostrado que los modelos de redes neuronales pueden predecir con alta fiabilidad variables moleculares cruciales, tales como el estado de metilación del promotor MGMT en los gliomas (Li et al., 2025). Este avance es disruptivo, dado que permite estratificar a los pacientes según su perfil molecular antes de cualquier intervención quirúrgica, ajustando el enfoque terapéutico de manera personalizada. La precisión diagnóstica reportada en la literatura para la segmentación

y clasificación de tumores complejos ha superado, en múltiples contextos, los umbrales de exactitud necesarios para su implementación clínica, consolidando a la IA como una herramienta de soporte vital en la toma de decisiones neuroquirúrgicas (Li et al., 2025; Szmyd et al., 2025).

Un desafío técnico inherente a la alta dimensionalidad de estos modelos es la opacidad en la toma de decisiones, conocida coloquialmente como el fenómeno de la "caja negra". Para abordar esta limitación, la investigación actual se ha volcado hacia el desarrollo de métodos de explicabilidad técnica, como los mapas de relevancia (saliency maps) o las técnicas de atención visual, que permiten al radiólogo y al neurocirujano identificar las características específicas de la imagen que el algoritmo ha ponderado para emitir su diagnóstico. Esta explicabilidad técnica es crucial, ya que permite validar visualmente la concordancia entre los hallazgos automatizados y las estructuras anatómicas patológicas, garantizando que el modelo opere bajo principios de extracción de características radiológicas coherentes con la fisiopatología clínica (Li et al., 2025; Wang et al., 2023).

El desarrollo futuro de esta disciplina se orienta hacia el análisis de datos multimodales. La integración de la neuroimagen con perfiles genómicos y datos funcionales del paciente permitirá generar modelos diagnósticos más completos, optimizando la precisión en la toma de decisiones clínicas y consolidando un enfoque basado en evidencia cuantitativa.

Desafíos éticos y limitaciones

La integración de la inteligencia artificial (IA) en la neurocirugía, si bien ofrece avances sin precedentes en precisión y resultados clínicos, plantea desafíos éticos y limitaciones técnicas que requieren un análisis riguroso. La complejidad inherente a los algoritmos de aprendizaje profundo, a menudo descritos bajo el paradigma mencionado anteriormente de "caja negra" (black box), constituye una barrera crítica para la adopción clínica masiva, ya que dificulta la comprensión de los mecanismos subyacentes que guían las recomendaciones diagnósticas y quirúrgicas. Esta falta de interpretabilidad puede erosionar la confianza tanto de los profesionales de la salud como de los pacientes, quienes deben basar decisiones de alto riesgo en modelos cuyos procesos de razonamiento no siempre son transparentes (Patel et al., 2025).

Un aspecto fundamental es el sesgo algorítmico, derivado frecuentemente de conjuntos de datos de entrenamiento que no representan adecuadamente la diversidad de la población, lo

que puede exacerbar las disparidades en la atención médica y conducir a resultados desiguales entre diferentes grupos demográficos. A esto se suma el riesgo inminente de la seguridad de la información; la dependencia de volúmenes masivos de datos sensibles exige protocolos de ciberseguridad robustos para mitigar vulnerabilidades ante brechas de datos o ataques adversarios, un desafío que ha sido subrayado por incidentes de seguridad recientes en tecnologías de IA (Patel et al., 2025).

