

Documento de Análisis y Diseño

Clasificación De Las Etapas De La Enfermedad Del Alzheimer.

**Juan Camilo Andrade,
Juan Andrés Borrero,
& Andres Felipe Ortiz**

Junio 2020.

**Universidad Surcolombiana.
Facultad de Ingeniería.
Proyecto Integrador IV.**

Tabla de contenido

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1 JUSTIFICACIÓN	4
1.2 OBJETIVOS	5
1.2.1 Objetivo General.	5
1.2.2 Objetivos Específicos	5
1.3 ALCANCE	6
1.3.1 Entregables del proyecto.	6
1.4 REQUISITOS.	7
2. DESARROLLO DEL MODELO.	10
2.1. MATERIALES Y MÉTODOS	10
2.1.1 Construcción del dataset.	10
2.1.2 Framework.	13
2.2 Métodos.	13
2.2.1 ResNet	15
2.2.2 DenseNet	15
3. ARQUITECTURA DEL PROYECTO	16
3.1 Diagramas de la arquitectura	16
3.2 Descripción de la arquitectura	16
4. DIAGRAMAS DEL PROYECTO.	17
4.1 Diagrama de Casos de Uso	17
4.2 Diagrama de Secuencia.	17
4.3 Diagrama de Flujo.	18
4.4 Descripción de los Diagramas	18
4.4.1. Descripción Casos de Uso.	18
4.4.2. Descripción Secuencia.	19
4.4.3. Descripción del Diagrama de Flujo.	19
5. INTERFAZ DE USUARIO DEL PROYECTO.	20
6. REFERENCIAS.	22

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La enfermedad de Alzheimer es un tipo de demencia incurable que causa problemas en la memoria, el pensamiento y el comportamiento de una persona. Generalmente los síntomas se desarrollan de manera lenta y empeoran con el paso del tiempo. El diagnóstico de esta enfermedad, se realiza determinando la presencia de ciertos indicios. Esto implica una cuidadosa evaluación médica, incluyendo una historia clínica completa, pruebas del estado mental, un examen físico y neurológico, exámenes de sangre y exámenes diagnóstico por imágenes del cerebro, incluyendo:

- Imágenes por tomografía computarizada de la cabeza (TC).
- MRI de la cabeza (Resonancia Magnética).
- PET y PET/CT de la cabeza.

Lo anterior, conlleva una serie de problemas a la hora de diagnosticar la enfermedad, analizando las imágenes MRI del cerebro en Colombia:

Empezando por falta de especialistas encargados en el análisis de las imágenes anteriormente mencionadas en los centros médicos de todo el país. Seguido por el tiempo que se toma en realizar esta tarea, causando el desarrollo de la enfermedad y dificultades para tratarla. Finalmente, la poca accesibilidad que tiene la población de municipios donde no se cuente con una EPS certificada para realizar el análisis o centros médicos especializados, dando como resultado, los altos costos que representa el diagnóstico de esta enfermedad.

El desarrollo de un sistema inteligente basado en métodos de aprendizaje de representación para clasificar imágenes MRI por etapas de la enfermedad de Alzheimer de manera temprana, ¿Ayudará a dar soluciones precisas a esta serie de problemas?

El procesamiento de las respectivas imágenes MRI, utilizando técnicas de data cleaning y data augmentation, ¿ayudará a obtener un conjunto de datos limpio y clasificado por etapas?

¿El entrenamiento de distintos modelos de clasificación basados en diferentes arquitecturas de redes neuronales convolucionales permitirá obtener información para realizar un estudio comparativo?

¿Realizar un estudio comparativo de los modelos de clasificación entrenados, servirá para determinar cuál es el más preciso para el sistema?

1.1 JUSTIFICACIÓN

Este proyecto como instrumento de apoyo para el diagnóstico médico, busca detectar y clasificar de manera temprana la enfermedad de Alzheimer en las personas. También, demuestra el alcance que tiene el deep learning en el análisis predictivo de imágenes médicas, facilitando un diagnóstico temprano y preciso de diferentes enfermedades.

El Alzheimer es un tipo de demencia que causa problemas de memoria, pensamiento y comportamiento. Según la asociación mundial de Alzheimer, en el mundo hay más de 46,8 millones de personas que viven con la enfermedad u otros tipos de demencia. Se estima que para el 2030, si no se dan descubrimientos novedosos, se verá un aumento en esta cifra, alcanzando casi los 74,7 millones de personas; y para el 2050, las tasas podrían superar los 131,5 millones [1].

