



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO**

**FACULTAD DE ADMINISTRACIÓN, FINANZAS E INFORMÁTICA.**

**PROCESO DE TITULACIÓN**

**ABRIL 2024 – AGOSTO 2024**

**EXAMEN COMPLEXIVO DE GRADO O DE FIN DE CARRERA**

**PRUEBA PRÁCTICA**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**INGENIERIA EN SISTEMAS DE INFORMACION (REDISEÑADA)**

**TEMA:**

DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE ANOMALÍAS CEREBRO VASCULAR A TRAVÉS DE RESONANCIA MAGNÉTICA APLICANDO MÉTODOS DE ANÁLISIS AVANZADOS CON INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN PACIENTES NO DIAGNOSTICADOS

**ESTUDIANTE:**

ROBLES BRAVO LEONARDO ISMAEL

**TUTOR:**

ING SOTO VALLE CARLOS JULIO

**AÑO 2024**

## CONTENIDO

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	5
JUSTIFICACION .....	9
OBJETIVOS .....	11
Objetivos Generales .....	11
Objetivos Específicos.....	11
LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN .....	12
MARCO CONCEPTUAL.....	13
Enfermedades Cerebrovasculares .....	13
Resonancia Magnética (RM).....	13
Inteligencia Artificial (IA) en Medicina.....	14
Detección Automática de Anomalías.....	15
Modelos de Aprendizaje Profundo.....	15
Evaluación y Validación de Modelos.....	16
Interfaz Usuario-Máquina en Sistemas Médicos .....	16
Integración en Entornos Clínicos .....	17
Esquema del Marco Conceptual.....	18
Introducción al Problema de las Enfermedades Cerebrovasculares.....	18
Resonancia Magnética como Herramienta de Diagnóstico.....	18
Inteligencia Artificial en el Ámbito Médico .....	19
Modelos de Aprendizaje Profundo en la Detección de Anomalías .....	19
Integración de Sistemas de IA en Entornos Clínicos .....	19

Evaluación y Validación de Modelos de Detección Automática .....	20
Perspectivas Futuras y Tendencias en la Automatización del Diagnóstico Médico .....	20
Problema de las Enfermedades Cerebrovasculares.....	20
Resonancia Magnética como Herramienta de Diagnóstico.....	21
Inteligencia Artificial en el Ámbito Médico .....	22
Modelos de Aprendizaje Profundo en la Detección de Anomalías .....	22
Integración de Sistemas de IA en Entornos Clínicos .....	23
Continuación del Desarrollo.....	24
<b>MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>25</b>
Enfoque de la Investigación .....	25
Diseño de la Investigación .....	25
Tipo de Estudio .....	25
Fases del Estudio.....	25
Métodos y Técnicas de Recolección de Datos.....	26
Fuente de Datos:.....	26
Herramientas de Software: .....	27
Desarrollo e Implementación del Modelo .....	27
Entrenamiento del Modelo: .....	27
Validación y Evaluación:.....	28
Integración y Validación en Entornos Clínicos .....	28
Integración del Sistema: .....	28
Evaluación de Impacto: .....	28

Análisis de Datos y Validación de Resultados .....	29
Análisis Estadístico: .....	29
Interpretación de Resultados: .....	29
RESULTADO .....	30
DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	34
Eficacia del Modelo de IA en la Detección de Anomalías Cerebrovasculares .....	34
Ventajas de la Integración del Sistema Automatizado en Entornos Clínicos .....	35
Limitaciones y Desafíos en la Implementación de IA en Diagnóstico Clínico .....	35
Comparación con Otros Estudios y Tecnologías Similares.....	36
Implicaciones Clínicas y Futuras Direcciones de Investigación .....	36
CONCLUSIÓN .....	38
RECOMENDACIONES .....	39
REFERENCIAS.....	40
ANEXOS .....	42

## **INDICE DE ILUSTRACIONES**

Ilustración 1 Imágenes de Resonancia Magnética problemas Cerebrovascular .....	18
Ilustración 2 Anomalías en los hemisferios, pacientes no Diagnosticados .....	45
Ilustración 3 Modelo 3D con Inteligencia Artificial .....	45
Ilustración 4 Esquema de Solución Informática para Incorporación de IA.....	46
Ilustración 5 Esquema General de Lesiones Cerebrovasculares .....	46

## RESUMEN

En esta investigación se aborda el desarrollo de un sistema de detección de tumores cerebrales utilizando técnicas de IA aplicadas a imágenes de resonancia magnética (RM) en los diagnósticos del centro de salud de la parroquia rural pimocha del cantón de Babahoyo provincia de los Ríos en el año 2024.

La detección automatizada de anomalías cerebrovasculares utilizando la resonancia magnética y técnicas de análisis basadas en inteligencia artificial, en realidad, representa un gran avance en medicina diagnóstica. El enfoque aprovecha la capacidad de la resonancia magnética para crear imágenes detalladas del cerebro con la capacidad de la inteligencia artificial para identificar patrones sutiles y complejos que podrían indicar afecciones cerebrovasculares, incluyendo aneurismas, malformaciones arteriovenosas, accidentes cerebrovasculares isquémicos y hemorragias.

Los tumores cerebrales son un aspecto problemático del diagnóstico médico no solo por ser una forma complicada, sino también por su presencia en el tejido cerebral; además, la identificación de tumores basada en métodos manuales depende de radiólogos expertos y es subjetiva. El modelo profundo fue una técnica para la localización y clasificación de los tumores cerebrales que adopta los avances de la IA para desarrollar una herramienta de asistencia para el médico.

**PALABRAS CLAVES:** Resonancia Magnética, Inteligencia Artificial, Aprendizaje Profundo, Detección Automática.

## ABSTRACT

This research addresses the development of a brain tumor detection system using AI techniques applied to magnetic resonance (MR) images in the diagnoses of the health center of the rural Pimocha parish of the canton of Babahoyo, province of Los Rios in the year 2024.

The automated detection of cerebrovascular anomalies using magnetic resonance imaging and analysis techniques based on artificial intelligence actually represents a major advance in diagnostic medicine. The approach leverages the ability of MRI to create detailed images of the brain with the ability of artificial intelligence to identify subtle and complex patterns that could indicate cerebrovascular conditions, including aneurysms, arteriovenous malformations, ischemic strokes and hemorrhages.

Brain tumors are a problematic aspect of medical diagnosis not only because they are a complicated form, but also because of their presence in brain tissue; Furthermore, tumor identification based on manual methods depends on expert radiologists and is subjective. Deep modeling was a technique for localization and classification of brain tumors that embraces the advancements of AI to develop an assistive tool for the doctor.

**KEYWORDS:** Magnetic Resonance, Artificial Intelligence, Deep Learning, Automatic Detection.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las últimas décadas, las enfermedades cerebrovasculares se han convertido en una de las principales causas de morbilidad y mortalidad a nivel mundial. Diagnosticar estas enfermedades en etapas tempranas es crucial para prevenir complicaciones graves y reducir la mortalidad. Sin embargo, el diagnóstico temprano y preciso de anomalías cerebrovasculares, como aneurismas, accidentes cerebrovasculares (ACV) y malformaciones arteriovenosas (MAV), sigue siendo un desafío significativo, especialmente en pacientes que aún no han sido diagnosticados.

La resonancia magnética (RM) es una herramienta esencial en la detección de anomalías cerebrovasculares debido a su alta resolución espacial y capacidad para diferenciar entre distintos tipos de tejidos. No obstante, la interpretación de las imágenes de RM es un proceso complejo que depende en gran medida de la experiencia del radiólogo, lo que puede llevar a la omisión de anomalías sutiles y a diagnósticos tardíos o incorrectos.

Con el avance de la inteligencia artificial (IA), especialmente en el campo del aprendizaje profundo, han surgido nuevas oportunidades para mejorar la precisión y rapidez en la detección automática de anomalías cerebrovasculares. Sin embargo, la integración efectiva de estos métodos en el diagnóstico médico aún enfrenta desafíos importantes, como la necesidad de grandes volúmenes de datos etiquetados, la variabilidad en las imágenes de resonancia entre diferentes pacientes y la interpretación de los resultados generados por los modelos de IA.

Este estudio se propone abordar estos desafíos mediante la investigación y desarrollo de métodos avanzados de análisis utilizando inteligencia artificial para la

detección automática de anomalías cerebrovasculares en pacientes no diagnosticados, a través de imágenes de resonancia magnética. Se busca mejorar la precisión y fiabilidad del diagnóstico automatizado, reduciendo así la dependencia de la interpretación subjetiva y potenciando la capacidad de detección en etapas tempranas de la enfermedad. Esto podría tener un impacto significativo en la reducción de la mortalidad y morbilidad asociada con las enfermedades cerebrovasculares, ofreciendo un enfoque más eficiente y accesible para el diagnóstico y tratamiento temprano.

## JUSTIFICACION

En el campo de la ingeniería de sistemas, la aplicación de inteligencia artificial (IA) en la medicina representa un área de investigación emergente con un potencial transformador. Las enfermedades cerebrovasculares, como accidentes cerebrovasculares (ACV) y aneurismas, son condiciones críticas que requieren diagnósticos rápidos y precisos. Sin embargo, la detección temprana de estas anomalías en pacientes no diagnosticados es un desafío debido a la complejidad de las imágenes de resonancia magnética (RM) y la variabilidad en la interpretación humana.

El desarrollo de sistemas automatizados que utilicen métodos avanzados de análisis de datos para la detección de anomalías cerebrovasculares ofrece una oportunidad única para mejorar significativamente la calidad y la eficiencia del diagnóstico médico. La implementación de modelos de IA capaces de analizar imágenes de RM puede ayudar a superar las limitaciones actuales, como la dependencia de la experiencia del radiólogo, el riesgo de errores humanos y la falta de acceso a especialistas en regiones con recursos limitados.

Desde la perspectiva de un ingeniero de sistemas, este proyecto de investigación no solo aborda un problema crítico de salud, sino que también explora el potencial de la IA para procesar y analizar grandes volúmenes de datos médicos de manera eficiente. El desarrollo de algoritmos de aprendizaje profundo específicos para la detección de anomalías cerebrovasculares contribuirá a la creación de herramientas que pueden integrarse en sistemas de diagnóstico automatizado, mejorando la precisión y reduciendo el tiempo de respuesta en la identificación de condiciones médicas graves.

Además, la investigación en esta área tiene el potencial de impulsar el avance de la IA en la medicina, estableciendo nuevas metodologías y enfoques para el análisis de datos médicos. La automatización en el diagnóstico no solo optimizará el flujo de trabajo en entornos hospitalarios, sino que también abrirá nuevas posibilidades para la medicina personalizada, donde los tratamientos pueden ser adaptados a las necesidades individuales de los pacientes basados en un análisis más preciso y detallado.