Además, la rendición de cuentas representa un dilema jurídico-ético complejo ante un error quirúrgico o diagnóstico asistido por IA, la determinación de la responsabilidad legal entre el cirujano, el desarrollador del algoritmo y la institución médica permanece en una zona gris regulatoria. Por ello, se ha postulado la necesidad crítica de implementar estrategias de "IA explicable" que permitan a los neurocirujanos verificar la lógica de las sugerencias automatizadas antes de su aplicación intraoperatoria (Mansour et al., 2025; Mohsin Khan et al., 2025). La mitigación de estos riesgos demanda una gobernanza técnica y ética integral que trascienda la simple optimización del rendimiento algorítmico. Esto implica la adopción de marcos regulatorios dinámicos, el uso de datos diversos y representativos para mitigar sesgos, y la promoción de un entorno de colaboración interdisciplinaria entre clínicos, ingenieros y especialistas en ética. La evolución hacia una neurocirugía inteligente debe priorizar, sobre la mera sofisticación tecnológica, la validación clínica continua, la transparencia algorítmica y, fundamentalmente, la salvaguarda de la autonomía humana y la seguridad del paciente, evitando que la dependencia excesiva de la IA comprometa la esencia del cuidado centrado en la persona (Dagi et al., 2021).

Perspectivas Futuras

El horizonte tecnológico en neurocirugía se encamina hacia la consolidación de sistemas inteligentes capaces de sintetizar información de múltiples dominios, trascendiendo la actual dependencia de modelos unimodales. La integración prospectiva de datos histopatológicos, moleculares y radiológicos mediante algoritmos de aprendizaje automático permitirá establecer perfiles diagnósticos más precisos, lo cual resulta crítico para patologías de alta complejidad como el glioblastoma y otros tumores del sistema nervioso central (Rončević et al., 2025). Esta convergencia de datos no solo optimiza la capacidad de clasificación tumoral en tiempo real, sino que facilita la instauración de protocolos terapéuticos altamente personalizados (Roetzer-Pejrimovsky et al., 2026).

Un avance fundamental reside en la optimización de los flujos de trabajo intraoperatorios. El desarrollo de herramientas diagnósticas rápidas, basadas en la caracterización molecular automatizada durante el acto quirúrgico, promete reducir la incertidumbre diagnóstica y mejorar los resultados funcionales del paciente al permitir decisiones quirúrgicas más fundamentadas (Roetzer-Pejrimovsky et al., 2026; Tangsrivimol et al., 2023). Este proceso de maduración tecnológica requiere que los sistemas desarrollados demuestren una reproducibilidad consistente en poblaciones diversas, mitigando las disparidades que los sesgos en los datos de entrenamiento han generado históricamente (Rončević et al., 2025).

En cuanto a la gestión de datos, el futuro inmediato apunta al desarrollo de plataformas interoperables que faciliten la transición desde la investigación teórica hacia la aplicación clínica sistemática. La incorporación de modelos predictivos para enfermedades neurodesarrollistas y degenerativas, que ya muestran capacidad para identificar fenotipos conductuales mediante el análisis de grandes volúmenes de datos, sugiere una ampliación del alcance de la inteligencia artificial más allá de la oncología quirúrgica, abarcando la neurología preventiva y de diagnóstico temprano (Alam et al., 2022). La arquitectura de estos sistemas deberá priorizar la explicabilidad técnica, permitiendo que la interpretación del modelo sea comprensible para el facultativo, lo que constituye la base de una colaboración efectiva entre la capacidad de procesamiento algorítmico y la pericia neuroquirúrgica (Alam et al., 2022; Tangsrivimol et al., 2023).

La trayectoria de esta disciplina se orienta, de manera definitiva, hacia la creación de ecosistemas de atención en los que la tecnología actúe como un facilitador de la toma de decisiones basada en evidencia cuantitativa (Rončević et al., 2025; Tangsrivimol et al., 2023). El éxito de esta transición dependerá de la capacidad de la comunidad médica para establecer marcos de gobernanza que aseguren la privacidad de la información y la transparencia en el uso de los modelos (Rončević et al., 2025). La evolución constante de estas herramientas permitirá que la neurocirugía y la neurología de la próxima década se fundamenten en una integración tecnológica rigurosa, orientada a maximizar la seguridad del paciente y la eficacia de las intervenciones a largo plazo (Alam et al., 2022; Tangsrivimol et al., 2023).

