

Universidad Nacional Mayor de San Marcos



Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática

Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas

Sistema basado en Deep Learning para detectar la enfermedad del Alzheimer mediante imágenes médicas.

TRABAJO DE TESIS (MET)

AUTORES

Kevin Renzo, Pantoja Pimentel

Sebastian, Quintanilla Jaimes

ASESOR

Dr. Hugo Vega Huerta

Lima, Perú

2023

Índice

Pág.

1. Introducción.....	5
2. Capítulo I: Visión del Proyecto.....	6
2.1. Antecedentes.....	6
2.2. Problema.....	8
2.2.1. Realidad Problemática.....	8
2.2.2. Descripción del Problema.....	9
2.3. Objetivos de la investigación.....	10
2.3.1. Marco Lógico.....	10
2.3.1.1. Árbol del Problema.....	10
2.3.1.2. Árbol de Objetivos.....	10
2.3.2. Objetivo General.....	10
2.3.3. Objetivos Específicos.....	11
2.4. Justificación.....	11
2.5. Importancia.....	12
2.6. Motivación.....	13
3. Capítulo II: Marco Teórico.....	14
3.1. Alzheimer.....	14
3.1.1. Definición.....	14
3.2. Síntomas.....	14
3.3. Tratamiento.....	14
3.4. Deep Learning.....	15
3.5. Resonancia Magnética.....	15
4. Capítulo III: Estado del arte.....	16
4.1. Artículos.....	16
4.1.1. Alzheimer's disease classification using pre-trained deep networks(Shanmugam et al., 2022).....	16
4.1.2. An Alzheimer's disease classification method using fusion of features from brain Magnetic Resonance Image transforms and deep convolutional networks(Asgharzadeh-Bonab et al., 2023).....	19
4.1.3. A systematic review on machine learning and deep learning techniques in the effective diagnosis of Alzheimer's disease (Deep Arya et al., 2022).....	21
4.1.4. An MRI-based deep learning approach for accurate detection of Alzheimer's disease (EL-Geneedy et al., 2023).....	23
4.1.5. Medical image classification for Alzheimer's using a deep learning approach (Bamber & Vishvakarma, 2023).....	26
4.1.6. Alzheimer's disease diagnosis and classification using deep learning techniques (Al Shehri, 2022).....	27
4.1.7. Multimodal deep learning models for early detection of Alzheimer's disease stage (Venugopalan et al., 2021).....	30
4.1.8. A Transfer Learning Approach for Early Diagnosis of Alzheimer's Disease on MRI Images (Mehmood et al., 2021).....	32
4.1.9. Four-way classification of Alzheimer's disease using deep Siamese convolutional neural network with triplet-loss function (Hajamohideen et al., 2023).....	33

4.1.10. Early Detection of Alzheimer’s Disease Using Magnetic Resonance Imaging: A Novel Approach Combining Convolutional Neural Networks and Ensemble Learning (Pan et al., 2020).....	36
---	----

Acrónimos

- OMS: Organización Mundial de la Salud
- INEI: Instituto Nacional de Estadística e Informática
- Minsa: Ministerio de Salud del Perú

1. Introducción

2. Capítulo I: Visión del Proyecto

Con el propósito de enfocar adecuadamente el estudio abordado en esta tesis y tener una comprensión precisa para lograr los objetivos establecidos en la detección de la enfermedad del Alzheimer, es esencial familiarizarse con las investigaciones previas y sus conclusiones. Esto permitirá identificar y analizar los aspectos que resultarán beneficiosos y contribuirán significativamente a la ejecución de la investigación que se presenta a continuación.

2.1. Antecedentes

Las enfermedades neurológicas en todo el mundo están en aumento lo que conlleva a un aumento en costo en atención médica y también en una disminución en la calidad de vida de los pacientes(Dipietro et al., 2023).

Son afecciones que afectan a las células del cerebro llamadas neuronas y uno de los tipos más comunes de las enfermedades o trastornos degenerativos es la enfermedad del Alzheimer(Huang et al., 2023).

Según (OPS) la enfermedad del Alzheimer es la forma más común de demencia y contribuye al 60-70% de los casos, no es parte normal del envejecimiento y no afecta exclusivamente a las personas mayores.

La detección del Alzheimer ha sido ampliamente estudiada, e implica varios problemas y desafíos.

(Helaly et al., 2022) Adopta un enfoque de aprendizaje profundo utilizando redes neuronales convolucionales (CNN) para abordar la detección de la enfermedad de Alzheimer (EA). Se realizan cuatro etapas de clasificación multiclase en el espectro de EA. Además, se llevan a cabo clasificaciones binarias de imágenes médicas entre las etapas de EA en pares separados. Dos

métodos se utilizan para la clasificación de imágenes médicas y la detección de la EA.

(Yiğit & Işık, 2020) Se centró en utilizar biomarcadores de neuroimagen para diagnosticar la enfermedad de Alzheimer y la demencia de manera no invasiva. Se emplearon imágenes de resonancia magnética estructural (RM) del cerebro como entrada para un modelo de predicción. Se implementaron modelos de redes neuronales convolucionales (CNN) que utilizaron las imágenes cerebrales preprocesadas, y se realizó el entrenamiento y la evaluación de estos modelos CNN utilizando dos conjuntos de datos diferentes.

(Jaiswal & Sadana, 2022) Se enfocan en la aplicación de técnicas de aprendizaje profundo en imágenes de resonancia magnética estructural (RM) para el diagnóstico de enfermedades. Los autores proponen un nuevo enfoque que involucra el uso de transformadores de cuello de botella basados en autoatención, combinados con un minimizador consciente de la nitidez. El objetivo principal de este enfoque es la detección temprana de la enfermedad de Alzheimer.

(Ma et al., 2023) Introduce un nuevo modelo de conjunto amplio y profundo basado en BLS para la detección temprana de la enfermedad de Alzheimer. Se emplea un conjunto de datos de imágenes de resonancia magnética de la Iniciativa de Neuroimagen de la Enfermedad de Alzheimer (ADNI) para entrenar el modelo, y posteriormente se compara el rendimiento del modelo propuesto con trabajos anteriores y diagnósticos médicos, el modelo propuesto

no necesita el proceso de pre-entrenamiento de su módulo de profundidad, lo que reduce en gran medida el tiempo de entrenamiento y la dependencia del hardware.

2.2. Problema

2.2.1. Realidad Problemática

Enfrentar los considerables desafíos vinculados con la detección temprana y precisa de la enfermedad del Alzheimer en la población peruana es un proceso de gran complejidad. A pesar del incremento en la frecuencia de esta afección, más de 200 mil personas mayores de 60 años según una publicación del MINSA del año 2019, es común encontrar una limitada disponibilidad de recursos médicos altamente especializados y la experiencia necesaria para llevar a cabo el diagnóstico en diversas áreas del país, podemos evidenciar estas limitaciones ya que según una publicación del año 2017 el Ministerio de Salud brinda servicios especializados en salud mental a 3,309 adultos mayores que padecen de Alzheimer en el país. Esta situación conlleva a retrasos en la fase de diagnóstico y tratamiento, lo cual afecta negativamente la calidad de vida tanto de los pacientes como de sus seres queridos. Sumado a ello, las restricciones geográficas y económicas obstaculizan el acceso a evaluaciones médicas de expertise, llevando a una porción significativa de la población a carecer de opciones para una detección temprana.