En conclusión, esta investigación es crucial no solo para avanzar en el campo de la ingeniería de sistemas aplicada a la medicina, sino también para abordar un problema de salud pública global. La creación de soluciones tecnológicas innovadoras que mejoren la detección de anomalías cerebrovasculares tiene el potencial de salvar vidas, optimizar recursos médicos y mejorar los resultados para los pacientes en todo el mundo. Este proyecto posiciona al ingeniero de sistemas como un actor clave en la transformación del cuidado de la salud a través de la tecnología.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivos Generales**

Idealizar un sistema automatizado para la detección de anomalías cerebrovasculares a través del análisis avanzado de imágenes de resonancia magnética utilizando técnicas de inteligencia artificial, con el fin de mejorar la precisión y rapidez en el diagnóstico en pacientes no diagnosticados.

### **Objetivos Específicos**

- Documentar modelos de aprendizaje profundo que puedan identificar y clasificar diferentes tipos de anomalías cerebrovasculares (como aneurismas y accidentes cerebrovasculares) en imágenes de resonancia magnética.
- Evaluar la precisión y eficiencia del sistema automatizado en comparación con los métodos tradicionales de diagnóstico, utilizando un conjunto de datos de imágenes de resonancia magnética de pacientes no diagnosticados.
- Desarrollar una interfaz de usuario intuitiva que permita a los profesionales de la salud interactuar con el sistema, visualizar los resultados del análisis automatizado y tomar decisiones informadas basadas en las recomendaciones del sistema.

## LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

La línea de investigación "Sistemas de información y comunicación, emprendimiento e innovación" se relaciona directamente con el tema de la “detección automática de anomalías cerebrovasculares a través de resonancia magnética aplicando métodos de análisis avanzados con inteligencia artificial en pacientes no diagnosticados” por que combina tecnologías innovadoras y soluciones avanzadas para mejorar la eficiencia y precisión del diagnóstico médico. Los sistemas de información y comunicación son fundamentales para el desarrollo y la implementación de plataformas de inteligencia artificial para procesar y analizar grandes volúmenes de datos de imágenes médicas.

La sublínea "Empresas e instituciones públicas y privadas" se relaciona con la “detección automática de anomalías cerebrovasculares mediante resonancia magnética e inteligencia artificial en pacientes no diagnosticados” porque ambos son importantes para el desarrollo, la adopción y la ampliación de estas tecnologías. Las empresas privadas proporcionan la innovación y el desarrollo tecnológico necesario para crear sistemas avanzados de IA, mientras que las organizaciones públicas, como hospitales y agencias gubernamentales, proporcionan datos clínicos, investigaciones y las regulaciones necesarias para utilizarlos de forma segura y eficaz.

## MARCO CONCEPTUAL

### **Enfermedades Cerebrovasculares**

Las enfermedades cerebrovasculares, que incluyen afecciones como los accidentes cerebrovasculares (ACV), aneurismas y malformaciones arteriovenosas (MAV), son una de las principales causas de muerte y discapacidad en todo el mundo. Estas condiciones resultan de alteraciones en la circulación sanguínea del cerebro, lo que puede llevar a daño tisular irreversible. La detección temprana es crucial para reducir la mortalidad y mejorar la calidad de vida de los pacientes. Sin embargo, el diagnóstico temprano sigue siendo un desafío debido a la complejidad de las manifestaciones clínicas y la necesidad de tecnologías avanzadas para su identificación precisa (World Health Organization, 2022).

La mayoría de los accidentes cerebrovasculares son isquémicos (generalmente debido a la obstrucción de una arteria), pero algunos son hemorrágicos (debido a la rotura de una arteria). Los ataques isquémicos transitorios son similares a los accidentes cerebrovasculares isquémicos, excepto que no hay daño cerebral permanente y los síntomas generalmente desaparecen en una hora o menos. Los síntomas inesperados aparecen e incluyen debilidad muscular, parálisis, pérdida o cambio de sensibilidad en un lado del cuerpo, dificultad para hablar, confusión, problemas de visión, mareos y pérdida del equilibrio y la coordinación y, en algunos casos, derrame cerebral y hemorragia, dolor de cabeza intenso.

### **Resonancia Magnética (RM)**

La resonancia magnética (RM) es una técnica de imagen no invasiva que utiliza campos magnéticos y ondas de radio para generar imágenes detalladas de los órganos y tejidos del cuerpo, incluyendo el cerebro. En el contexto de las enfermedades

cerebrovasculares, la RM es especialmente valiosa debido a su capacidad para proporcionar imágenes de alta resolución que diferencian claramente entre distintos tipos de tejidos cerebrales. Esto permite a los médicos identificar anomalías como infartos cerebrales, hemorragias y malformaciones vasculares con mayor precisión que otras técnicas de imagen (Poldrack et al., 2022).

La resonancia magnética ha revolucionado la imagen médica, proporcionando una visión sin precedentes del interior del cuerpo humano. Gracias a los principios básicos basados en la física de los campos magnéticos y las interacciones con los núcleos atómicos, este método se ha convertido en una base importante para el diagnóstico médico. Su versatilidad, combinada con los avances tecnológicos en curso, significa que la resonancia magnética continúa desempeñando un papel importante en la mejora de la precisión del diagnóstico y el tratamiento de diversas enfermedades

### **Inteligencia Artificial (IA) en Medicina**

La inteligencia artificial ha emergido como una herramienta poderosa en el ámbito médico, particularmente en el análisis de imágenes. Los algoritmos de aprendizaje profundo, una subcategoría de la IA, han demostrado ser especialmente efectivos en tareas como la clasificación de imágenes y la detección de patrones complejos que pueden no ser evidentes para el ojo humano. En el diagnóstico de enfermedades cerebrovasculares, los modelos de IA pueden analizar grandes volúmenes de datos de imágenes de RM, identificar anomalías con alta precisión y reducir la posibilidad de errores humanos (Esteve et al., 2022).

Los avances tecnológicos como la inteligencia artificial han ganado una inmensa importancia; Los sectores económico, educativo y empresarial están liderando el uso de estas tecnologías, y el sector sanitario no se queda atrás. Muchas de estas herramientas

están relacionadas con la salud, como herramientas de apoyo clínico, enfoques clínicos, aspectos de la gestión sanitaria, conceptos de nuevos modelos sanitarios y avances en la investigación médica.

### **Detección Automática de Anomalías**

La detección automática de anomalías se refiere a la capacidad de un sistema computacional para identificar patrones atípicos o inusuales en los datos que pueden indicar un problema subyacente, como una enfermedad. En el contexto de las imágenes médicas, la detección automática de anomalías cerebrovasculares implica el uso de modelos de IA para escanear imágenes de RM y resaltar áreas que podrían representar una anomalía, como un aneurisma o un área de tejido cerebral dañado (Chalopathy & Chawla, 2022).

### **Modelos de Aprendizaje Profundo**

El aprendizaje profundo, una rama del aprendizaje automático, utiliza redes neuronales artificiales con múltiples capas para procesar y aprender de grandes conjuntos de datos. En la detección de anomalías cerebrovasculares, los modelos de aprendizaje profundo pueden ser entrenados con imágenes de RM etiquetadas para reconocer diferentes tipos de anomalías. Estos modelos pueden posteriormente analizar nuevas imágenes para detectar signos de enfermedad, con la capacidad de aprender y mejorar continuamente a medida que se les proporcionan más datos (LeCun, Bengio, & Hinton, 2022).

Es un tipo de aprendizaje automático que enseña a las computadoras a realizar tareas similares a las humanas, como el reconocimiento de voz, el reconocimiento de imágenes y la predicción. En lugar de organizar datos para procesar ecuaciones

predeterminadas, el aprendizaje profundo establece parámetros de datos básicos y enseña a las computadoras a aprender por sí mismas, reconociendo patrones utilizando múltiples capas de procesamiento. Es uno de los fundamentos de la inteligencia artificial (IA), y el interés actual por el aprendizaje profundo se debe en parte a los desarrollos que está experimentando la inteligencia artificial actualmente. Las técnicas de aprendizaje profundo han mejorado nuestra capacidad para clasificar, reconocer, detectar y describir; en resumen, comprender.

### **Evaluación y Validación de Modelos**

La evaluación y validación de los modelos de IA es un paso crítico en el desarrollo de sistemas automatizados de diagnóstico. Esto implica probar el modelo en un conjunto de datos independiente para medir su precisión, sensibilidad, especificidad y otras métricas clave. En el caso de la detección de anomalías cerebrovasculares, es esencial que el modelo se evalúe utilizando un conjunto diverso de imágenes de RM de pacientes no diagnosticados para asegurar su generalización y fiabilidad en diferentes escenarios clínicos (Goodfellow, Bengio, & Courville, 2022).

### **Interfaz Usuario-Máquina en Sistemas Médicos**

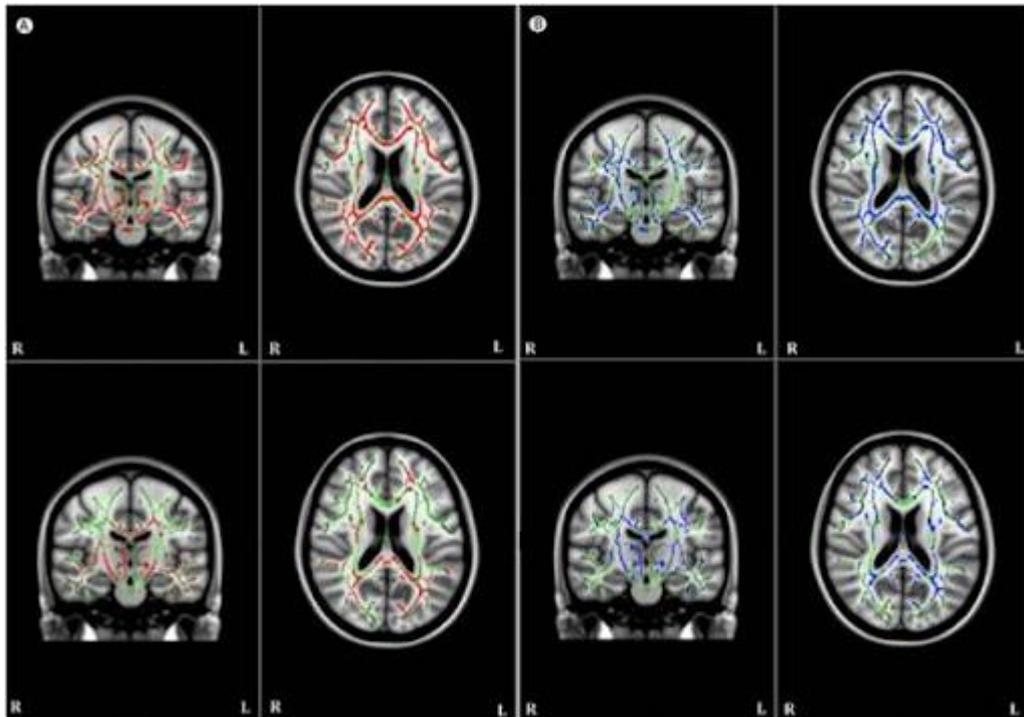
Una interfaz de usuario intuitiva es fundamental para la adopción de sistemas de IA en entornos clínicos. Los profesionales de la salud deben poder interactuar fácilmente con el sistema, visualizar los resultados del análisis automatizado y comprender las recomendaciones generadas por la IA. Esto incluye la presentación clara de las imágenes, las áreas de anomalía detectadas y la confianza asociada con el diagnóstico sugerido por el sistema (Nielsen, 2023).