Tabla 3. Principales aplicaciones actuales de la IA en neurociencias

Área	Aplicación
Neurología	Alzheimer, Parkinson, Epilepsia, ECV
Neuroimagen	Segmentación tumoral, biopsia virtual
Neurocirugía	Planeación quirúrgica, neuronavegación
Educación	Simulación y evaluación técnica
Investigación	Modelos predictivos

Conclusiones

La inteligencia artificial se ha consolidado como una herramienta con enorme potencial dentro de la neurología y la neurocirugía, debido a su capacidad para procesar grandes volúmenes de información clínica, optimizar el análisis de neuroimágenes y contribuir a una toma de decisiones más rápida y precisa. Su aplicación ha permitido importantes avances en el diagnóstico temprano de enfermedades neurológicas, la planificación neuroquirúrgica, la predicción de complicaciones y el desarrollo de modelos terapéuticos cada vez más personalizados.

A lo largo de los estudios revisados, se evidenció que tecnologías como el machine learning, deep learning y los modelos predictivos no solo mejoran la precisión diagnóstica y quirúrgica, sino que también representan una oportunidad para fortalecer la seguridad del paciente, reducir errores médicos y ampliar el acceso a atención especializada. Asimismo, la integración de estas herramientas en áreas como la neuroimagen, la cirugía asistida, la simulación quirúrgica y la educación médica refleja el profundo impacto que la inteligencia artificial puede generar en las neurociencias modernas.

Sin embargo, el avance tecnológico también plantea desafíos importantes relacionados con la ética, la privacidad de los datos, los sesgos algorítmicos y la transparencia de los sistemas automatizados. Por ello, la implementación de inteligencia artificial en esta área debe realizarse bajo una supervisión clínica adecuada, priorizando siempre la seguridad, la autonomía y el bienestar del paciente.

El futuro de las neurociencias probablemente estará marcado por una integración cada vez mayor entre medicina, ingeniería y ciencia de datos. El desarrollo de sistemas más precisos podría transformar la práctica clínica y quirúrgica en las próximas décadas, favoreciendo una medicina más eficiente. No obstante, para alcanzar una aplicación verdaderamente segura será

indispensable mantener un equilibrio entre innovación tecnológica, responsabilidad ética y humanización de la atención médica.

La integración progresiva de la inteligencia artificial con neuroimagen avanzada, análisis molecular, robótica y sistemas de apoyo a la decisión clínica permitirá el desarrollo de una neurología y neurocirugía cada vez más precisas, predictivas y personalizadas. No obstante, la validación clínica continua, la transparencia algorítmica y la supervisión humana seguirán siendo elementos fundamentales para garantizar la seguridad y la calidad de la atención médica.

Referencias Bibliográficas

- Alam, S., Raja, P., & Gulzar, Y. (2022). Investigation of machine learning methods for early prediction of neurodevelopmental disorders in children. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2022, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2022/5766386>
- Awuah, W. A., Adebuseye, F. T., Wellington, J., David, L., Salam, A., Weng Yee, A. L., Lansiaux, E., Yarlagadda, R., Garg, T., Abdul-Rahman, T., Kalmanovich, J., Miteu, G. D., Kundu, M., & Mykolaivna, N. I. (2024). Recent outcomes and challenges of artificial intelligence, machine learning, and deep learning in neurosurgery. *World Neurosurgery: X*, 23(100301), 100301. <https://doi.org/10.1016/j.wnsx.2024.100301>
- Bösel, J., Mathur, R., Cheng, L., Varelas, M. S., Hobert, M. A., & Suarez, J. I. (2025). AI and neurology. *Neurological Research and Practice*, 7(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s42466-025-00367-2>
- Bravo, J., Wali, A. R., Hirshman, B. R., Gopesh, T., Steinberg, J. A., Yan, B., Pannell, J. S., Norbash, A., Friend, J., Khalessi, A. A., & Santiago-Dieppa, D. (2022). Robotics and artificial intelligence in endovascular neurosurgery. *Cureus*, 14(3), e23662. <https://doi.org/10.7759/cureus.23662>
- Cecconi, M., Greco, M., Shickel, B., Angus, D. C., Bailey, H., Bignami, E., Calandra, T., Celi, L. A., Einav, S., Elbers, P., Ercole, A., Gómez, H., Gong, M. N., Komorowski, M., Liu, V., Park, S., Sarwal, A., Seymour, C. W., Zampieri, F. G., ... Bihorac, A. (2025). Implementing artificial Intelligence in critical care medicine: A consensus of 22. *Critical Care (London, England)*, 29(1), 290. <https://doi.org/10.1186/s13054-025-05532-2>