2.2.2. Descripción del Problema

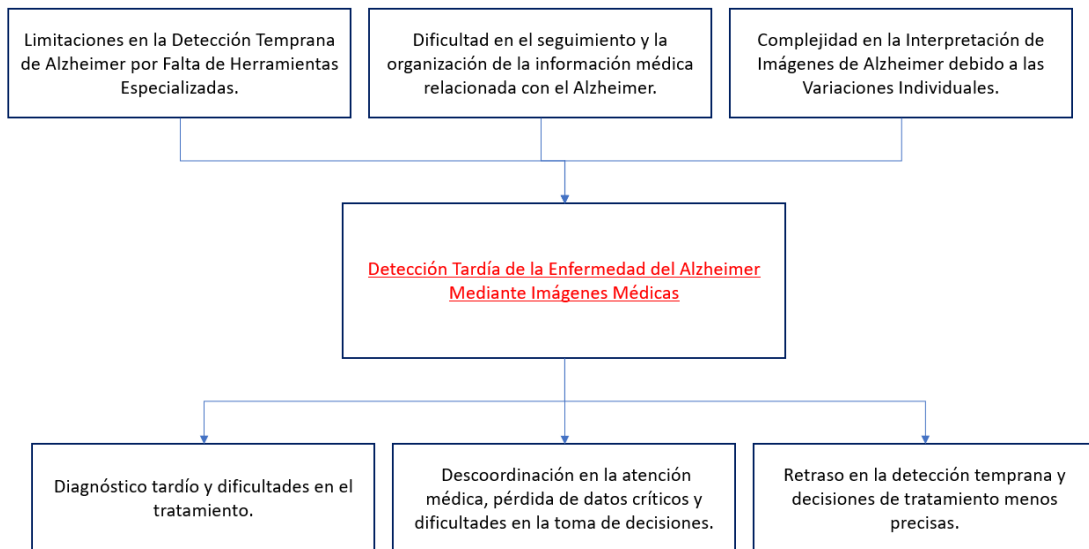
El problema de investigación se centra en la detección de la enfermedad del Alzheimer. Esta enfermedad afecta a millones de personas en el mundo y en el caso peruano hay cientos de miles de adultos mayores que padecen de esta forma de demencia. En este marco identificamos las limitaciones en la Detección Temprana de Alzheimer por Falta de Herramientas Especializadas. Además, una dificultad el seguimiento y la organización de la información médica relacionada con el Alzheimer. Al igual se observa que se tiene una complejidad en la Interpretación de Imágenes de Alzheimer debido a las Variaciones Individuales por la cantidad de casos distintos que se tienen que atender.

La detección tardía o no detección de la enfermedad del Alzheimer conlleva a un diagnóstico tardío, dificultades en el tratamiento y retraso en la detección temprana y decisiones de tratamiento menos precisas, lo cual afecta negativamente la calidad de vida tanto de los pacientes como de sus seres queridos. Sumado a ello, se produce una descoordinación en la atención médica, pérdida de datos críticos y dificultades en la toma de decisiones.

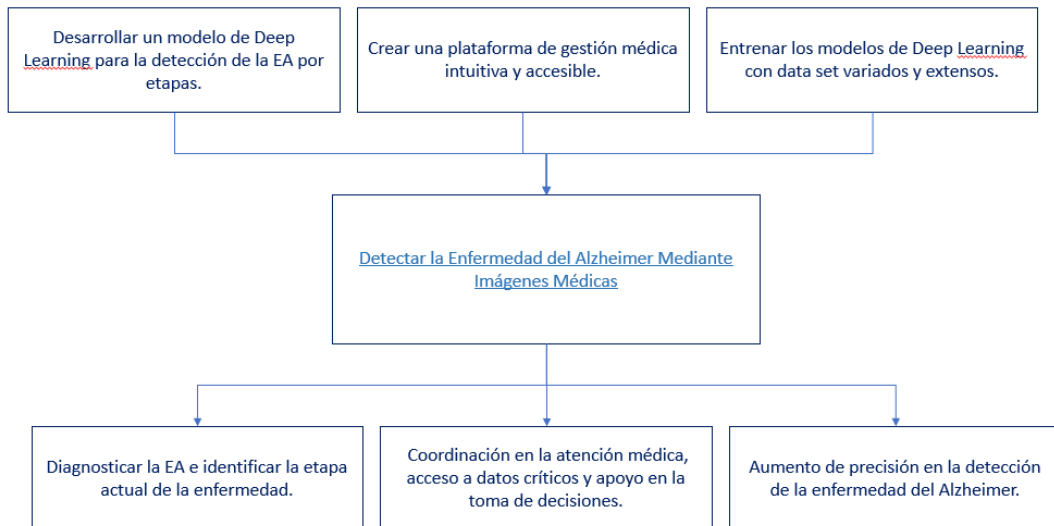
2.3. Objetivos de la investigación

2.3.1. Marco Lógico

2.3.1.1. Árbol del Problema



2.3.1.2. Árbol de Objetivos



2.3.2. Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema de inteligencia artificial usando Deep Learning para detectar la enfermedad del Alzheimer mediante imágenes

médicas con el fin de [Detectar la Enfermedad del Alzheimer Mediante Imágenes Médicas](#) y en consecuencia brindar al paciente la oportunidad de planificar el futuro y tomar decisiones informadas sobre su atención médica.

2.3.3. Objetivos Específicos

- Desarrollar un modelo de deep learning altamente preciso y robusto para la detección multietapa de la enfermedad del alzheimer mediante imágenes médicas, abordando las características específicas y evolutivas de la enfermedad en diferentes etapas.
- Implementar una interfaz de usuario interactiva y personalizable que permita a los profesionales médicos analizar, interpretar y validar los resultados del modelo de detección de manera intuitiva.
- Investigar y evaluar rigurosamente diferentes modelos de aprendizaje profundo con el propósito de identificar aquellos que contribuyan de manera significativa a la mejora de la precisión del sistema de detección de la enfermedad del alzheimer en imágenes médicas.

2.4. Justificación

La presente investigación se sustenta en una sólida justificación que abarca aspectos teóricos, prácticos y metodológicos, respaldando la pertinencia y relevancia del desarrollo de un sistema de detección de la enfermedad del Alzheimer a través de la inteligencia artificial.

En el ámbito teórico, esta investigación se ancla en el marco conceptual de las neurociencias y la medicina, enriquecido por los avances de la inteligencia artificial y el aprendizaje profundo. Existe una base sólida de conocimiento que establece la relación entre las imágenes médicas y los patrones característicos de la enfermedad del Alzheimer en sus diferentes etapas. Además, el uso de modelos de aprendizaje profundo se alinea con los avances teóricos en la detección y análisis de patrones complejos en datos biomédicos. La justificación teórica radica en la capacidad de aprovechar esta intersección entre la medicina y la inteligencia artificial para desarrollar una herramienta precisa y confiable que permita la detección temprana y precisa de la enfermedad.

En términos prácticos, la detección temprana y precisa de la enfermedad del Alzheimer tiene implicaciones significativas para la atención médica y la calidad de vida de los pacientes. La carga económica y emocional de esta enfermedad es innegable, tanto para los pacientes como para sus familias y el sistema de salud en general. La falta de herramientas especializadas y de recursos médicos altamente capacitados en el país crea un escenario en el cual la detección temprana enfrenta obstáculos considerables. La implementación de un sistema de detección basado en inteligencia artificial responde a esta problemática práctica al proporcionar una herramienta accesible y precisa que puede ser utilizada por profesionales médicos en diversas regiones del país.

2.5. Importancia

La utilización del deep learning en la detección de la enfermedad del Alzheimer tiene una importancia crucial en el ámbito médico y científico. Esta tecnología ofrece la capacidad de analizar con precisión y rapidez una amplia gama de datos biomédicos, como imágenes cerebrales permitiendo así una detección

temprana y precisa de los signos incipientes de la enfermedad ya que su avance progresivo hace que la identificación temprana sea fundamental para ralentizar su avance y aplicar tratamientos eficaces en las primeras etapas. Además, la implementación de sistemas de detección automatizada basados en Deep Learning puede ayudar a los doctores especializados, sirviéndoles como una herramienta de apoyo más no de sustitución ya que les permite acelerar el proceso de diagnóstico, por lo que su aplicación del Deep Learning en la detección del Alzheimer ofrece un gran potencial para mejorar la atención médica y la salud mental de la población

2.6. Motivación

La detección precisa y temprana de la enfermedad del Alzheimer es un desafío crucial en la investigación médica, y el uso de técnicas de aprendizaje profundo, como el deep learning, ha suscitado un profundo interés y motivación en este campo. La motivación detrás de emplear el deep learning en la detección de esta enfermedad radica en su capacidad para procesar y analizar grandes cantidades de datos complejos, como imágenes médicas de una manera automática y eficiente, además que ayuda a superar las limitaciones de recursos humanos y la carga de trabajo en los sistemas de atención médica mediante la proporción de herramientas

eficaces y eficientes mejorando los resultados clínicos, reduciendo los costos de atención médica y mejorando la calidad de vida de los pacientes afectados por esta enfermedad