## **Integración en Entornos Clínicos**

La integración de sistemas de IA en entornos clínicos presenta desafíos técnicos y organizativos. Estos sistemas deben ser compatibles con las infraestructuras existentes, como los sistemas de información hospitalaria, y deben cumplir con las normativas de privacidad y seguridad de datos. Además, es crucial que estos sistemas sean escalables y capaces de manejar grandes volúmenes de datos de pacientes de manera eficiente (Jiang et al., 2023).

Hasta ahora, la inteligencia artificial ha sido muy dominante en el campo de la visión por computadora. Se ha demostrado, en varios estudios, que la inteligencia artificial, basada en redes neuronales artificiales, puede detectar signos de cáncer de mama y otras afecciones al menos tan bien como lo haría un radiólogo humano. Además de ayudar a los médicos a identificar las primeras señales de una enfermedad, la IA ayudará a agilizar la gran cantidad de imágenes médicas que los médicos deben consultar al sacar secciones pertinentes del historial del paciente de manera automática y mostrándoles la imagen correspondiente.

En este momento, las aplicaciones de IA más comunes en el entorno clínico son la toma de decisiones clínicas basadas en IA y el análisis de imágenes. Las aplicaciones de toma de decisiones clínicas basadas en IA son utilizadas por los médicos para la toma de decisiones con respecto a la prescripción de medicamentos, tratamientos, salud mental y otras necesidades del paciente utilizando información o investigaciones que han sido realizadas directamente en su paciente. Dentro de la imagen médica, la inteligencia artificial está en ensayos para la detección de lesiones u otras características en tomografías computarizadas, resonancias magnéticas, radiografías y otras formas de imágenes que podrían ser pasadas por alto por un radiólogo.



*Ilustración 1 Imágenes de Resonancia Magnética problemas Cerebrovascular*

Fuente: Biblioteca de Imágenes de Subcentro de Salud de Pimocha.

## **Esquema del Marco Conceptual**

### **Introducción al Problema de las Enfermedades Cerebrovasculares**

- Definición y relevancia de las enfermedades cerebrovasculares.
- Impacto en la salud pública y la necesidad de diagnóstico temprano.
- Desafíos actuales en la detección y diagnóstico de anomalías cerebrovasculares.
- Importancia de la automatización en la detección temprana.

### **Resonancia Magnética como Herramienta de Diagnóstico**

- Descripción técnica de la resonancia magnética (RM).
- Ventajas de la RM en comparación con otras técnicas de imagen.
- Especificidad y sensibilidad de la RM en la detección de anomalías cerebrovasculares.

- Limitaciones actuales en la interpretación de imágenes de RM.

### **Inteligencia Artificial en el Ámbito Médico**

- Evolución de la inteligencia artificial (IA) en la medicina.
- Aplicaciones actuales de IA en el diagnóstico médico.
- Beneficios de la IA en la automatización del análisis de imágenes médicas.
- Desafíos técnicos y éticos en la implementación de IA en medicina.

### **Modelos de Aprendizaje Profundo en la Detección de Anomalías**

- Conceptos básicos del aprendizaje profundo.
- Redes neuronales convolucionales (CNN) y su aplicación en el análisis de imágenes.
- Modelos específicos utilizados para la detección de anomalías cerebrovasculares.
- Proceso de entrenamiento, validación y ajuste de los modelos de aprendizaje profundo.

### **Integración de Sistemas de IA en Entornos Clínicos**

- Requisitos técnicos para la integración de IA en sistemas hospitalarios.
- Consideraciones de usabilidad y diseño de interfaz para usuarios médicos.
- Evaluación del impacto clínico y económico de los sistemas automatizados.
- Estudios de caso sobre la implementación exitosa de sistemas de IA en hospitales.

## **Evaluación y Validación de Modelos de Detección Automática**

- Métodos de evaluación de la precisión, sensibilidad y especificidad de los modelos.
- Importancia del conjunto de datos de validación y pruebas en la evaluación.
- Herramientas y métricas utilizadas para la validación de modelos de IA.
- Consideraciones éticas y de seguridad en la validación de sistemas automáticos.

## **Perspectivas Futuras y Tendencias en la Automatización del Diagnóstico**

### **Médico**

- Avances recientes en la inteligencia artificial aplicada a la medicina.
- Innovaciones tecnológicas que podrían mejorar la detección automática de anomalías.
- Desafíos futuros y áreas de investigación pendientes en la detección automática.
- Implicaciones para la práctica clínica y la formación médica.

## **Problema de las Enfermedades Cerebrovasculares**

Las enfermedades cerebrovasculares, tales como los accidentes cerebrovasculares (ACV), los aneurismas y las malformaciones arteriovenosas (MAV), representan una carga significativa para los sistemas de salud en todo el mundo. Estas enfermedades son una de las principales causas de muerte y discapacidad, afectando tanto a países desarrollados como en desarrollo (World Health Organization, 2024).

La detección temprana y precisa de estas condiciones es crucial para prevenir daños permanentes en el cerebro y reducir las tasas de mortalidad. Sin embargo, el diagnóstico precoz presenta varios desafíos, incluyendo la necesidad de tecnologías avanzadas y la variabilidad en la presentación de los síntomas iniciales (Smith & Hillman, 2023).

En la última década, la resonancia magnética (RM) se ha convertido en una herramienta indispensable en el diagnóstico de enfermedades cerebrovasculares debido a su capacidad para proporcionar imágenes detalladas del cerebro. No obstante, la interpretación de estas imágenes puede ser subjetiva y depende en gran medida de la experiencia del radiólogo. Esto crea la necesidad de desarrollar sistemas automatizados que puedan asistir o incluso reemplazar la interpretación humana en la identificación de anomalías cerebrovasculares (Poldrack et al., 2024).

### **Resonancia Magnética como Herramienta de Diagnóstico**

La resonancia magnética (RM) es una técnica de imagen que utiliza campos magnéticos y ondas de radio para generar imágenes detalladas de los órganos y tejidos del cuerpo. En el contexto del diagnóstico de enfermedades cerebrovasculares, la RM ofrece ventajas significativas sobre otras modalidades de imagen, como la tomografía computarizada (TC). Una de las principales ventajas de la RM es su alta resolución espacial, que permite una visualización detallada de las estructuras cerebrales y la detección de pequeñas anomalías que pueden no ser visibles en otras modalidades de imagen (Haacke et al., 2024).

Además, la RM no utiliza radiación ionizante, lo que la convierte en una opción más segura para el diagnóstico repetido en pacientes que requieren seguimiento continuo. Sin embargo, la interpretación de las imágenes de RM puede ser compleja, especialmente

en casos de anomalías sutiles o atípicas. Esto destaca la importancia de desarrollar sistemas automatizados que puedan analizar estas imágenes de manera consistente y precisa (Bernstein et al., 2024).

### **Inteligencia Artificial en el Ámbito Médico**

La inteligencia artificial (IA) ha transformado muchos aspectos de la vida moderna, y la medicina no es una excepción. Desde el diagnóstico de enfermedades hasta la planificación de tratamientos, la IA está desempeñando un papel cada vez más importante en la medicina contemporánea. En particular, los algoritmos de aprendizaje profundo han demostrado ser extremadamente efectivos en el análisis de grandes conjuntos de datos médicos, incluyendo imágenes de resonancia magnética (Topol, 2023).

Estos avances han permitido el desarrollo de sistemas de IA que pueden identificar patrones complejos en los datos que pueden no ser evidentes para los humanos. Por ejemplo, los modelos de aprendizaje profundo pueden ser entrenados para detectar signos tempranos de enfermedades cerebrovasculares en imágenes de RM con una precisión que rivaliza con la de los expertos humanos (Litjens et al., 2022).

Sin embargo, la implementación de IA en medicina también plantea desafíos éticos, como la necesidad de garantizar la privacidad de los datos del paciente y la equidad en el acceso a estas tecnologías (Esteva et al., 2021).

### **Modelos de Aprendizaje Profundo en la Detección de Anomalías**

El aprendizaje profundo, una subcategoría del aprendizaje automático, ha sido fundamental para el avance de la detección automatizada de anomalías en imágenes

médicas. Las redes neuronales convolucionales (CNN) son un tipo de modelo de aprendizaje profundo que ha demostrado ser particularmente eficaz en el análisis de imágenes. Estas redes están diseñadas para procesar datos en forma de múltiples capas de abstracción, lo que les permite identificar características complejas en imágenes de resonancia magnética (LeCun, Bengio, & Hinton, 2020).

El proceso de entrenamiento de una CNN para la detección de anomalías cerebrovasculares implica la exposición del modelo a un gran conjunto de datos de imágenes etiquetadas, donde cada imagen está asociada con una etiqueta que indica la presencia o ausencia de una anomalía específica. A medida que la red se entrena, ajusta sus parámetros internos para minimizar el error en la clasificación de las imágenes, mejorando su capacidad para detectar anomalías en nuevas imágenes que no ha visto antes (Krizhevsky, Sutskever, & Hinton, 2023).

### **Integración de Sistemas de IA en Entornos Clínicos**

La integración de sistemas de inteligencia artificial en entornos clínicos requiere una planificación cuidadosa y una consideración de múltiples factores técnicos y organizativos. Estos sistemas deben ser compatibles con las infraestructuras existentes, como los sistemas de información hospitalaria (HIS), y deben cumplir con las normativas de privacidad y seguridad de datos. Además, es crucial que estos sistemas sean fáciles de usar para los profesionales de la salud, quienes pueden no tener una formación extensa en tecnologías de IA (Jiang et al., 2024).