-
- Dagi, T. F., Barker, F. G., & Glass, J. (2021). Machine learning and artificial intelligence in neurosurgery: Status, prospects, and challenges: Status, prospects, and challenges. *Neurosurgery*, 89(2), 133–142. <https://doi.org/10.1093/neuros/nyab170>
- Iqbal, J., Jahangir, K., Mashkoo, Y., Sultana, N., Mehmood, D., Ashraf, M., Iqbal, A., & Hafeez, M. H. (2022). The future of artificial intelligence in neurosurgery: A narrative review. *Surgical Neurology International*, 13(536), 536. https://doi.org/10.25259/SNI_877_2022
- Kalani, M., & Anjankar, A. (2024). Revolutionizing neurology: The role of artificial intelligence in advancing diagnosis and treatment. *Cureus*, 16(6), e61706. <https://doi.org/10.7759/cureus.61706>
- Koryciński, M., Ciecierski, K. A., & Niewiadomska-Szynkiewicz, E. (2025). Decision support systems in neurosurgery: Current applications and future directions. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 25(24), 7415. <https://doi.org/10.3390/s25247415>
- Li, W., Gumera, A., Surya, S., Edwards, A., Basiri, F., & Eves, C. (2025). The role of artificial intelligence in diagnostic neurosurgery: a systematic review. *Neurosurgical Review*, 48(1), 393. <https://doi.org/10.1007/s10143-025-03512-2>
- Mansour, M. A., El-Salamoni, M. A.-F., Zohney, M., Elshaer, A. M., Abdelwahab, M., Aziz, M. M., Ayoub, B., Mostafa, H. N., & El-Samman, A. (2025). Neurosurgery reimaged: How AI is redefining patient care and surgical excellence. *Intelligent Surgery*, 8, 84–91. <https://doi.org/10.1016/j.isurg.2025.06.002>
- Mofatteh, M. (2021). Neurosurgery and artificial intelligence. *AIMS Neuroscience*, 8(4), 477–495. <https://doi.org/10.3934/Neuroscience.2021025>
- Mohsin Khan, M., Shah, N., Shaikh, N., Thabet, A., Alrabayah, T., & Belkhair, S. (2025). Towards secure and trusted AI in healthcare: A systematic review of emerging innovations and ethical challenges. *International Journal of Medical Informatics*, 195(105780), 105780. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2024.105780>
- Patel, T., Ibrahim, H. Y., Henna, F., Nasir, F., Hussain, A., Naveed, R., Ur Rehman, A., Zehra Kazmi, S. R., Daishik Patel, B., Anand, N., & Millis, R. M. (2025). A narrative review on artificial intelligence in neurosurgery: ethical challenges and implementation considerations. *Annals of Medicine and Surgery* (2012), 87(12), 8654–8663. <https://doi.org/10.1097/MS9.0000000000004246>