3. Capítulo II: Marco Teórico

3.1. Alzheimer

3.1.1. Definición

El alzheimer es un tipo de trastorno cerebral de tipo neurodegenerativo que se caracteriza por la pérdida progresiva e irreversible de las neuronas que es considerada también la causa más común de la demencia (C. Park et al., 2023)

También lo definen como un trastorno neurodegenerativo crónico que se llega a manifestar clínicamente con una disminución progresiva de las funciones cognitivas y la memoria (Rita et al., 2023), y se puede dividir en 3 etapas, entre ellas está la etapa cognitivamente no deteriorada, deterioro cognitivo leve y la demencia de Alzheimer (S. W. Park, Yeo, Kim, et al., 2023)

3.2. Síntomas

Se tiene como síntomas comenzando por la pérdida de memoria aparentemente leve y se va intensificando gradualmente a una pérdida de la capacidad de mantener conversaciones y de responder al entorno ya que afecta el pensamiento, lenguaje y memoria (Balasundaram et al., 2023).

3.3. Tratamiento

(S. W. Park, Yeo, Lee, et al., 2023) Indica que actualmente no existe un tratamiento estándar para el Alzheimer por lo que la estrategia de tratamiento clínico es reducir la progresión de la enfermedad y

establecer biomarcadores para el diagnóstico precoz y su intervención. Ningún medicamento que se ha aprobado puede prevenir o retrasar la progresión del Alzheimer a pesar de la variedad de objetivos potenciales que han sido identificados para el tratamiento (Alamro et al., 2023).

3.4. Deep Learning

3.5. Resonancia Magnética

La resonancia magnética se ha desarrollado como un método poderoso para cuantificar las alteraciones de la conectividad estructural del cerebro que están asociadas con el Alzheimer (Liang et al., 2023).

3.6. palabra 1

4. Capítulo III: Estado del arte

4.1. Artículos

4.1.1. Alzheimer's disease classification using pre-trained deep networks(Shanmugam et al., 2022)

(DOI: 10.1016/j.bspc.2021.103217) 36 citaciones, Scopus

El presente artículo los autores centran su investigación en la [detección temprana de varias etapas de deterioro cognitivo y Alzheimer mediante el uso de imágenes de resonancia magnéticas utilizando el enfoque de Aprendizaje por Transferencia \(TL\)](#), las técnicas de imágenes tienen un papel importante en el diagnóstico y tratamiento de la EA ya que estas técnicas [han revolucionado el proceso en el diagnóstico de enfermedades por lo no invasivo que resulta para el cuerpo](#), para ello se usó tres [redes pre entrenadas GoogLeNet, AlexNet y ResNet-18](#) para la clasificación.

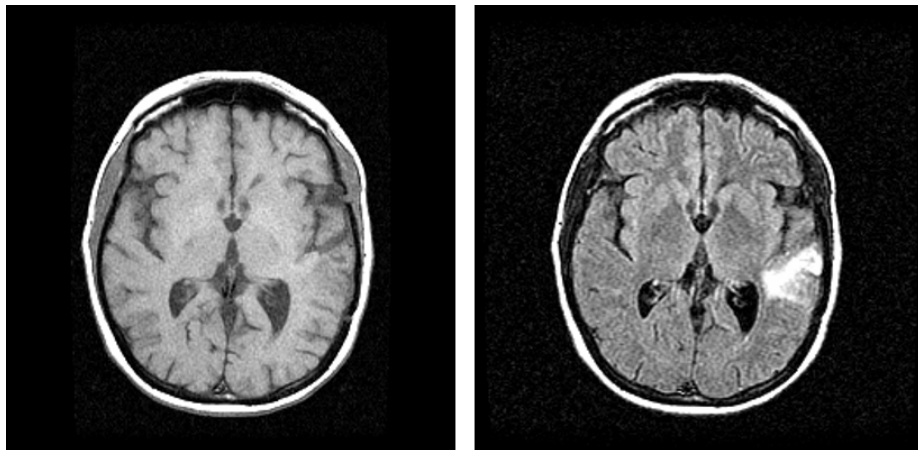
Se tiene como resultado que para la detección de la enfermedad del alzheimer GoogleNet, AlexNet y ResNet-18 tiene como precisión 96.39%, 94.08% y 97.51% respectivamente.

Algunas técnicas de imágenes que son utilizadas para el diagnóstico del Alzheimer.

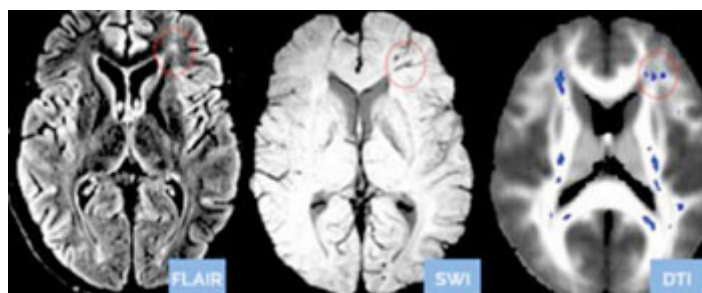
- Tomografía computarizada(TC) de rayos X



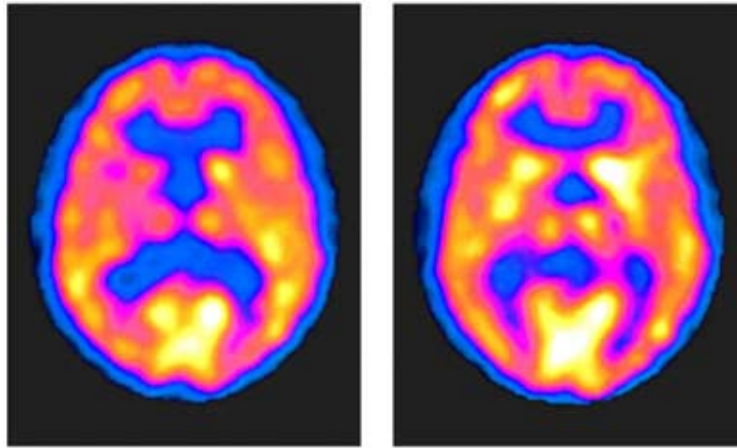
- Resonancia magnética(RM)



- Imagen de tensor de difusión(DTI)



- Tomografía por emisión de positrones(PET)