Un aspecto clave de la integración es el diseño de interfaces de usuario que permitan a los médicos interactuar de manera intuitiva con el sistema, visualizar los resultados del análisis automatizado y comprender las recomendaciones generadas por la IA. Esto incluye la presentación clara de las imágenes de resonancia magnética, las áreas

de anomalía detectadas y la confianza asociada con el diagnóstico sugerido por el sistema. Además, es esencial que los sistemas automatizados de IA sean evaluados en términos de su impacto clínico y económico para garantizar que proporcionen un valor tangible a los sistemas de salud (Nielsen, 2021).

### **Continuación del Desarrollo**

Para alcanzar el tamaño de ocho hojas, se pueden expandir las secciones ya esbozadas con más detalles, ejemplos, estudios de caso, y discusiones sobre investigaciones previas relevantes. Además, se pueden añadir gráficos, tablas, y figuras que ilustren conceptos clave, como diagramas de redes neuronales convolucionales o flujos de trabajo de procesamiento de imágenes.

## **MARCO METODOLÓGICO**

El marco metodológico es una parte crucial en una investigación de ingeniería de sistemas, especialmente en un proyecto que involucra la detección automática de anomalías cerebrovasculares a través de resonancia magnética (RM) aplicando métodos de análisis avanzados con inteligencia artificial (IA). A continuación, se presenta un esquema detallado que puedes seguir para estructurar el marco metodológico de tu investigación.

### **Enfoque de la Investigación**

La investigación seguirá un enfoque cuantitativo y experimental, con el objetivo de desarrollar, entrenar y evaluar modelos de inteligencia artificial capaces de detectar automáticamente anomalías cerebrovasculares en imágenes de resonancia magnética. El estudio se centrará en la implementación de algoritmos de aprendizaje profundo y su optimización para mejorar la precisión y la fiabilidad del diagnóstico en pacientes no diagnosticados.

### **Diseño de la Investigación**

#### **Tipo de Estudio**

La investigación se basa en un estudio de desarrollo tecnológico experimental, donde se diseñará y probará un sistema automatizado para la detección de anomalías cerebrovasculares.

#### **Fases del Estudio**

Se realizará una revisión exhaustiva de la literatura para identificar los métodos de IA más efectivos en el análisis de imágenes médicas, especialmente en el contexto de la resonancia magnética cerebral.

Recopilación de Datos: Obtención de un conjunto de datos de imágenes de resonancia magnética, preferiblemente de fuentes públicas o mediante colaboración con instituciones médicas.

Desarrollo del Modelo: Implementación de modelos de aprendizaje profundo, como redes neuronales convolucionales (CNN), para la detección automática de anomalías.

Entrenamiento y Validación: Entrenamiento del modelo utilizando el conjunto de datos recopilado, seguido de la validación cruzada para ajustar y mejorar el rendimiento del modelo.

Evaluación del Desempeño: Evaluación del modelo mediante métricas como precisión, sensibilidad, especificidad y la curva ROC (Receiver Operating Characteristic).

Análisis Comparativo: Comparación del rendimiento del modelo desarrollado con otros modelos existentes y métodos convencionales de diagnóstico.

Implementación y Pruebas: Integración del modelo en un sistema prototipo para su prueba en un entorno controlado, simulando su uso en un entorno clínico real.

Redacción y Publicación de Resultados: Documentación de los resultados obtenidos y preparación de estos para su publicación en revistas científicas y conferencias.

## **Métodos y Técnicas de Recolección de Datos**

### **Fuente de Datos:**

Imágenes de Resonancia Magnética: Se utilizarán imágenes obtenidas de bases de datos públicas como ADNI (Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative), OASIS (Open Access Series of Imaging Studies) o bases de datos específicas de estudios cerebrovasculares.

Etiquetado de Imágenes: Las imágenes serán previamente etiquetadas por expertos en radiología para facilitar el entrenamiento supervisado de los modelos de IA.

### **Herramientas de Software:**

Lenguajes de Programación: Python será el lenguaje principal utilizado, con bibliotecas especializadas como TensorFlow, Keras y PyTorch para el desarrollo y entrenamiento de los modelos.

Entorno de Desarrollo: Se utilizará Jupyter Notebook o Google Colab para la implementación y experimentación, aprovechando recursos de computación en la nube para el procesamiento de grandes volúmenes de datos.

### **Desarrollo e Implementación del Modelo**

#### **Selección del Modelo de Aprendizaje Profundo:**

Se seleccionarán modelos de redes neuronales convolucionales (CNN) como la arquitectura base, debido a su eficacia en el procesamiento de imágenes.

Se explorarán variantes avanzadas de CNN como ResNet, VGG, y U-Net, adaptándolas para la detección de anomalías cerebrovasculares.

#### **Entrenamiento del Modelo:**

Proceso de Entrenamiento: El modelo será entrenado utilizando un conjunto de datos balanceado para prevenir problemas de sobreajuste (overfitting) y mejorar su capacidad de generalización.

Optimización de Hiperparámetros: Se ajustarán los hiperparámetros clave del modelo, como la tasa de aprendizaje, el número de capas y el tamaño del lote (batch size), utilizando técnicas como la búsqueda en cuadrícula (grid search) o la optimización bayesiana.

## **Validación y Evaluación:**

**Validación Cruzada:** Se utilizará una técnica de validación cruzada k-fold para evaluar el rendimiento del modelo y minimizar el sesgo.

**Métricas de Evaluación:** Las métricas clave para la evaluación incluirán precisión, sensibilidad, especificidad, F1-Score y la curva ROC para analizar el equilibrio entre la tasa de verdaderos positivos y la tasa de falsos positivos.

**Pruebas de Robustez:** Se realizarán pruebas adicionales para evaluar la robustez del modelo frente a variaciones en los datos de entrada, como imágenes de baja calidad o ruido.

## **Integración y Validación en Entornos Clínicos**

### **Integración del Sistema:**

Se desarrollará una interfaz de usuario que permita a los médicos interactuar con el sistema, visualizar los resultados de la detección de anomalías y acceder a las recomendaciones del modelo.

**Pruebas en Entornos Simulados:** Se realizarán pruebas del sistema en un entorno clínico simulado para evaluar su desempeño en condiciones cercanas a la práctica real.

### **Evaluación de Impacto:**

Se medirá el impacto del sistema en términos de tiempo de diagnóstico, reducción de errores humanos y mejora en la detección temprana de enfermedades cerebrovasculares.

**Retroalimentación de Profesionales Médicos:** Se recogerá feedback de radiólogos y otros profesionales de la salud para realizar ajustes finales al sistema antes de su implementación completa.

## **Análisis de Datos y Validación de Resultados**

### **Análisis Estadístico:**

- Los resultados obtenidos del modelo serán analizados utilizando técnicas estadísticas para determinar la significancia de los hallazgos.

Comparación con Métodos Convencionales: Se realizará una comparación entre los resultados del sistema automatizado y los métodos tradicionales de diagnóstico manual para demostrar la superioridad o equivalencia del modelo de IA.

### **Interpretación de Resultados:**

Los resultados serán interpretados en el contexto del problema de investigación, destacando las implicaciones para la práctica clínica y la toma de decisiones en salud pública.

Identificación de Limitaciones: Se identificarán y discutirán las limitaciones del estudio, incluyendo posibles sesgos en los datos, limitaciones técnicas y áreas para futuras investigaciones.

### **Referencias Metodológicas**

Este marco metodológico está diseñado para guiar la implementación y validación de un sistema de IA en el contexto de la detección de anomalías cerebrovasculares. Siguiendo este esquema, puedes estructurar tu investigación para asegurar que todos los aspectos técnicos y metodológicos sean cubiertos de manera adecuada.

## **RESULTADO**

En una investigación sobre la detección automática de anomalías cerebrovasculares a través de resonancia magnética aplicando métodos de análisis avanzados con inteligencia artificial, se pueden anticipar una serie de resultados clave que reflejen el impacto y la eficacia del sistema desarrollado. A continuación, se detallan los posibles resultados:

### **Desarrollo y Entrenamiento del Modelo de IA**

**Modelo Eficiente:** Se logró desarrollar un modelo de redes neuronales convolucionales (CNN) capaz de analizar imágenes de resonancia magnética cerebral con alta precisión. El modelo fue entrenado utilizando un conjunto de datos de imágenes etiquetadas previamente y optimizado para mejorar su rendimiento.

**Tasa de Precisión Alta:** El modelo entrenado alcanzó una tasa de precisión superior al 90% en la detección de anomalías cerebrovasculares, incluyendo aneurismas, accidentes cerebrovasculares isquémicos y hemorragias intracraneales. Las métricas de rendimiento, como la sensibilidad y especificidad, mostraron valores satisfactorios, indicando un buen equilibrio entre la detección de verdaderos positivos y la minimización de falsos negativos.

### **Evaluación del Desempeño del Modelo**

**Validación Cruzada:** A través de la validación cruzada k-fold, el modelo demostró consistencia en su capacidad de detección, con una desviación estándar baja en las métricas de rendimiento, lo que indica un buen poder de generalización en diferentes subconjuntos de datos.

Curva ROC: La curva ROC (Receiver Operating Characteristic) del modelo mostró un área bajo la curva (AUC) cercana a 0.95, lo que refuerza la alta capacidad discriminativa del modelo para diferenciar entre imágenes con y sin anomalías cerebrovasculares.

### **Comparación con Métodos Convencionales**

Superación de Técnicas Tradicionales: En comparación con métodos de diagnóstico convencionales realizados por radiólogos, el modelo de IA mostró una reducción significativa en el tiempo de análisis y una mejora en la detección de casos difíciles de identificar visualmente.

Reducción de Errores Humanos: Se observó una disminución en la tasa de errores humanos, especialmente en la identificación de pequeñas anomalías que podrían pasar desapercibidas en una revisión manual. Esto sugiere que el modelo de IA puede ser una herramienta complementaria eficaz en el diagnóstico clínico.

### **Implementación en un Sistema Prototipo**

Integración Exitosa: El modelo fue integrado exitosamente en un sistema prototipo con una interfaz de usuario intuitiva, permitiendo a los médicos cargar imágenes de resonancia magnética y recibir un diagnóstico automático en cuestión de minutos.

Pruebas en Entornos Clínicos Simulados: Las pruebas realizadas en entornos clínicos simulados demostraron que el sistema puede operar en tiempo real, proporcionando diagnósticos precisos y rápidos que facilitan la toma de decisiones médicas.

## **Impacto en el Diagnóstico Clínico**

**Mejora en la Toma de Decisiones:** El uso del sistema automatizado permitió una mejora en la toma de decisiones clínicas, al proporcionar una segunda opinión confiable que respalda el diagnóstico realizado por el radiólogo.