En Colombia, esta enfermedad afecta a más 221 mil personas y es considerada una de las patologías más costosas para el sistema de salud, pues el costo del tratamiento total por paciente para un promedio de ocho años, es de aproximadamente de 33,3 millones y podría alcanzar los 99 millones de pesos si se incluyen los costos del cuidador [2]. Según un estudio realizado por especialistas de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad ICESI [3], para el 2020 se espera que 260.000 personas mayores de 60 años padezcan la enfermedad del Alzheimer.

Por esta razón, es importante crear soluciones novedosas como apoyo al análisis de imágenes médicas, para reducir el tiempo en el diagnóstico en distintas enfermedades y así mismo evitar que personas en Colombia y el mundo padecen este tipo de problemas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General.

Desarrollar un sistema inteligente o experto basado en métodos de aprendizaje de representación para clasificar imágenes MRI por etapas de la enfermedad de Alzheimer de manera temprana.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Procesar las respectivas imágenes MRI, utilizando técnicas de data cleaning, data augmentation y vectorización.
- Entrenar distintos modelos de clasificación basados en las diferentes arquitecturas de redes neuronales.
- Realizar un estudio comparativo de los modelos de clasificación entrenados, para determinar cuál presenta mayor precisión.

1.3 ALCANCE

El proyecto “Clasificación De Las Etapas De La Enfermedad De Alzheimer Basado En Métodos De Aprendizaje De Representación” tiene un alcance que puede ser definido a grandes rasgos por:

- Desarrollar un sistema inteligente basado en métodos de aprendizaje de representación para clasificar imágenes MRI por etapas de la enfermedad de Alzheimer.
- Diseñar y efectuar un modelo clasificatorio que satisfaga todas las necesidades de diferentes pacientes y resuelva los distintos problemas.
- Implementar el sistema en distintos centros de salud, o como una plataforma web para que cualquier usuario pueda realizar un diagnóstico preventivo permitiendo la temprana detección y clasificación del Alzheimer.

Los siguientes aspectos no son considerados dentro del alcance del proyecto, por lo tanto, no se abordará al respecto sobre ninguno de ellos:

- ➔ El proyecto sólo se enfoca en la clasificación de las etapas del Alzheimer analizando imágenes médicas. Los otros métodos de detección como el psicológico, físico ETC; no son objeto de estudio.
- ➔ La detección temprana del Alzheimer no significa la cura de esta enfermedad. El proyecto no busca la cura al Alzheimer.
- ➔ La entidad especializada de salud, usuario o cualquier persona que haga uso del proyecto, será la responsable de la utilización de este, por lo tanto, queda por fuera del alcance del proyecto.

1.3.1 Entregables del proyecto.

- Modelo de clasificación de imágenes MRI de etapas de la enfermedad de Alzheimer.
- Plataforma Web que permitirá una interacción directa con el modelo para clasificar la imagen MRI por etapas.
- Documento de manual de usuario.

1.4 REQUISITOS.

ID	RS-001
AUTOR	Juan Camilo Andrade Alarcón
NOMBRE	Diseño de Interfaz de Usuario
REQUERIMIENTO ASOCIADO	Ninguno
CONTEXTO	Se necesita hacer un diseño específico para la aplicación
ACTORES	Usuario
ENTRADAS	Nombres, Teléfono, Correo Electrónico, Imagen
SALIDAS	RS-002
PRE-CONDICIONES	Nombres en formato correcto, sin números ni caracteres especiales, teléfono en formato correcto, sin letras. Correo es formato correcto. Imagen en formato correcto. Todo lo anterior, debe ser obligatorio.
DESCRIPCIÓN	El diseño de la aplicación debe contener: Logo del proyecto, campos para que el usuario digite sus nombres, teléfono,, correo y suba la MRI

ID	RS-002
AUTOR	Juan Camilo Andrade Alarcón
NOMBRE	Corrección de formato de los inscritos por el Usuario
REQUERIMIENTO ASOCIADO	RS-001
CONTEXTO	Se necesita que los usuarios escriban correctamente sus datos personales correctamente para hacerle seguimiento de la enfermedad
ACTORES	Usuario
ENTRADAS	Nombres, Teléfono, Correo Electrónico
SALIDAS	“Haz Coincidir el Formato Solicitado” / RS-003
PRE-CONDICIONES	Ninguna
DESCRIPCIÓN	Cuando el usuario digite mal los datos solicitados, debe aparecer un ejemplo o sugerencia de cómo debe escribir sus datos.