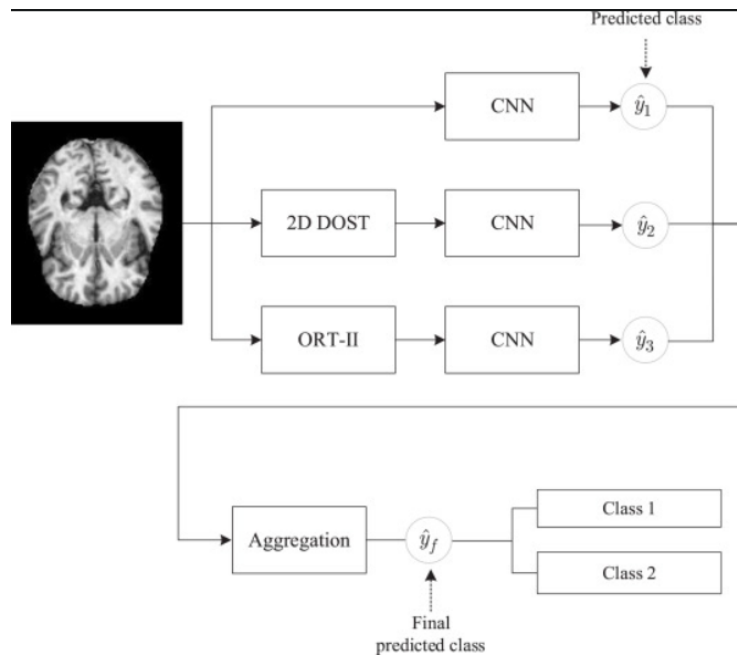
Utilidad del Artículo

Gracias a este artículo se deduce que la [utilización de imágenes](#) desempeña un papel fundamental en la [detección temprana](#) y precisa de la [enfermedad del Alzheimer](#), estas técnicas permiten a los profesionales de la salud identificar patrones de atrofia cerebral ya que no solo facilitan un diagnóstico más temprano y preciso, sino que también son cruciales para monitorear la progresión de la enfermedad y evaluar la eficacia de posibles tratamientos. También se deduce que [las imágenes brindan una visión detallada de la estructura cerebral](#) y permiten [identificar](#) cambios sutiles en el tejido cerebral que son [característicos](#) de esta enfermedad neurodegenerativa. Debido a ello se usará las [imágenes de resonancia magnéticas](#) ya que son las modalidades de imagen más utilizadas y también aprovecha las capacidades de alta resolución y no invasivas, los médicos y los investigadores pueden obtener información esencial sobre la progresión y la extensión del Alzheimer en el cerebro, lo que a su vez facilita una detección temprana más precisa, un diagnóstico diferencial más confiable y una evaluación eficaz de las terapias en desarrollo.

4.1.2. An Alzheimer's disease classification method using fusion of features from brain Magnetic Resonance Image transforms and deep convolutional networks(Asgharzadeh-Bonab et al., 2023)

(DOI: 10.1016/j.health.2023.100223) 16 citaciones, Scopus

El presente artículo [presenta dos esquemas de fusión eficientes para combinar las características profundas obtenidas de la imagen de resonancia magnética cerebral y sus transformaciones](#), presenta los esquemas de fusión a nivel de decisión y característica para combinar la información de diferentes entradas ya que la combinación de fuentes con información diferente aumenta la cantidad de información y puede [ayudar a la toma de decisiones confiables para la clasificación del Alzheimer](#). Considera los diferentes modelos y clasificadores de CNN para clasificar las imágenes de RM cerebral en tres escenarios de dos clases. Tiene como resultado que [EfficientNet-B7 con una red neuronal artificial \(RNA\) proporciona la mayor precisión](#).



Utilidad del Artículo

Gracias a este artículo se infiere que la aplicación de la Inteligencia Artificial (IA) se ha revelado como un recurso invaluable en la detección del Alzheimer, proporcionando un enfoque innovador y altamente efectivo. Al utilizar algoritmos de aprendizaje automático y técnicas de análisis de datos avanzadas, la IA puede procesar grandes conjuntos de datos biomédicos, como imágenes cerebrales. También se infiere que esta tecnología puede contribuir a una detección temprana más precisa y a un diagnóstico diferencial más confiable al identificar señales sutiles que podrían no ser evidentes para los médicos. Debido a ello se usará la tecnología Deep Learning ya que ha demostrado ser una herramienta excepcionalmente prometedora. Al aprovechar la capacidad de las redes neuronales profundas para aprender patrones complejos y sutiles en datos biomédicos, como imágenes de resonancia magnética.

4.1.3. A systematic review on machine learning and deep learning techniques in the effective diagnosis of Alzheimer's disease (Deep Arya et al., 2022)

(DOI: 10.1186/s40708-023-00195-7) 16 citaciones, Scopus

Esta investigación aborda el análisis de métodos utilizados en diversos artículos de la literatura reciente sobre la detección de la enfermedad del Alzheimer mediante inteligencia artificial, se puede dividir el artículo en la siguiente estructura:

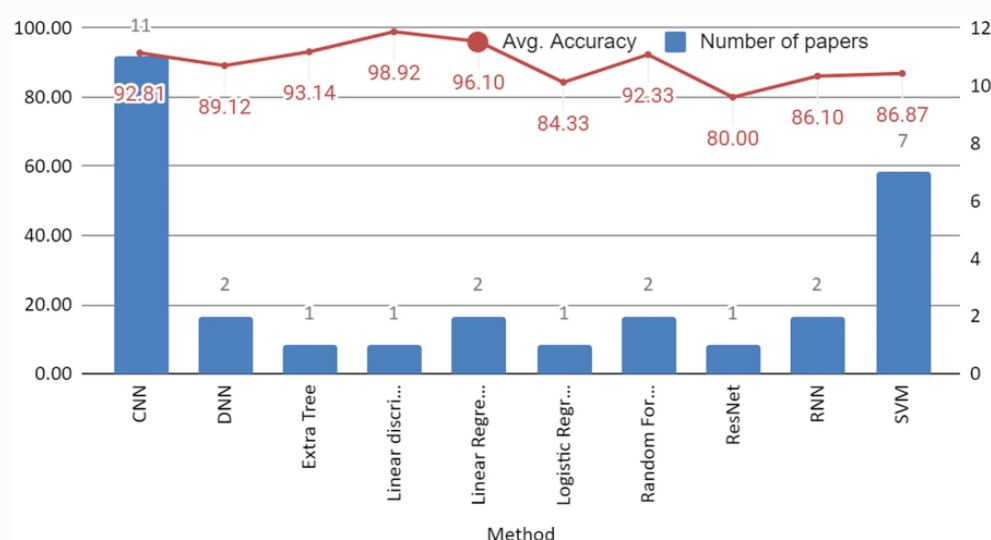
- Conjunto de datos: se presenta un análisis de las fuentes de datos más recurrentes en la revisión de la literatura, en las que se destaca ADNI, OASIS y Kaggle como las principales.
- Preprocesamiento de datos: comparte buenas prácticas utilizadas en el procesamiento en las que resaltan la limpieza de datos (eliminación o corrección de datos incompleta, inconsistentes o erróneas), transformación de datos (normalización y estandarización para manejar formatos que mejoren el análisis), normalización de imágenes (ajuste de valores de intensidad de la imagen mediante técnicas de ecualización de histogramas, etc.) y el aumento de imágenes (usando rotaciones, inversiones y escalando las imágenes se puede mejorar la solidez del análisis)
- Modelos de aprendizaje utilizados: se realiza un análisis de modelos de aprendizaje automático convencionales y modelos de aprendizaje profundo. En el ámbito de las técnicas tradicionales de aprendizaje automático, se ha logrado una precisión del 85,71% en la clasificación

CN/AD mediante el uso de clasificadores SVM, mientras que en el aprendizaje profundo, nos presentan los modelos más conocidos de redes neuronales convolucionales (ResNet-101, VGG, VoxCNN, DenseNet) y nos detallan el funcionamiento de una red neuronal recurrente. Los clasificadores CNN han alcanzado un impresionante 98,6% de precisión y los RNN, un 91,2%. La investigación subraya la fiabilidad y exactitud mejorada al tomar decisiones basadas en predicciones multimodales en contraposición a depender de una única modalidad.

Por último mediante un gráfico de barras podemos validar que los modelos de aprendizaje profundo son los más usados por los investigadores actualmente y presentan un porcentaje de precisión bastante alto.

Fig. 6

From: [A systematic review on machine learning and deep learning techniques in the effective diagnosis of Alzheimer's disease](#)



Frequency of methods used in different articles taken in the study, and average accuracy using different classifiers

- Medidas de desempeño: nos presentan una explicación de las medidas de desempeño de un modelo de clasificación más utilizados con una matriz de confusión 2x2, entre los que destacan la exactitud, la precisión y el área bajo la curva (AUC)

Utilidad del Artículo

Gracias a este artículo se rescatan excelentes prácticas en el preprocesamiento de los datos que permiten mejorar la precisión final del modelo e inclusive reducir el tiempo de análisis, también nos comparte fuentes confiables en las que podemos obtener set de datos de imágenes médicas (especialmente MRI y PET) para entrenar modelos de inteligencia artificial para la detección de la enfermedad del Alzheimer. Además nos brinda visibilidad sobre la eficacia y el uso recurrente de modelos de inteligencia artificial lo cual corrobora la confianza que tiene la comunidad en el aprendizaje profundo sobre aplicaciones de predicción y clasificación de enfermedades. Debido a ello en nuestro trabajo de investigación se realizarán las técnicas de limpieza de datos, normalización de imágenes, aumento de imágenes y recorte y cambio de tamaño de imágenes en la fase de preprocesamiento ya que mejorará la precisión del modelo y optimizará el tiempo de análisis y entrenamiento. Además se usarán data sets de las fuentes especificadas en el artículo para el entrenamiento de los modelos.