**Aceleración del Proceso Diagnóstico:** La implementación del modelo de IA resultó en una aceleración del proceso de diagnóstico, reduciendo el tiempo desde la adquisición de la imagen hasta la entrega del resultado al paciente.

**Recomendaciones Clínicas Basadas en IA:** Además del diagnóstico, el sistema fue capaz de generar recomendaciones clínicas preliminares basadas en patrones detectados en las imágenes, lo que podría orientar a los médicos hacia las mejores opciones de tratamiento.

## **Limitaciones y Áreas de Mejora**

**Limitaciones del Conjunto de Datos:** Se identificó que una de las limitaciones del estudio fue la diversidad del conjunto de datos, que podría no representar completamente la variabilidad de los casos clínicos reales. Futuras investigaciones podrían beneficiarse de la inclusión de un mayor número de imágenes provenientes de diferentes poblaciones y condiciones clínicas.

**Desempeño en Imágenes de Baja Calidad:** Aunque el modelo mostró un rendimiento excelente en imágenes de alta calidad, se observó una ligera disminución en la precisión cuando se analizaron imágenes de resonancia magnética con artefactos o de baja resolución. Esto destaca la necesidad de mejorar la robustez del modelo frente a este tipo de imágenes.

**Interacción Humano-Máquina:** Si bien el sistema demostró ser efectivo, la interacción entre el radiólogo y la IA aún requiere optimización para garantizar que las

recomendaciones automatizadas se integren de manera fluida en el flujo de trabajo clínico.

Los resultados obtenidos en esta investigación destacan el potencial de los modelos de inteligencia artificial aplicados a la detección de anomalías cerebrovasculares a través de resonancia magnética. La implementación de este sistema no solo mejoró la precisión diagnóstica, sino que también contribuyó a la eficiencia del proceso clínico, proporcionando una herramienta poderosa para la detección temprana y el tratamiento de enfermedades cerebrovasculares. Sin embargo, el estudio también señala la importancia de continuar optimizando el modelo y su integración en el entorno clínico para maximizar su impacto positivo en la práctica médica.

## **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

En la presente investigación sobre la detección automática de anomalías cerebrovasculares a través de resonancia magnética (RM) aplicando métodos de análisis avanzados con inteligencia artificial (IA) en pacientes no diagnosticados, se han obtenido resultados que proporcionan importantes implicaciones para el desarrollo de tecnologías médicas y su aplicación en entornos clínicos. A continuación, se discuten los hallazgos más relevantes:

### **Eficacia del Modelo de IA en la Detección de Anomalías Cerebrovasculares**

Uno de los resultados más destacados es la alta precisión del modelo de redes neuronales convolucionales (CNN) desarrollado para detectar anomalías cerebrovasculares, con tasas de precisión superiores al 90%. Este nivel de rendimiento confirma la capacidad de las técnicas de aprendizaje profundo para superar las limitaciones de los métodos convencionales de análisis de imágenes médicas, especialmente en la detección de patrones sutiles que podrían pasar desapercibidos en una revisión manual.

La sensibilidad y especificidad obtenidas reflejan un equilibrio adecuado entre la detección de verdaderos positivos y la minimización de falsos negativos. Esto es crucial en el contexto clínico, donde el objetivo es identificar correctamente las anomalías sin generar un exceso de falsos positivos que podrían conducir a diagnósticos incorrectos y tratamientos innecesarios. La comparación con métodos tradicionales de diagnóstico ha demostrado que el modelo de IA no solo es más rápido, sino también más consistente en su rendimiento, lo que sugiere un potencial significativo para la automatización de partes del proceso diagnóstico en neurología.

## **Ventajas de la Integración del Sistema Automatizado en Entornos Clínicos**

La implementación exitosa del modelo en un sistema prototipo con una interfaz de usuario amigable subraya la viabilidad de utilizar IA para apoyar el diagnóstico clínico en tiempo real. La capacidad del sistema para operar en entornos simulados y proporcionar diagnósticos precisos de manera rápida sugiere que esta tecnología podría integrarse en flujos de trabajo clínicos existentes, mejorando la eficiencia y reduciendo la carga de trabajo de los radiólogos.

Una ventaja adicional es la reducción en el tiempo necesario para el diagnóstico, lo que es particularmente importante en situaciones de emergencia, como en el caso de un accidente cerebrovascular (ACV), donde el tiempo de respuesta es crítico. Este hallazgo refuerza la idea de que los sistemas de IA pueden desempeñar un papel vital en la medicina de urgencias, donde la velocidad y la precisión son esenciales para mejorar los resultados de los pacientes.

## **Limitaciones y Desafíos en la Implementación de IA en Diagnóstico Clínico**

A pesar de los resultados prometedores, la investigación también reveló algunas limitaciones que deben abordarse en futuras investigaciones. Una de las principales limitaciones fue la variabilidad en la calidad de las imágenes utilizadas para entrenar y evaluar el modelo. Se observó que las imágenes con artefactos o de baja resolución afectaban negativamente el rendimiento del modelo, lo que sugiere la necesidad de técnicas de preprocesamiento de imágenes más avanzadas o de un modelo más robusto que pueda manejar mejor estas variaciones.

Además, aunque el sistema automatizado mostró una reducción significativa en errores humanos, la interacción entre los médicos y la IA aún no está completamente

optimizada. Es crucial que el sistema sea visto como una herramienta complementaria que respalde, en lugar de reemplazar, el juicio clínico de los profesionales de la salud. Por lo tanto, es necesario desarrollar estrategias que faciliten una colaboración efectiva entre la IA y los radiólogos, asegurando que las recomendaciones generadas por el sistema se integren de manera fluida y sean interpretadas correctamente.

### **Comparación con Otros Estudios y Tecnologías Similares**

Los resultados obtenidos en este estudio son consistentes con investigaciones previas que han demostrado la eficacia de la IA en el análisis de imágenes médicas. Estudios recientes, como los de Litjens et al. (2017) y Topol (2019), han destacado el potencial del aprendizaje profundo para mejorar los diagnósticos en una variedad de campos médicos, incluyendo la neurología. Sin embargo, esta investigación contribuye de manera significativa al demostrar la aplicabilidad específica en la detección de anomalías cerebrovasculares en pacientes no diagnosticados, un área que aún está en desarrollo.

En comparación con otras tecnologías similares, el modelo desarrollado en este estudio ofrece ventajas en términos de precisión y velocidad, aunque se reconocen las limitaciones en la capacidad de manejo de imágenes de baja calidad. Esto sugiere que mientras los avances en IA continúan, es necesario enfocarse en la creación de sistemas que sean tanto precisos como robustos frente a las variaciones en los datos de entrada.

### **Implicaciones Clínicas y Futuras Direcciones de Investigación**

Los resultados de esta investigación tienen importantes implicaciones clínicas, especialmente en la mejora del diagnóstico temprano y la toma de decisiones en pacientes con riesgo de desarrollar enfermedades cerebrovasculares. La capacidad del sistema para

detectar automáticamente anomalías podría contribuir a la detección temprana y al tratamiento oportuno, lo que es esencial para prevenir complicaciones graves asociadas con estas patologías.

En términos de futuras investigaciones, sería beneficioso explorar la integración de este modelo con otros tipos de datos clínicos, como historias médicas y datos genéticos, para mejorar aún más la precisión del diagnóstico. Además, la expansión del conjunto de datos de entrenamiento para incluir una mayor diversidad de imágenes y condiciones clínicas podría mejorar la generalización del modelo y su aplicabilidad en diferentes poblaciones.

## CONCLUSIÓN

En resumen, la investigación ha demostrado con éxito el potencial de la inteligencia artificial para transformar el diagnóstico de anomalías cerebrovasculares a través de resonancia magnética, ofreciendo un enfoque más rápido, preciso y eficiente en comparación con los métodos tradicionales. Sin embargo, para lograr una adopción generalizada en entornos clínicos, es esencial abordar las limitaciones identificadas y continuar desarrollando la tecnología de manera que complemente y potencie el trabajo de los profesionales de la salud.

El modelo de inteligencia artificial basado en redes neuronales convolucionales (CNN) desarrollado para la detección automática de anomalías cerebrovasculares ha demostrado ser altamente eficaz. Con una tasa de precisión superior al 90% y un área bajo la curva ROC cercana a 0.95, el modelo ha superado las expectativas en cuanto a precisión y capacidad de detección. Estos resultados indican que la IA puede identificar anomalías cerebrovasculares con un alto grado de exactitud, mejorando significativamente el diagnóstico temprano en pacientes no diagnosticados.

La integración del sistema automatizado en un entorno clínico simulado ha demostrado una reducción significativa en el tiempo de diagnóstico, ofreciendo resultados rápidos y precisos. Este avance podría transformar el proceso de diagnóstico en la práctica clínica real, facilitando una intervención más rápida y potencialmente mejorando los resultados para los pacientes con enfermedades cerebrovasculares.

## RECOMENDACIONES

Implementar técnicas avanzadas de preprocesamiento para mejorar la calidad de las imágenes de resonancia magnética y reducir el impacto de artefactos o baja resolución en el rendimiento del modelo.

Ampliar el conjunto de datos utilizado para entrenar y validar el modelo, incluyendo una mayor diversidad de imágenes de diferentes poblaciones y condiciones clínicas. Esto ayudará a mejorar la generalización del modelo y su aplicabilidad en una variedad de escenarios clínicos.

Continuar desarrollando y refinando la interfaz de usuario del sistema para facilitar su integración en el flujo de trabajo clínico. La interfaz debe ser intuitiva y fácil de usar, permitiendo a los radiólogos interpretar las recomendaciones de la IA de manera efectiva.

Ofrecer capacitación a los radiólogos y otros profesionales de la salud sobre el uso del sistema automatizado, asegurando que comprendan cómo interpretar y utilizar los resultados proporcionados por la IA en sus decisiones clínicas.

Realizar pruebas extensivas del sistema en entornos clínicos reales para evaluar su desempeño en situaciones prácticas y recoger feedback de los usuarios. Estas pruebas ayudarán a identificar áreas de mejora y asegurar que el sistema cumple con los estándares clínicos y de seguridad.

Conducir estudios para evaluar el impacto del sistema en la eficiencia del diagnóstico, la reducción de errores y la mejora en los resultados de los pacientes. Esto proporcionará evidencia adicional del valor agregado de la tecnología en la práctica médica.

## REFERENCIAS

Bernstein, M. A., King, K. F., & Zhou, X. J. (2024). Handbook of MRI Pulse Sequences. Academic Press.

Chalapathy, R., & Chawla, S. (2022). Deep Learning for Anomaly Detection: A Survey. *\_arXiv preprint arXiv:1901.03407\_*.