ID	RS-003
AUTOR	Juan Camilo Andrade Alarcón
NOMBRE	Formato De la MRI (imagen)
REQUERIMIENTO ASOCIADO	RS-001
CONTEXTO	Se necesita que los usuarios solo puedan enviar ciertos formatos de imagen.
ACTORES	Usuario
ENTRADAS	imagen
SALIDAS	“Lo sentimos, sólo se permite enviar: JPG, JPEG, PNG” / RS-004
PRE-CONDICIONES	Ninguna
DESCRIPCIÓN	Sólamamente se pueden aceptar imágenes que tengan formato jpg, jpeg y png.

ID	RS-004
AUTOR	Juan Camilo Andrade Alarcón
NOMBRE	Identificación de una MRI
REQUERIMIENTO ASOCIADO	RS-003
CONTEXTO	Se necesita que se identifique si es una imagen MRI o no.
ACTORES	Usuario / Modelo de Clasificación
ENTRADAS	imagen
SALIDAS	“Lo sentimos, esta imagen no corresponde a una MRI” / RS-005
PRE-CONDICIONES	Ninguna
DESCRIPCIÓN	Cuando el usuario envíe cualquier imagen, se debe identificar si es o no, una MRI.

ID	RS-005
AUTOR	Juan Camilo Andrade Alarcón
NOMBRE	Visualizar la imagen que se subió
REQUERIMIENTO ASOCIADO	Ninguno
CONTEXTO	Se necesita que el usuario pueda ver la imagen que subió
ACTORES	Usuario
ENTRADAS	Imagen seleccionada
SALIDAS	Visualización de la imagen seleccionada
PRE-CONDICIONES	Ninguna
DESCRIPCIÓN	El usuario podrá ver la imagen que seleccionó.

ID	RS-006
AUTOR	Juan Camilo Andrade Alarcón
NOMBRE	Clasificación de la Enfermedad
REQUERIMIENTO ASOCIADO	Ninguno
CONTEXTO	Se necesita que se clasifique la MRI por etapas del Alzheimer.
ACTORES	Usuario / Modelo de Clasificación
ENTRADAS	imagen
SALIDAS	“Result: ” + Clasificación de la Enfermedad
PRE-CONDICIONES	Ninguna
DESCRIPCIÓN	La imagen MRI deberá ser clasificada entre las etapas de CN, EMCI y AD.

ID	RS-007
AUTOR	Juan Camilo Andrade Alarcón
NOMBRE	Regreso a la página principal
REQUERIMIENTO ASOCIADO	Ninguno
CONTEXTO	Se necesita un botón que redireccione al usuario a la página principal del proyecto
ACTORES	Usuario
ENTRADAS	Ninguna
SALIDAS	Página Principal del Proyecto
PRE-CONDICIONES	Ninguna
DESCRIPCIÓN	Una vez clasificada la imagen, debe haber un botón que permita al usuario volver a la página principal del proyecto .

2. DESARROLLO DEL MODELO.

2.1. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1.1 Construcción del dataset.

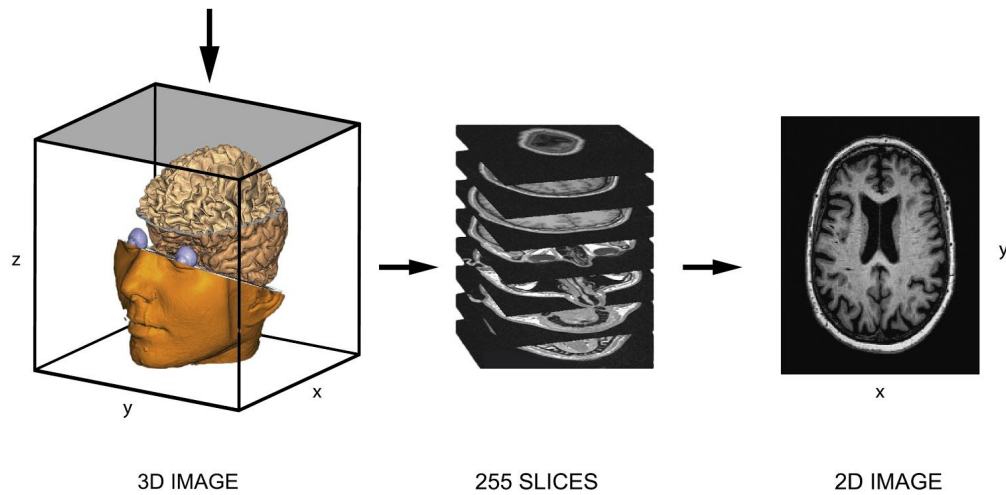
Para desarrollar el sistema inteligente basado en métodos de aprendizaje de representación, se utilizó un dataset que cuenta con 1481 volúmenes que proveen los scanners de resonancias magnéticas en formato 3D NIFTI. Dichos volúmenes están clasificados por etapas, fecha de realización del examen y paciente al cual se le practicó. Este dataset está distribuido de la siguiente manera:

Etapas	CN 0	EMCI 0.5	MCI 1	LMCI 2	AD 3
Volúmenes	989	339	111	31	11

Como es evidente, el dataset no cuenta con información suficiente en las etapas 2 y 3. Es por eso que se decidió agrupar las etapas 1,2 y 3 (MCI, LMCI y AD) en una sola y se tomó como Alzheimer Disease (AD), logrando así equidad en los datos experimentales donde se da la posibilidad de seleccionar 100 sujetos por cada una de las tres etapas a clasificar: Cognitive Normal (CN), Early Mild Cognitive Impairment (EMCI) y Alzheimer Disease (AD).

Etapas	CN	EMCI	AD
Volúmenes	989	339	153

Para poder elaborar un modelo de clasificación con alta precisión, se requieren más de 3000 imágenes por etapa. Para ello se toman porciones de un volumen de la vista superior, creando un total de 256 imágenes en 2D, como se muestra en la siguiente figura:



El proceso anterior está descrito por la siguiente ecuación:

$$H = [x, y, z] \quad (1)$$

$$H' = \sum_{i=a}^b H[x_i, y, z] \quad (2)$$

$$H' = [x_i, y] \quad (3)$$

donde:

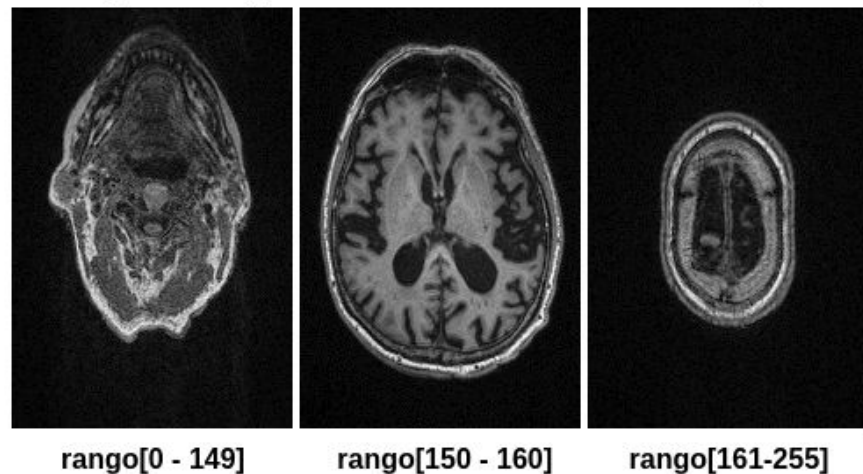
$$\{y, z\} \rightarrow const$$

$$\{x_i\} \rightarrow var$$

$$\{a, b\} \rightarrow (0, 255)$$

En la ecuación (1) se define la imagen inicial H que se encuentra en tres dimensiones. En la ecuación (2), se varía x_i en un rango de $\{a, b\}$, siendo $\{y, z\}$ constantes, sacando una porción de la imagen H en el punto x_i y obteniendo una imagen en dos dimensiones, como lo ilustra la ecuación (3). Dando como resultado 256 imágenes de resonancias magnéticas en 2D aumentando los datos en un 256%. Este proceso se aplica a 100 volúmenes de cada una de las etapas, provocando un aumento en la información.

Una vez realizado el proceso anterior, se selecciona 10 imágenes por cada uno de los volúmenes procesados. Dichas imágenes se seleccionan en un rango que van desde el slice 150 hasta el slice 160. Esto debido que en rangos inferiores o superiores, la información de la MRI es casi nula, como se observa en las siguientes figuras:



El proceso de selección de imágenes, da como resultado una cantidad de 1000 imágenes por etapa, como lo expresa la siguiente tabla:

Etapa	CN	EMCI	AD
Imágenes	1000	1000	1000

Como se dijo anteriormente, para hacer un entrenamiento supervisado limpio y efectivo, se requieren más de 3000 imágenes, para ello, se implementan técnicas de data augmentation, como rotación y translación[6]. Gracias a este proceso se generan 4000 imágenes. Dando como resultado un conjunto de datos de 5000 imágenes, listas para proceder con el entrenamiento del modelo de clasificación.

Distribución de imágenes después del proceso de data augmentation.