4.1.4. An MRI-based deep learning approach for accurate detection of Alzheimer's disease (EL-Geneedy et al., 2023)
(DOI: DOI10.1016/j.aej.2022.07.062) 11 citaciones, WOS

El artículo toma como dataset las imágenes cerebrales proporcionadas por OASIS, específicamente la OASIS-3, las cuales se clasifican en 4 etapas dependiendo del grado de demencia.

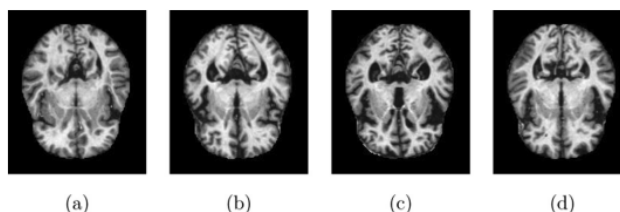
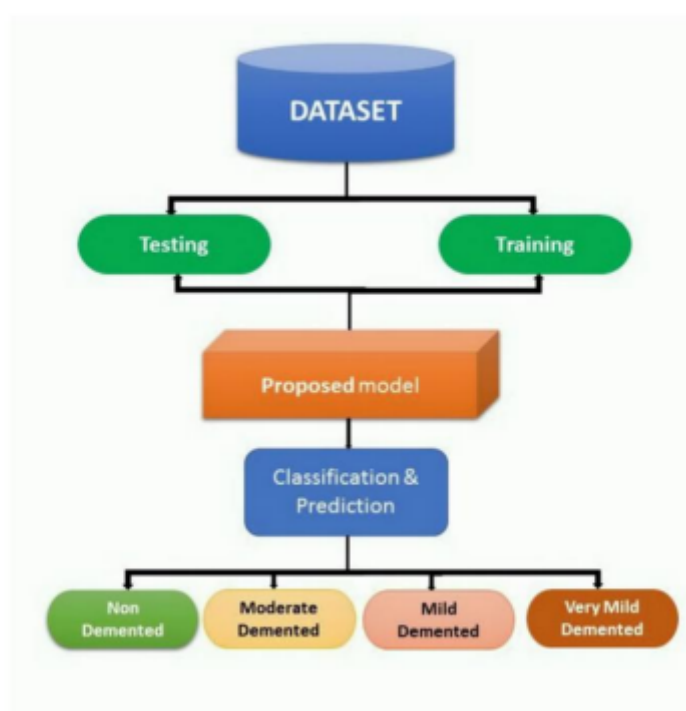


Fig. 1 MR image examples for different Dementia stages: (a) None Demented(ND), (b) Moderated Demented (MoD), (c) Mild Demented (MD), and (d) Very Mild Demented (VmD), from left to right, respectively.

Propone un marco de trabajo dividido en las clásicas etapas de división de la data, construcción y entrenamiento del modelo y clasificación. En la división utiliza 20% de la data para el teste y destina el 80% para el entrenamiento.



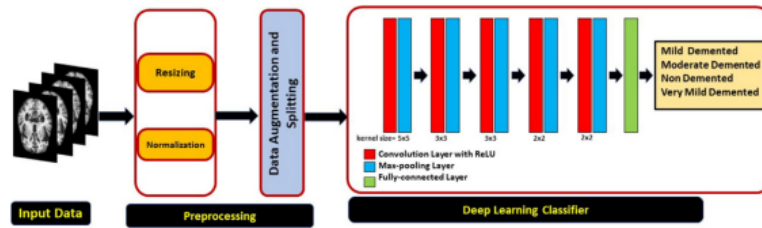


Fig. 5 The CNN model architecture used for AD diagnosis. Note that, ReLU stands for rectified linear unit.

Centrándose en el modelo propuesto utiliza CNN y evalúa las arquitecturas VGG16, ResNet50, Inception V3, EfficientNetB7, and DenseNet121 architectures. Todos los modelos se trabajaron con un número de épocas iguales a 100, dado que el estudio mediante un análisis comparativo demostró ser superior en todas las medidas de evaluación al resto de número de épocas propuestos (20, 40 y 50)

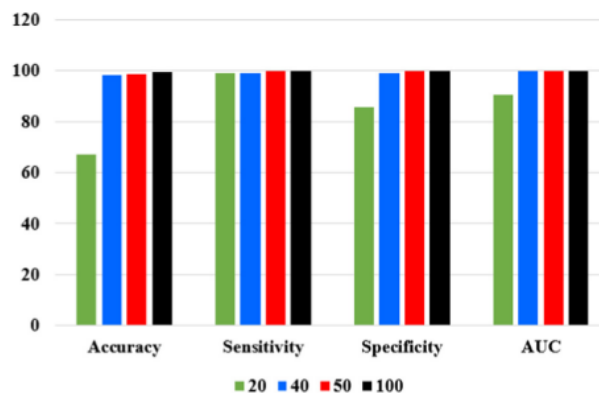


Fig. 9 Performance of proposed framework across different numbers of epochs.

Los resultados arrojan que el método VGG16 obtuvo la mayor precisión alcanzando un 96,39%

Table 3 Proposed Model evaluation against other CNN that employs transfer learning. Here, “SEN”, “SPE”, “AUC”, and “NA” stand for Sensitivity, Specificity, Area Under the Curve, and Not Applicable, respectively.

Model	Train Accuracy	Test Accuracy	SEN	SPE	AUC
VGG 16	100	96.39	99.29	100	0.9988
DenseNet121	98.54	96.29	100	100	0.9981
Resnet50	92.46	89.85	100	100	0.9869
InceptionV3	91.38	87.71	99.12	100	0.9804
EfficientNetB7	49.78	48.68	NA	NA	0.7922
Proposed	100	99.68	100	100	1.00

Utilidad del Artículo

Gracias a este artículo se deduce que la CNN es un modelo apto para el procesamiento de imágenes médicas debido a su orientación hacia imágenes 2D y 3D. Además, se rescata que la arquitectura VGG16 con el parámetro de número de épocas establecido en 100 resulta ser altamente precisa para la detección de la enfermedad del Alzheimer. Debido a ello en nuestro trabajo nos guiaremos del marco de trabajo propuesto, incluiremos la arquitectura VGG16 en el modelo propuesto y evaluaremos el parámetro 100 del número de épocas en la implementación.

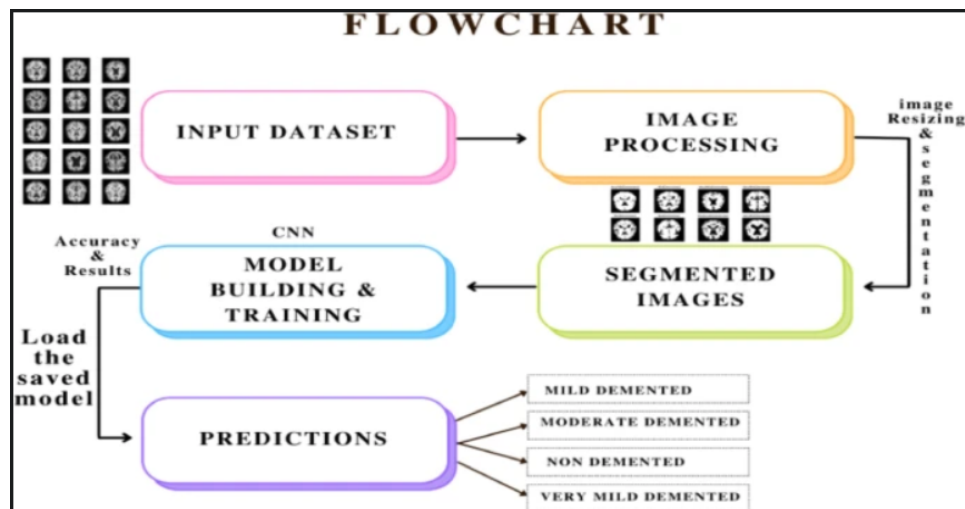
4.1.5. Medical image classification for Alzheimer's using a deep learning approach (Bamber & Vishvakarma, 2023)

(DOI: 10.1186/s44147-023-00211-x) 16 citaciones, Scopus

El artículo tiene como objetivo desarrollar un modelo de red neuronal convolucional para diagnosticar la enfermedad de Alzheimer. Tiene como resultado 91,12% correcto, 85,2% sensible y 94,01% específico.