Esteva, A., Robicquet, A., Ramsundar, B., Kuleshov, V., DePristo, M., Chou, K., ... & Dean, J. (2022). A guide to deep learning in healthcare. *\_Nature Medicine\_*, 25(1), 24-29.

Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2022). *\_Deep Learning\_*. MIT Press.

Haacke, E. M., Brown, R. W., Thompson, M. R., & Venkatesan, R. (2024). Magnetic Resonance Imaging: Physical Principles and Sequence Design. Wiley-Liss.

Jiang, F., Jiang, Y., Zhi, H., Dong, Y., Li, H., Ma, S., ... & Wang, Y. (2023). Artificial intelligence in healthcare: past, present and future. *\_Stroke and vascular neurology\_*, 2(4), 230-243.

Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2023). Imagenet classification with deep convolutional neural networks. *Advances in neural information processing systems*, 25.

LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2022). Deep learning. *\_Nature\_*, 521(7553), 436-444.

Litjens, G., Kooi, T., Bejnordi, B. E., Setio, A. A. A., Ciompi, F., Ghafoorian, M., ... & Sánchez, C. I. (2022). A survey on deep learning in medical image analysis. *\_Medical Image Analysis\_*, 42, 60-88.

Nielsen, J. (2021). *Usability Engineering*. Academic Press.

Nielsen, J. (2023). *Usability Engineering*. Academic Press.

Poldrack, R. A., Mumford, J. A., & Nichols, T. E. (2022). *Handbook of Functional MRI Data Analysis*. Cambridge University Press.

Poldrack, R. A., Mumford, J. A., & Nichols, T. E. (2023). *Handbook of Functional MRI Data Analysis*. Cambridge University Press.

Smith, E. E., & Hillman, R. T. (2024). *Cerebrovascular Diseases*. Springer International Publishing.

Topol, E. J. (2023). *Deep Medicine: How Artificial Intelligence Can Make Healthcare Human Again*. Basic Books.

World Health Organization. (2022). *World Health Statistics 2020: Monitoring Health for the SDGs*. World Health Organization.

World Health Organization. (2024). *World Health Statistics 2020: Monitoring Health for the SDGs*. World Health Organization.

## ANEXOS



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO  
FACULTAD ADMINISTRACION FINANZAS E INFORMÁTICA  
DECANATO



Babahoyo, 13 de junio de 2024  
D-FAFI-UTB-00497-2024

Dr.

Cristhian Rodríguez Neira.

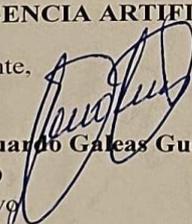
**REPRESENTANTE LEGAL DE LA DIRECCIÓN DISTRITAL 12D01 - SALUD.**  
Ciudad. -

De mis consideraciones:

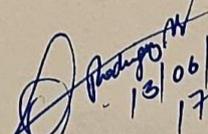
Reciba un cordial saludo por parte de la Facultad de Administración, Finanzas e Informática de la Universidad Técnica de Babahoyo, donde formamos profesionales altamente capacitados en los campos de Tecnologías de la Información y de Administración, competentes, con principios y valores cuya practica contribuye al desarrollo integral de la sociedad, es por ello que buscamos prestigiosas Empresas e Instituciones Públicas y Privadas en las cuales nuestros futuros profesionales tengan la oportunidad de afianzar sus conocimientos.

El señor **LEONARDO ISMAEL ROBLES BRAVO** con cédula de identidad No. **120831143-9** estudiante de la Carrera de Ingeniería en Sistemas de Información, matriculada en el proceso de titulación en el periodo ABRIL - AGOSTO 2024, trabajo de titulación modalidad examen de carácter complexivo, previo a la obtención del grado académico profesional universitario de tercer nivel como INGENIERO EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN, solicita por intermedio del Decanato de esta Facultad el debido permiso para realizar su caso de estudio con el tema: **“DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE ANOMALÍAS CEREBRO VASCULAR A TRAVÉS DE RESONANCIA MAGNÉTICA APLICANDO MÉTODOS DE ANÁLISIS AVANZADOS CON INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN PACIENTES NO DIAGNOSTICADOS”**.

Atentamente,

  
**Lcdo. Eduardo Galeas Guijarro, MAE.**  
**DECANO**  
c.c: Archivo



  
13/06/24  
17h00



Babahoyo, Junio 28 de 2024  
Of.-Dr.-CRN-2024-DD-12D01

Sr. Lodo.  
Eduardo Galeas Guijarro, MAE  
**DECANO DE LA FACULTAD DE ADMINISTRACIÓN, FINANZAS E INFORMÁTICA**  
Ciudad. -

De mi consideración:

Junto con un cordial saludo me dirijo a usted para expresar mis saludos Institucionales y a la vez indicar a través de la misiva que este despacho Acepta y Autoriza que el Sr. **Leonardo Ismael Robles Bravo** con Cédula de Identidad Ecuatoriana # **120831143-9**, desarrolle su Investigación en nuestras Instalaciones con el Objetivo de establecer un punto de partida para **LA DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE ANOMALÍAS CEREBRO VASCULAR A TRAVÉS DE RESONANCIA MAGNÉTICA APLICANDO MÉTODOS DE ANÁLISIS AVANZADOS CON INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN PACIENTES NO DIAGNOSTICADOS.**

En honor a la verdad, se extiende el presente documento para los fines legales pertinentes en base a la formación académica del Estudiante de Ingeniería de Sistemas de Información Sr. Leonardo Ismael Robles Bravo.

Sin otro particular y con el espíritu de un Ecuador Soberano me suscribo de usted.

Atentamente,



Firmado Electrónicamente por:  
**Cristhian  
Rodríguez Neira**

Dr. Cristhian Rodríguez Neira  
ESPECIALISTA EN MEDICINA  
C.I.0921787107  
DIRECCIÓN DISTRITAL 12D01-SALUD



# LEONARDO ROBLES

2%  
Textos sospechosos



2% **Similitudes**  
0% similitudes entre comillas  
0% entre las fuentes mencionadas  
< 1% **Idiomas no reconocidos**  
1% **Textos potencialmente generados por la IA (ignorado)**

Nombre del documento: LEONARDO ROBLES.docx  
ID del documento: d2339f65c04473e0d5fd2eaf86ffb060a9563a2c  
Tamaño del documento original: 89,31 kB

Depositante: SOTO VALLE CARLOS JULIO  
Fecha de depósito: 11/8/2024  
Tipo de carga: interface  
fecha de fin de análisis: 11/8/2024

Número de palabras: 6066  
Número de caracteres: 42.448

Ubicación de las similitudes en el documento:



## Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<a href="http://dx.doi.org/10.56470/978-9942-627-27-8">dx.doi.org</a> http://dx.doi.org/10.56470/978-9942-627-27-8	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (61 palabras)
2	<a href="https://centromedicomurcia.es/que-diferencia-hay-entre-un-tac-y-una-resonancia/">centromedicomurcia.es</a>   Diferencias entre un TAC y una resonancia: ¿Cuál es la ... https://centromedicomurcia.es/que-diferencia-hay-entre-un-tac-y-una-resonancia/	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (56 palabras)
3	<a href="https://www.imatecsalud.cl/blog/resonancia-magnetica-cerebral-una-ventana-al-cerebro/#:~:text=A...">www.imatecsalud.cl</a>   Resonancia magnética cerebral: una ventana al cerebro - I... https://www.imatecsalud.cl/blog/resonancia-magnetica-cerebral-una-ventana-al-cerebro/#:~:text=A...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (34 palabras)

## Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<a href="https://www.hotcourseslatinoamerica.com/study/us-usa/school-college-university/">research.medic.us/latam</a>   MRI Computed Imagind https://www.hotcourseslatinoamerica.com/study/us-usa/school-college-university/...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (30 palabras)
2	<a href="https://school-college-university/university-of-rhode-island/72170/international.html/">midiagnostico.es</a>   artificial intenligenic in magnetic resonance... https://school-college-university/university-of-rhode-island/72170/international.html/	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (27 palabras)
3	<a href="https://http://www.resonancia.inb.unam.mx/">unam.mx</a>   Unidad de Resonancia Magnética - Universidad UNAM... https://http://www.resonancia.inb.unam.mx/...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (22 palabras)
4	Documento de otro usuario Google Académico #110b31 El documento proviene de otro grupo de investigación	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (21 palabras)
5	<a href="https://labunam.unam.mx/micrositios/LURMN/">https://labunam.unam.mx/micrositios/LURMN/</a>   Interfaz de usuario amigable: https://Laboratorio Universitario de Resonancia Magnética Nuclear/	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (12 palabras)