-
- Roetzer-Pejrimovsky, T., Amberg, N., Widhalm, G., & Höftberger, R. (2026). AI-based methods in neuropathology for diagnosis and treatment of brain tumors. *European Journal of Neurology: The Official Journal of the European Federation of Neurological Societies*, 33(3), e70577. <https://doi.org/10.1111/ene.70577>
- Rončević, A., Koruga, N., Soldo Koruga, A., & Rončević, R. (2025). Artificial intelligence in glioblastoma-transforming diagnosis and treatment. *Chinese Neurosurgical Journal*, 11(1), 10. <https://doi.org/10.1186/s41016-025-00399-2>
- Rosca, C.-M., & Stancu, A. (2025). A review of neuro-ML breakthroughs in addressing neurological disorders. *Applied Sciences (Basel, Switzerland)*, 15(10), 5442. <https://doi.org/10.3390/app15105442>
- Schonfeld, E., Mordekai, N., Berg, A., Johnstone, T., Shah, A., Shah, V., Haider, G., Marianayagam, N. J., & Veeravagu, A. (2024). Machine learning in neurosurgery: Toward complex inputs, actionable predictions, and generalizable translations. *Cureus*, 16(1), e51963. <https://doi.org/10.7759/cureus.51963>
- Sugiyama, T., Sugimori, H., Tang, M., & Fujimura, M. (2025). Artificial intelligence for patient safety and surgical education in neurosurgery. *JMA Journal*, 8(1), 76–85. <https://doi.org/10.31662/jmaj.2024-0141>
- Szmyd, B., Podstawka, M., Wiśniewski, K., Zaczekowski, K., Puzio, T., Tomczyk, A., Wojciechowski, A., Jaskólski, D. J., & Bobeff, E. J. (2025). AI-driven innovations in neuroradiology and neurosurgery: Scoping review of current evidence and future directions. *Cancers*, 17(16), 2625. <https://doi.org/10.3390/cancers17162625>
- Tangsrivimol, J. A., Schonfeld, E., Zhang, M., Veeravagu, A., Smith, T. R., Härtl, R., Lawton, M. T., El-Sherbini, A. H., Prevedello, D. M., Glicksberg, B. S., & Krittanawong, C. (2023). Artificial intelligence in neurosurgery: A state-of-the-art review from past to future. *Diagnostics (Basel, Switzerland)*, 13(14), 2429. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13142429>
- Trasca, D.-M., Dorin, P. I., Carmen, S., Varut, R.-M., Singer, C. E., Radivojevic, K., & Stoica, G. A. (2025). Artificial intelligence in biomedicine: A systematic review from nanomedicine to neurology and hepatology. *Pharmaceutics*, 17(12), 1564. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics17121564>

Wang, R., Bashyam, V., Yang, Z., Yu, F., Tassopoulou, V., Chintapalli, S. S., Skampardoni, I., Sreepada, L. P., Sahoo, D., Nikita, K., Abdulkadir, A., Wen, J., & Davatzikos, C. (2023). Applications of generative adversarial networks in neuroimaging and clinical neuroscience. *NeuroImage*, 269(119898), 119898. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2023.119898>

Li Y, Zhang H, Wang X, et al. Artificial Intelligence–Driven Radiomics and Molecular Prediction in Glioma: Current Applications and Future Perspectives. *Frontiers in Oncology*. 2025;15:1452789. doi:10.3389/fonc.2025.1452789

Contribuciones de los autores:

Jimmy Fernando Yaguana Torres¹: Conceptualización del estudio, supervisión del proyecto, validación científica y revisión crítica del manuscrito.

Jorge Anoceto Millán²: Conceptualización del estudio, supervisión del proyecto, validación científica y revisión crítica del manuscrito.

Víctor José Barrera Avendaño³: Investigación, búsqueda y recopilación bibliográfica, análisis de la literatura científica y redacción del borrador original.

George William Rodríguez Correa⁴: Investigación, organización y análisis de la información científica, apoyo en la redacción y revisión del manuscrito.

Dana Milena Mosquera Calderón⁵: Diseño metodológico, validación de contenidos, revisión crítica, corrección académica y gestión del proyecto.

Agradecimiento: N/A

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existe conflicto de interés