Los autores mencionan la importancia y el uso de las imágenes médicas en el campo de la detección y diagnóstico del Alzheimer y otras enfermedades. Describe cómo las imágenes médicas, como las obtenidas a través de diversas técnicas de imagenología como rayos X, CT, MRI y ultrasonido, son fundamentales para comprender el funcionamiento y la estructura interna del cuerpo humano. Estas imágenes brindan una visión detallada de los tejidos y órganos, permitiendo a los científicos, médicos y clínicos investigar y diagnosticar problemas de salud, también hace referencia a un diagrama de alto nivel que representa las etapas

principales del procedimiento propuesto para la detección del Alzheimer en el artículo.



Utilidad del Artículo

Gracias a este artículo se infiere que la CNN tiene un alto impacto en la detección y clasificación de la enfermedad, también habla del uso creciente de técnicas de aprendizaje profundo en la clasificación de la enfermedad de Alzheimer y nos muestra un diagrama y/o esquema del procedimiento para la detección para su detección . Debido a ello en nuestro trabajo de investigación se realizará un diagrama y/o esquema que muestre los pasos que realiza el sistema inteligente para la detección del Alzheimer ya que facilitará el entendimiento del aporte debido a que se presentará en un esquema de alto nivel.

4.1.6. Alzheimer's disease diagnosis and classification using deep learning techniques (Al Shehri, 2022)

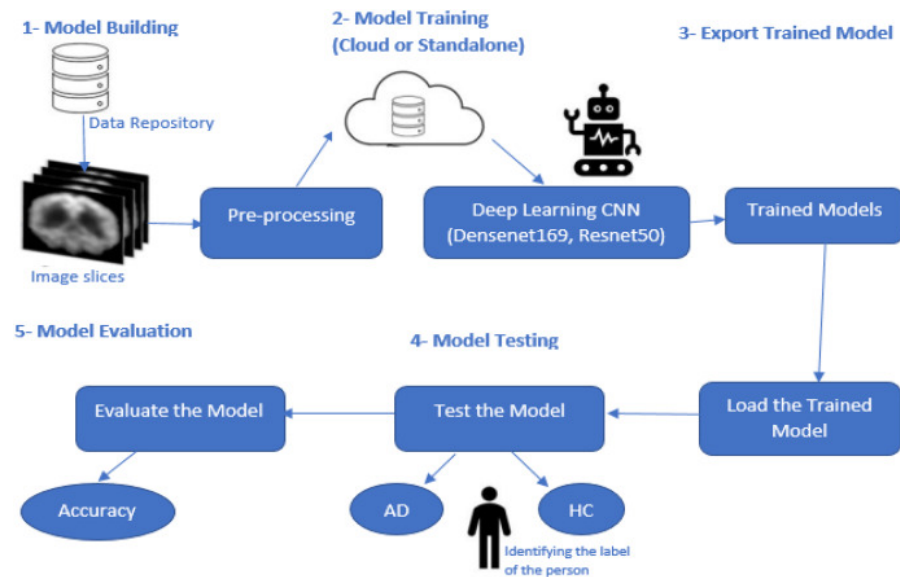
(DOI: 10.7717/peerj-cs.1177) 16 citaciones, Web of science

El presente trabajo de investigación plantea la necesidad de soluciones automáticas para el análisis de imágenes médicas en pacientes con EA, y se mencionan las tecnologías emergentes como el Internet de las cosas médicas (IoMT) y los enfoques de aprendizaje automático y aprendizaje profundo como posibles soluciones en este contexto médico.

Dado que los síntomas de la EA a menudo son leves en las etapas iniciales, existen desafíos significativos en su diagnóstico temprano. El estudio busca abordar estos desafíos y contribuir al campo de la investigación sobre la EA en varios aspectos clave:

- **Diagnóstico Preciso y Temprano:** El objetivo principal de la investigación es proporcionar una solución que permita el diagnóstico preciso, oportuno y temprano de la EA.
- **Uso de Arquitecturas CNN:** En el estudio, se emplean dos arquitecturas de redes neuronales convolucionales (CNN), específicamente DenseNet169 y ResNe50. Estas arquitecturas se utilizan para validar las técnicas propuestas en la clasificación de imágenes en dos categorías: imágenes normales y anormales (correspondientes a casos de EA). Además, se clasifican las imágenes de EA en cuatro etapas diferentes.

Propuesta de metodología modelo:



Los autores también realizan el proceso de evaluación del modelo utilizado en el estudio. El propósito de esta evaluación es determinar qué tan bien funciona el modelo en función de los datos de entrenamiento y un conjunto de datos de prueba. En particular, se utiliza la medida de evaluación llamada "precisión" para evaluar el rendimiento del modelo propuesto.

La fórmula para calcular la precisión se presenta de la siguiente manera:

$$A c c u r a c y = A a / A c * 100$$

Aa: Representa el número de resultados clasificados correctamente por el modelo.

Ac: Es el número total de resultados evaluados.

La precisión se utiliza como una métrica clave para evaluar qué tan bien el modelo es capaz de hacer clasificaciones precisas. Cuanto mayor sea

el valor de precisión, mejor será el rendimiento del modelo en la tarea de clasificación.

Utilidad del Artículo

Por medio de este artículo se tomará en cuenta la métrica de precisión ya que es clave para evaluar cuán preciso es tu modelo DL ya que garantiza una detección temprana confiable de la enfermedad. Esto es fundamental para proporcionar a los pacientes y a los profesionales de la salud una base sólida para tomar decisiones informadas y reducir la ocurrencia de falsos positivos (pacientes diagnosticados incorrectamente con Alzheimer) y falsos negativos (pacientes con Alzheimer que no son identificados). Esto es crucial para garantizar un diagnóstico preciso y evitar tratamientos innecesarios o la falta de tratamiento.

4.1.7. Multimodal deep learning models for early detection of Alzheimer's disease stage (Venugopalan et al., 2021)

(DOI: 10.1038/S41598-020-74399-W) 142 citaciones, Web of science

La investigación se centra en utilizar múltiples fuentes de datos, como imágenes médicas, información genética y datos clínicos, para mejorar la detección temprana de la EA. También se menciona algunos puntos claves como:

- Fusión Multimodal de Datos: El estudio promueve la fusión de datos de múltiples fuentes, incluidas imágenes de resonancia magnética, datos clínicos y datos genómicos (SNP), para predecir la etapa de la EA. Utiliza codificadores automáticos y redes neuronales convolucionales 3D

para procesar y extraer características de estas diferentes modalidades de datos.

- **Modelos de Integración:** Después de entrenar redes separadas para cada modalidad de datos, el estudio **combina los resultados utilizando varios enfoques de clasificación, como árboles de decisión, bosques aleatorios, máquinas de vectores de soporte (SVM) y k-vecinos más cercanos (kNN)**. Esto permite una toma de decisiones más precisa y holística.
- **Comparación de Modelos:** Se compararon modelos profundos (DL) con modelos superficiales, como k-vecinos más cercanos (kNN), máquinas de vectores de soporte (SVM) de codificación uno contra uno, bosques aleatorios y árboles de decisión, en términos de su capacidad para predecir las etapas de la EA.
- **Interpretación de Modelos Profundos:** Uno de los **desafíos clave en el uso de modelos de DL en el ámbito clínico es la interpretación de estos modelos**. El estudio aborda este desafío desarrollando enfoques de interpretación basados en perturbaciones y análisis de agrupación para identificar las características más relevantes y significativas en la toma de decisiones.