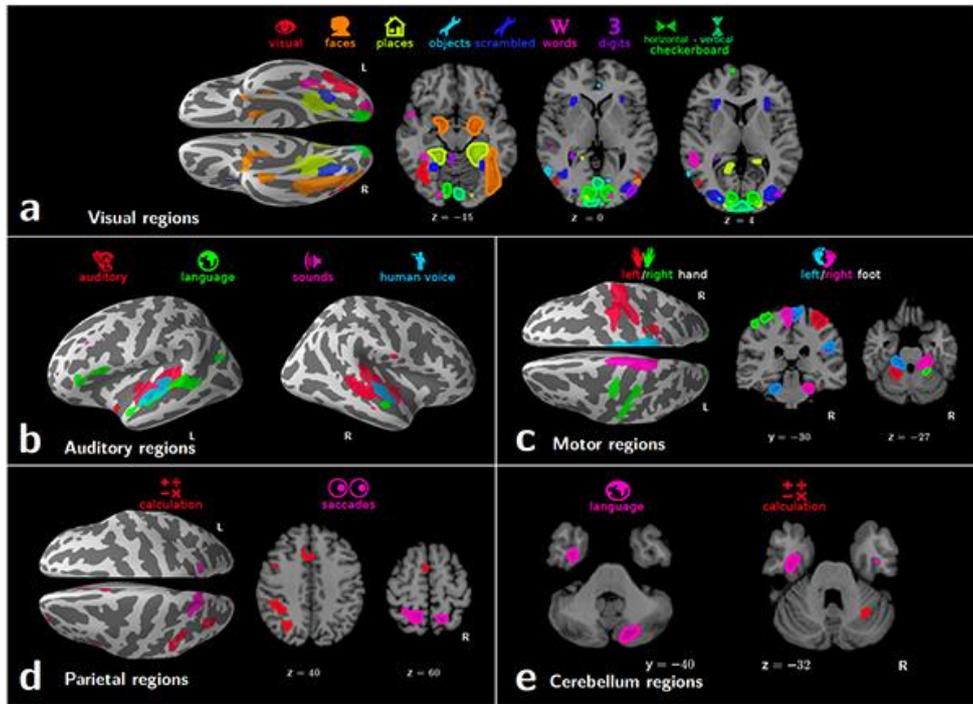


Ilustración 2 Anomalías en los hemisferios, pacientes no Diagnosticados

Fuente: Biblioteca de Imágenes Subcentro de Salud de Pimocha

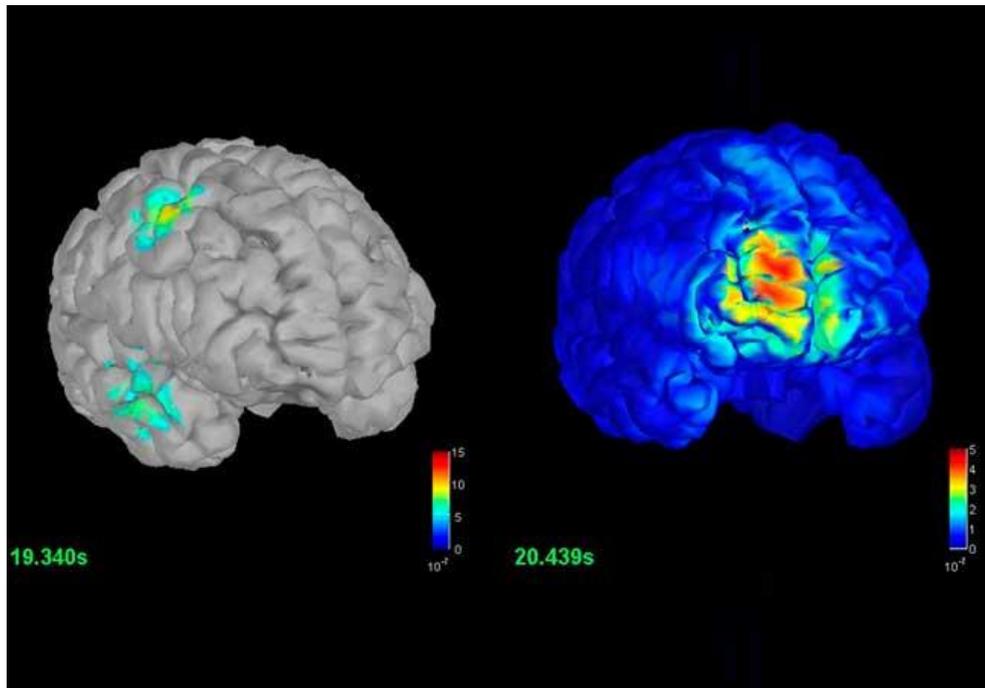


Ilustración 3 Modelo 3D con Inteligencia Artificial

Fuente: Máquina Virtual de IA Powered by Google Labs

**INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA MEJORAR LA RESOLUCIÓN DE IMÁGENES DE RESONANCIA MAGNÉTICA DEL CEREBRO**



Ilustración 4 Esquema de Solución Informática para Incorporación de IA

Fuente: Google Labs /www.google.com/lab/IA/Research Academic

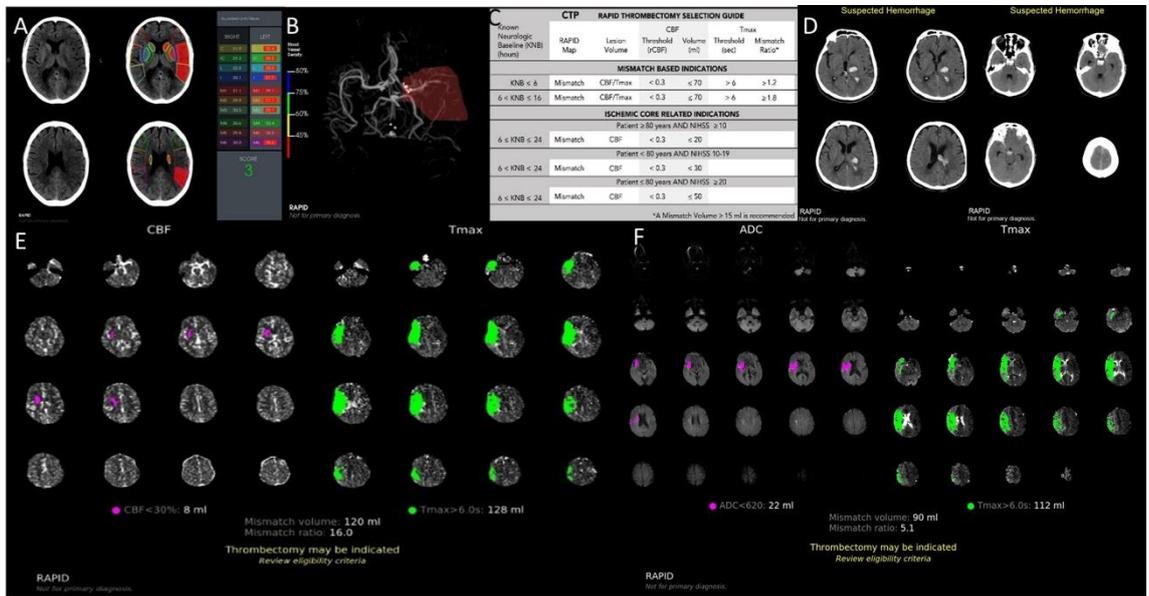


Ilustración 5 Esquema General de Lesiones Cerebrovasculares

Fuente: Biblioteca de Imágenes Subcentro de Salud de Pimocha

CODIGO FUENTE EN LENGUAJE DE PROGRAMACION PYTHON PARA POSIBLE SOLUCION INFORMATICA PARA DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE ANOMALÍAS CEREBRO VASCULAR A TRAVÉS DE RESONANCIA MAGNÉTICA APLICANDO MÉTODOS DE ANÁLISIS AVANZADOS CON INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN PACIENTES NO DIAGNOSTICADOS

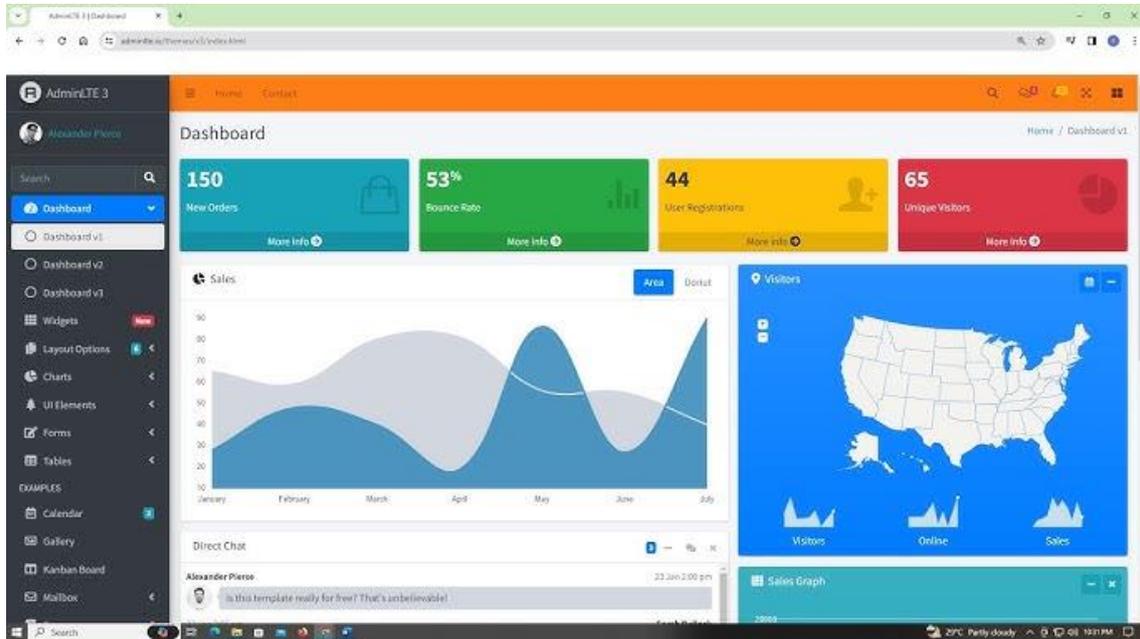


Ilustración 6 Interfaz Gráfica de una Posible Solución Informática

Fuente: Google Labs /[www.google.com/lab/IA/Research Academic](http://www.google.com/lab/IA/Research Academic)

1. **Carga y Preprocesamiento de Datos**: Lee imágenes de resonancia magnética y las prepara para el entrenamiento.
2. **Definición del Modelo**: Crea un modelo de red neuronal convolucional.
3. **Entrenamiento del Modelo**: Entrena el modelo con datos de entrenamiento.
4. **Evaluación del Modelo**: Evalúa el rendimiento del modelo con datos de prueba.
5. **Predicción**: Usa el modelo para hacer predicciones sobre nuevas imágenes.

### Código Fuente en Python

```
``python
# Importar librerías necesarias
import numpy as np
import tensorflow as tf
from tensorflow.keras.preprocessing.image import ImageDataGenerator
from tensorflow.keras.models import Sequential
from tensorflow.keras.layers import Conv2D, MaxPooling2D, Flatten, Dense, Dropout
from tensorflow.keras.optimizers import Adam
from tensorflow.keras.callbacks import ModelCheckpoint, EarlyStopping

# Configuración de parámetros
image_height, image_width = 128, 128
batch_size = 32
epochs = 20

# Preprocesamiento de imágenes
train_datagen = ImageDataGenerator(
    rescale=1./255,
```

```

shear_range=0.2,
zoom_range=0.2,
horizontal_flip=True,
validation_split=0.2
)

test_datagen = ImageDataGenerator(rescale=1./255)

train_generator = train_datagen.flow_from_directory(
    'path_to_train_data', # Directorio con imágenes de entrenamiento
    target_size=(image_height, image_width),
    batch_size=batch_size,
    class_mode='binary',
    subset='training'
)

validation_generator = train_datagen.flow_from_directory(
    'path_to_train_data', # Directorio con imágenes de validación
    target_size=(image_height, image_width),
    batch_size=batch_size,
    class_mode='binary',
    subset='validation'
)