Utilidad del Artículo

Por medio de este artículo se tomará en cuenta la **Fusión Multimodal de Datos** ya que **se puede demostrar cómo la fusión de datos de diferentes modalidades, como imágenes médicas, datos clínicos y genéticos, mejora**

la [precisión](#) del diagnóstico de la enfermedad de Alzheimer en comparación con el uso de cada modalidad de forma independiente. Esto es esencial para una detección más precisa y temprana de la enfermedad además que destaca cómo la fusión multimodal de datos reduce la incertidumbre y la variabilidad en los resultados del diagnóstico al combinar múltiples fuentes de información.

4.1.8. A Transfer Learning Approach for Early Diagnosis of Alzheimer's Disease on MRI Images (Mehmood et al., 2021)
(DOI:10.1016/j.neuroscience.2021.01.002) 76 citaciones, [Web of science](#)

Este estudio se centra en el uso de resonancia magnética (RM) y aprendizaje profundo para detectar el deterioro cognitivo leve (DCL) y la enfermedad de Alzheimer (EA) en sus etapas tempranas, [utiliza técnicas de aprendizaje profundo](#), en particular, la [arquitectura VGG](#), que ya ha sido entrenada previamente con un gran conjunto de datos. Esto es parte del enfoque de transferencia de aprendizaje, donde un modelo preentrenado se ajusta para tareas específicas, también [se realiza una segmentación de tejidos](#) en las imágenes cerebrales para extraer la información de la materia gris. Esta segmentación permite que el modelo se centre en las características relevantes de las imágenes.

Se destaca que los métodos basados en el aprendizaje profundo, como los autocodificadores dispersos y las redes neuronales convolucionales

(CNN), están proporcionando soluciones óptimas para la clasificación en diversos dominios, incluyendo la visión por computadora y el procesamiento de imágenes médicas

El modelo propuesto logra tasas de [precisión](#) notables en la clasificación de diferentes estados cognitivos. Por ejemplo, la precisión en distinguir entre pacientes con EA y controles normales es del 98.73%. También logra una precisión sólida en la clasificación de otras categorías, como EMCI (deterioro cognitivo leve temprano) y LMCI (deterioro cognitivo leve tardío).

Utilidad del Artículo

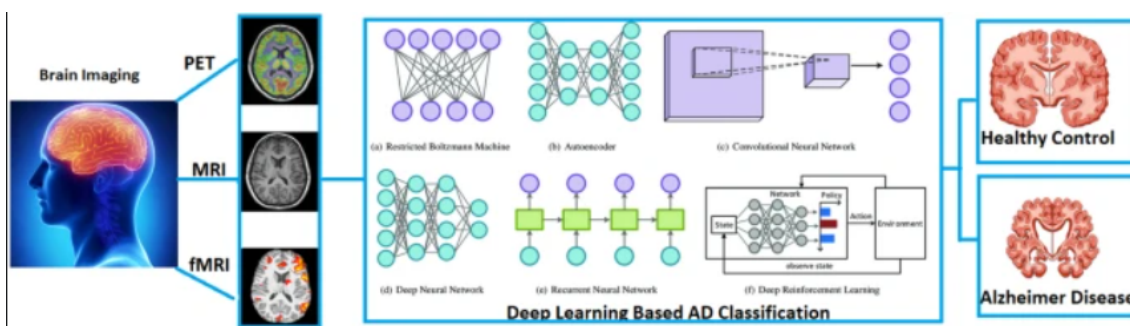
Por medio de este artículo se tomara en cuenta la [segmentación de tejidos](#) en las imágenes cerebrales ya que es un componente crucial en la [detección](#) y [diagnóstico](#) de enfermedades neurológicas como la enfermedad de Alzheimer, esto puede [ayudar a los médicos a identificar con mayor confiabilidad regiones del cerebro afectadas por la enfermedad](#), lo que a su vez puede llevar a un tratamiento más temprano y efectivo.

4.1.9. Four-way classification of Alzheimer's disease using deep Siamese convolutional neural network with triplet-loss function (Hajamohideen et al., 2023)

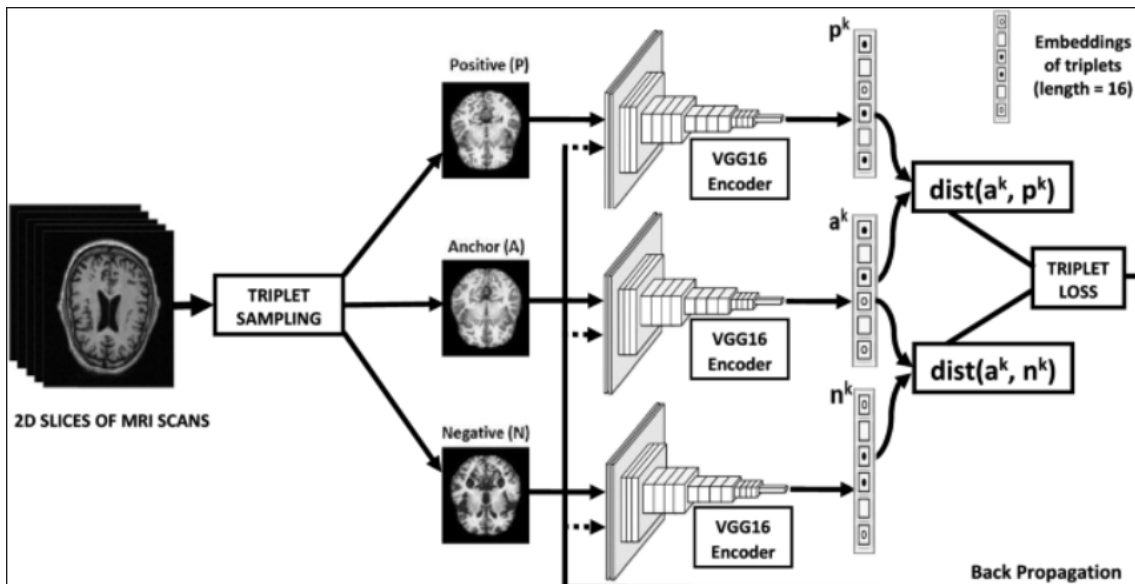
(DOI:10.1186/s40708-023-00184-w) 3 citaciones, Scopus

En este trabajo de investigación los autores se enfocan en la **detección temprana de la enfermedad de Alzheimer (EA)** utilizando imágenes de **resonancia magnética (MRI)** del cerebro y técnicas de **aprendizaje profundo**, en particular una arquitectura de **red neuronal convolucional siamesa (SCNN)** esta arquitectura de red neuronal convolucional siamesa es un tipo de red neuronal **utilizada en tareas de comparación o similitud**, donde dos ramas de la red comparten los mismos pesos y arquitectura. Esta red toma imágenes de resonancia magnética cerebral como entrada, emplea una función de pérdida triple, que es comúnmente utilizada en tareas de aprendizaje por siamesa. Esta función se utiliza para aprender representaciones significativas de las imágenes de MRI en un espacio de incrustación de k dimensiones.

También se muestran los bloques de construcción de la CNN siamesa utilizando la función de pérdida de tripletes para clasificar la EA.



También se muestra la arquitectura de la red siamesa:



El modelo se evaluó utilizando dos conjuntos de datos: [ADNI y OASIS](#).

Los resultados obtenidos mostraron una alta [precisión](#) en la clasificación de pacientes con Alzheimer, con una precisión del 91,83% en ADNI y del 93,85% en OASIS.

Utilidad del Artículo

Por medio de este artículo se tomara en cuenta la existencia de la [red neuronal convolucional siamesa \(SCNN\)](#) ya que su comprensión y/o entendimiento nos permitirá conocer una técnica de vanguardia, lo que puede aumentar la innovación y originalidad en nuestro trabajo, además que la red neuronal ha demostrado [eficaz en tareas de comparación o similitud](#), lo que puede ser relevante en muchas aplicaciones, como el diagnóstico médico.