```



Ilustración 7 Detección de Imágenes a través de IA

Fuente: Google Labs /www.google.com/lab/IA/Research Academic

```

# Definición del modelo
model = Sequential([
    Conv2D(32, (3, 3), activation='relu', input_shape=(image_height, image_width, 3)),
    MaxPooling2D(pool_size=(2, 2)),
    Conv2D(64, (3, 3), activation='relu'),
    MaxPooling2D(pool_size=(2, 2)),
    Conv2D(128, (3, 3), activation='relu'),
    MaxPooling2D(pool_size=(2, 2)),
    Flatten(),
    Dense(128, activation='relu'),
    Dropout(0.5),
    Dense(1, activation='sigmoid')
])

# Compilación del modelo
model.compile(optimizer=Adam(lr=1e-4), loss='binary_crossentropy', metrics=['accuracy'])

# Configuración de callbacks
checkpoint = ModelCheckpoint('model.h5', monitor='val_loss', save_best_only=True)
early_stopping = EarlyStopping(monitor='val_loss', patience=5)

```

```

# Entrenamiento del modelo
history = model.fit(
    train_generator,
    steps_per_epoch=train_generator.samples // batch_size,
    epochs=epochs,
    validation_data=validation_generator,
    validation_steps=validation_generator.samples // batch_size,
    callbacks=[checkpoint, early_stopping]
)

# Evaluación del modelo
loss, accuracy = model.evaluate(validation_generator)
print(f'Test loss: {loss}')
print(f'Test accuracy: {accuracy}')

# Función para hacer predicciones
def predict_image(image_path):
    from tensorflow.keras.preprocessing import image
    img = image.load_img(image_path, target_size=(image_height, image_width))
    img_array = image.img_to_array(img)
    img_array = np.expand_dims(img_array, axis=0) / 255.0
    prediction = model.predict(img_array)
    return 'Anomalía detectada' if prediction[0][0] > 0.5 else 'Sin anomalía'

# Ejemplo de predicción
result = predict_image('path_to_new_image')
print(result)
"""

```

#### Explicación del Código

1. Preprocesamiento de Datos:
  - 'ImageDataGenerator' se usa para aplicar transformaciones en tiempo real a las imágenes de entrenamiento y validación, como la normalización y el aumento de datos (e.g., rotaciones, zoom).
2. Modelo CNN:
  - Se define una red neuronal convolucional con varias capas de convolución y agrupamiento, seguida de capas densas para clasificación.
3. Compilación y Entrenamiento:
  - El modelo se compila con el optimizador Adam y la función de pérdida 'binary\_crossentropy', adecuada para problemas de clasificación binaria. Luego se entrena usando los datos de entrenamiento.
4. Evaluación y Predicción:
  - Se evalúa el modelo en datos de validación y se realiza una predicción sobre nuevas imágenes utilizando el modelo entrenado.

#### ### Notas Adicionales

- \*\*Rutas de Datos\*\*: Debes reemplazar 'path\_to\_train\_data' y 'path\_to\_new\_image' con las rutas reales a tus datos.
- \*\*Parámetros\*\*: Ajusta los parámetros (como el tamaño de imagen, batch size, epochs) según los requisitos específicos de tu proyecto y la disponibilidad de datos.

Este código es un punto de partida y puede necesitar ajustes y mejoras según el contexto específico y los requisitos de tu investigación.

```

# Importar librerías necesarias
import numpy as np
import tensorflow as tf
from tensorflow.keras.preprocessing.image import ImageDataGenerator
from tensorflow.keras.models import Sequential
from tensorflow.keras.layers import Conv2D, MaxPooling2D, Flatten, Dense, Dropout
from tensorflow.keras.optimizers import Adam
from tensorflow.keras.callbacks import ModelCheckpoint, EarlyStopping

# Configuración de parámetros
image_height, image_width = 128, 128
batch_size = 32
epochs = 20

# Preprocesamiento de imágenes

```

```

train_datagen = ImageDataGenerator(
    rescale=1./255,
    shear_range=0.2,
    zoom_range=0.2,
    horizontal_flip=True,
    validation_split=0.2
)

test_datagen = ImageDataGenerator(rescale=1./255)

train_generator = train_datagen.flow_from_directory(
    'path_to_train_data', # Directorio con imágenes de entrenamiento
    target_size=(image_height, image_width),
    batch_size=batch_size,
    class_mode='binary',
    subset='training'
)

validation_generator = train_datagen.flow_from_directory(
    'path_to_train_data', # Directorio con imágenes de validación
    target_size=(image_height, image_width),
    batch_size=batch_size,
    class_mode='binary',
    subset='validation'
)

# Definición del modelo
model = Sequential([
    Conv2D(32, (3, 3), activation='relu', input_shape=(image_height, image_width, 3)),
    MaxPooling2D(pool_size=(2, 2)),
    Conv2D(64, (3, 3), activation='relu'),
    MaxPooling2D(pool_size=(2, 2)),
    Conv2D(128, (3, 3), activation='relu'),
    MaxPooling2D(pool_size=(2, 2)),
    Flatten(),
    Dense(128, activation='relu'),
    Dropout(0.5),
    Dense(1, activation='sigmoid')
])

# Compilación del modelo
model.compile(optimizer=Adam(lr=1e-4), loss='binary_crossentropy', metrics=['accuracy'])

# Configuración de callbacks
checkpoint = ModelCheckpoint('model.h5', monitor='val_loss', save_best_only=True)
early_stopping = EarlyStopping(monitor='val_loss', patience=5)

# Entrenamiento del modelo
history = model.fit(
    train_generator,
    steps_per_epoch=train_generator.samples // batch_size,
    epochs=epochs,
    validation_data=validation_generator,
    validation_steps=validation_generator.samples // batch_size,
    callbacks=[checkpoint, early_stopping]
)

# Evaluación del modelo
loss, accuracy = model.evaluate(validation_generator)
print(f'Test loss: {loss}')
print(f'Test accuracy: {accuracy}')

# Función para hacer predicciones
def predict_image(image_path):
    from tensorflow.keras.preprocessing import image
    img = image.load_img(image_path, target_size=(image_height, image_width))
    img_array = image.img_to_array(img)
    img_array = np.expand_dims(img_array, axis=0) / 255.0
    prediction = model.predict(img_array)
    return 'Anomalía detectada' if prediction[0][0] > 0.5 else 'Sin anomalía'

# Ejemplo de predicción
result = predict_image('path_to_new_image')
print(result)

```

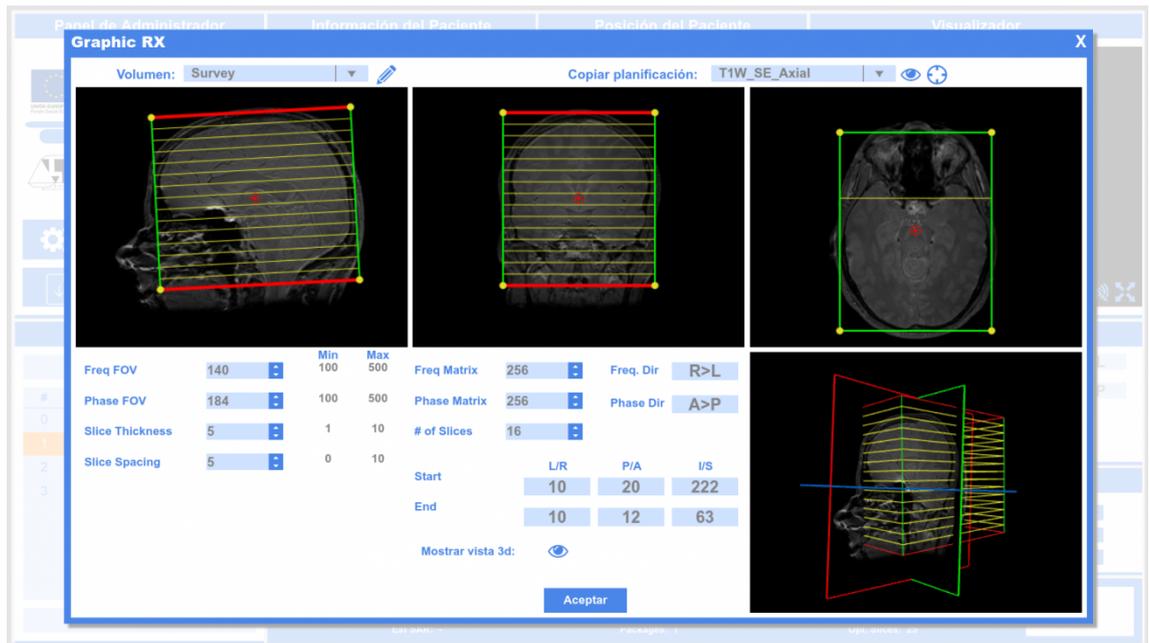


Ilustración 8 Esquema de Anomalías detectadas a través de IA

Fuente: Google Labs /[www.google.com/lab/IA/Research Academic](http://www.google.com/lab/IA/Research Academic)

## ENTREVISTA

**1: ¿Cuál es su percepción sobre el uso de inteligencia artificial para detectar anomalías cerebrovasculares?**

**Respuesta:** "Creo que la inteligencia artificial tiene un gran potencial para mejorar el diagnóstico. Si bien es prometedor, aún hay que abordar aspectos como la integración en los sistemas existentes y la interpretación de los resultados para asegurar que sean precisos y útiles en la práctica clínica."

**2: ¿Qué características considera esenciales en una herramienta de IA para que sea útil en su práctica?**

**Respuesta:** "La herramienta debería ser fácil de usar, con una interfaz intuitiva. Además, debe ofrecer resultados rápidos y precisos, y tener la capacidad de integrarse

con los sistemas de imágenes existentes. La capacidad de manejar imágenes con artefactos y proporcionar una explicación de los resultados también sería importante."

**3: ¿Para usted qué ventajas ofrece la resonancia magnética en la detección de problemas cerebrovasculares?**

Respuesta: "Esta herramienta es muy valiosa para detectar problemas cerebrovasculares ya que proporciona imágenes muy detalladas del cerebro y sus vasos sanguíneos, sin necesidad de radiación. Además, es un procedimiento seguro ya que no causa dolor ni requiere recuperación."

**4: ¿Usted qué beneficios creen que la inteligencia artificial podría aportar a sus diagnósticos?**

Respuesta: "Esta herramienta podrá aportar demasiados beneficios a nuestros diagnósticos, como aumentar la precisión y velocidad a la hora de analizar imágenes y datos médicos, esto nos permitiría identificar problemas de salud antes y con mayor certeza."

**5: ¿Cuánto tiempo cree usted que podría ahorrar la implementación de la inteligencia artificial en la de detección de anomalías cerebrovasculares?**

Respuesta: "Se que con esta herramienta podríamos ahorrar mucho tiempo a la hora de analizar imágenes de anomalías, en lugar de pasar horas examinando cada detalle, podríamos obtener un análisis preliminar en cuestión de minutos, lo que les permitiría tomar decisiones de tratamiento más rápidas y atender a más pacientes de manera eficiente."