4.1.10. Early Detection of Alzheimer's Disease Using Magnetic Resonance Imaging: A Novel Approach Combining Convolutional Neural Networks and Ensemble Learning (Pan et al., 2020)

(DOI:10.3389/fnins.2020.00259) 121 citaciones, Scopus

Este trabajo de investigación se enfoca en el uso de técnicas de aprendizaje profundo, específicamente una combinación de Redes Neuronales Convolucionales (CNN) y Aprendizaje en Conjunto (EL), para la detección temprana de la enfermedad de Alzheimer (EA) y el deterioro cognitivo leve (DCL) a partir de imágenes de resonancia magnética (IRM) del cerebro.

La metodología que se propone es un enfoque llamado CNN-EL, que combina modelos de Redes Neuronales Convolucionales (CNN) entrenados en diferentes cortes de IRM (sagital, coronal, transversal) para clasificar sujetos en tres categorías: EA vs. cognición sana (HC), DCL que progresará a EA (MCIC) vs. HC, y MCIC vs. DCL que no progresará a EA (MCInc).

Mencionan algunas de las ventajas de las CNN, como su capacidad para procesar datos de imágenes directamente, aprovechar la información espacial en las imágenes y reducir la cantidad de parámetros del modelo mediante técnicas como el uso de campos receptivos locales y el uso compartido de pesos y aprendizaje en conjunto que implica la combinación de múltiples sistemas de aprendizaje, ha demostrado ser

beneficioso tanto en términos de rendimiento como de robustez. Esto se ha aplicado también al análisis de resonancia magnética.

En los resultados se evaluó el rendimiento de este enfoque utilizando validación cruzada. Los resultados mostraron una alta tasa de [precisión](#) para las tres tareas de [clasificación](#), lo que indica que este enfoque puede ser efectivo en la detección de EA y DCL.

Utilidad del Artículo

Por medio de este artículo se tomará en cuenta la existencia del [aprendizaje en conjunto](#) ya que es una [técnica poderosa en el campo del aprendizaje automático por su capacidad para mejorar la precisión de los modelos](#), también el [aprendizaje en conjunto puede reducir el sobreajuste \(overfitting\)](#) en comparación con modelos individuales. Esto es especialmente relevante si trabaja con conjuntos de datos pequeños.

Referencias:

- Al Shehri, W. (2022). Alzheimer's disease diagnosis and classification using deep learning techniques. *PeerJ Computer Science*, 8. <https://doi.org/10.7717/PEERJ-CS.1177>
- Asgharzadeh-Bonab, A., Kalbkhani, H., & Azarfardian, S. (2023). An Alzheimer's disease classification method using fusion of features from brain Magnetic Resonance Image transforms and deep convolutional networks. *Healthcare Analytics*, 100223. <https://doi.org/10.1016/j.health.2023.100223>
- Balasundaram, A., Srinivasan, S., Prasad, A., Malik, J., & Kumar, A. (2023). Hippocampus Segmentation-Based Alzheimer's Disease Diagnosis and Classification of MRI Images. *Arabian Journal for Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s13369-022-07538-2>
- Bamber, S. S., & Vishvakarma, T. (2023). Medical image classification for Alzheimer's using a deep learning approach. *Journal of Engineering and Applied Science*, 70(1). <https://doi.org/10.1186/s44147-023-00211-x>
- Deep Arya, A., Singh Verma, S., Chakarabarti, P., Chakrabarti, T., Elngar, A. A., Nami, M., & Kamali, A.-M. (2022). A Systematic Review on Machine Learning and Deep Learning Techniques in the Effective Diagnosis of Alzheimer's Disease. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2028945/v1>
- Dipietro, L., Gonzalez-Mego, P., Ramos-Estebanez, C., Zukowski, L. H., Mikkilineni, R., Rushmore, R. J., & Wagner, T. (2023). The evolution of Big Data in neuroscience and neurology. *Journal of Big Data*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s40537-023-00751-2>
- EL-Geneedy, M., Moustafa, H. E. D., Khalifa, F., Khater, H., & Abdelhalim, E. (2023). An MRI-based deep learning approach for accurate detection of Alzheimer's disease. *Alexandria Engineering Journal*, 63, 211–221. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.07.062>
- Hajamohideen, F., Shaffi, N., Mahmud, M., Subramanian, K., Al Sariri, A., Vimbi, V., & Abdesselam, A. (2023). Four-way classification of Alzheimer's disease using deep Siamese convolutional neural network with triplet-loss function. *Brain Informatics*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s40708-023-00184-w>
- Helaly, H. A., Badawy, M., & Haikal, A. Y. (2022). Deep Learning Approach for Early Detection of Alzheimer's Disease. *Cognitive Computation*, 14(5), 1711–1727. <https://doi.org/10.1007/s12559-021-09946-2>
- Huang, G., Li, R., Bai, Q., & Alty, J. (2023). Multimodal learning of clinically accessible tests to aid diagnosis of neurodegenerative disorders: a scoping review. In *Health Information Science and Systems* (Vol. 11, Issue 1). Springer. <https://doi.org/10.1007/s13755-023-00231-0>
- Jaiswal, A., & Sadana, A. (2022). Early Detection of Alzheimer's Disease Using Bottleneck Transformers. *International Journal of Intelligent Information Technologies*, 18(2). <https://doi.org/10.4018/IJIT.296268>
- Liang, L., Zhou, P., Ye, C., Yang, Q., & Ma, T. (2023). Spatial–temporal patterns of brain disconnectome in Alzheimer's disease. *Human Brain Mapping*. <https://doi.org/10.1002/hbm.26344>
- Ma, P., Wang, J., Zhou, Z., Chen, C. L. P., & Duan, J. (2023). Development and validation of a deep-broad ensemble model for early detection of Alzheimer's disease. *Frontiers in Neuroscience*, 17. <https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1137557>

- Mehmood, A., yang, S., feng, Z., wang, M., Ahmad, A. S., khan, R., Maqsood, M., & Yaqub, M. (2021). A Transfer Learning Approach for Early Diagnosis of Alzheimer's Disease on MRI Images. *Neuroscience*, 460, 43–52. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2021.01.002>
- Pan, D., Zeng, A., Jia, L., Huang, Y., Frizzell, T., & Song, X. (2020). Early Detection of Alzheimer's Disease Using Magnetic Resonance Imaging: A Novel Approach Combining Convolutional Neural Networks and Ensemble Learning. *Frontiers in Neuroscience*, 14. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.00259>
- Park, C., Jung, W., & Suk, H. Il. (2023). Deep joint learning of pathological region localization and Alzheimer's disease diagnosis. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-38240-4>
- Park, S. W., Yeo, N. Y., Kim, Y., Byeon, G., & Jang, J. W. (2023). Deep learning application for the classification of Alzheimer's disease using 18F-flortaucipir (AV-1451) tau positron emission tomography. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-35389-w>
- Park, S. W., Yeo, N. Y., Lee, J., Lee, S. H., Byun, J., Park, D. Y., Yum, S., Kim, J. K., Byeon, G., Kim, Y., & Jang, J. W. (2023). Machine learning application for classification of Alzheimer's disease stages using 18F-flortaucipir positron emission tomography. *BioMedical Engineering Online*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12938-023-01107-w>
- Rita, L., Neumann, N. R., Laponogov, I., Gonzalez, G., Veselkov, D., Pratico, D., Aalizadeh, R., Thomaidis, N. S., Thompson, D. C., Vasiliou, V., & Veselkov, K. (2023). Alzheimer's disease: using gene/protein network machine learning for molecule discovery in olive oil. *Human Genomics*, 17(1), 57. <https://doi.org/10.1186/s40246-023-00503-6>
- Shanmugam, J. V., Duraisamy, B., Simon, B. C., & Bhaskaran, P. (2022). Alzheimer's disease classification using pre-trained deep networks. *Biomedical Signal Processing and Control*, 71. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2021.103217>
- Venugopalan, J., Tong, L., Hassanzadeh, H. R., & Wang, M. D. (2021). Multimodal deep learning models for early detection of Alzheimer's disease stage. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74399-w>
- Yiğit, A., & Işık, Z. (2020). Applying deep learning models to structural MRI for stage prediction of Alzheimer's disease. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 28(1), 196–210. <https://doi.org/10.3906/elk-1904-172>