Etap	CN	EMCI	AD
Datos Originales	1000	1000	1000
Datos Aumentados	4000	4000	4000
Total	5000	5000	5000

2.1.2 Framework.

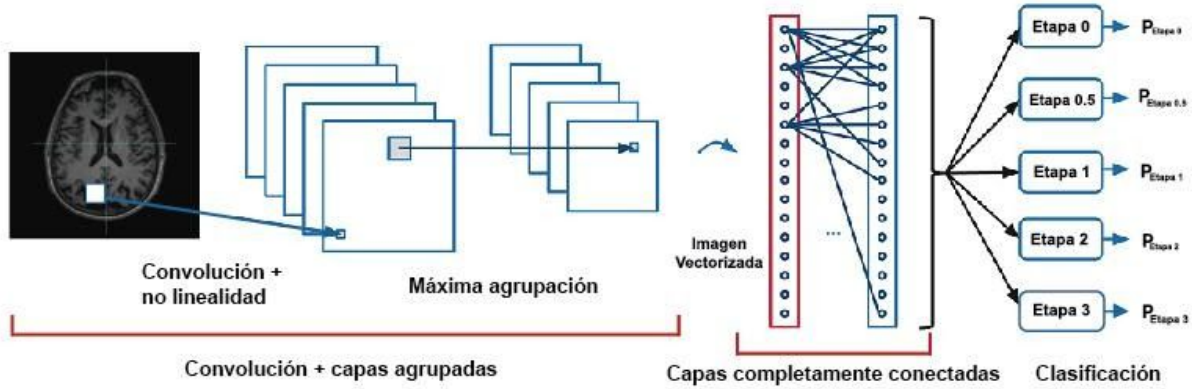
El framework que se utilizó para la construcción del modelo de clasificación fue TensorFlow y Keras. Ya que “TensorFlow es una plataforma de código abierto de extremo a extremo para el aprendizaje automático. Cuenta con un ecosistema completo y flexible de herramientas, bibliotecas y recursos comunitarios que permite a los investigadores impulsar el estado del arte en ML y a los desarrolladores construir y desplegar fácilmente aplicaciones potenciadas por ML”[4].

Además “Keras es una API de redes neuronales de alto nivel, escrita en Python y capaz de funcionar sobre TensorFlow, CNTK o Theano. Fue desarrollado con el objetivo de permitir una rápida experimentación. Poder pasar de la idea al resultado en el menor tiempo posible es la clave para realizar una buena investigación”[5].

2.2 Métodos.

Para el desarrollo del modelo de clasificación se usaron las redes neuronales convolucionales con dos arquitecturas específicas, ResNet y DenseNet. Un CNN es una red neutral multicapa que está inspirado biológicamente en el cortex visual de los animales. La arquitectura es particularmente útil en aplicaciones para procesar imágenes.

El primer CNN fue creado por Yann LeCun; en ese momento, la arquitectura estaba enfocada en el reconocimiento de los caracteres escritos a mano, como la interpretación de los códigos postales. Como una red profunda, las capas anteriores reconocen porciones (como límites), y las capas posteriores recombinan esas funciones en atributos de mayor nivel de entrada. [6]



La anterior figura ilustra la estructura básica de una red neuronal convolucional (CNN) utilizada en este proyecto. El proceso consta de 3 pasos: Inicialmente se define la cantidad de capas y se agrupan. A continuación, se conectan completamente las capas para que finalmente se dé una clasificación, en este caso de 3 clases. Para calcular la salida de una cada neurona convolucional se emplea la siguiente ecuación:

$$Y_j = g \left(b_j + \sum_i K_{ij} \otimes Y_i \right) \quad [6]$$

Donde la salida Y_j de una neurona j es una matriz que se calcula por medio de la combinación lineal de las salidas Y_i de las neuronas en la capa anterior cada una de ellas operadas con el núcleo de convolucional K_{ij} correspondiente a esa conexión. Esta cantidad es sumada a una influencia b_j y luego se pasa por una función $g(\cdot)$ de activación no-lineal.

También se usa la función de activación softmax, que se emplea para "comprimir" un vector K-dimensional, z , de valores reales arbitrarios en un vector K-dimensional, $\sigma(z)$, de valores reales en el rango $[0, 1]$. En el campo del Aprendizaje por Refuerzo, la función SoftMax puede utilizarse para convertir valores en probabilidades de actuación. En esos casos, la función que se emplea es una variación de:

$$P_t(a) = \frac{\exp(q_t(a)/\tau)}{\sum_{i=1}^n \exp(q_t(i)/\tau)}, \quad [6]$$

Donde el valor de actuación $q_t(a)$ corresponde a la recompensa esperada de la acción siguiente a y τ es denominado el parámetro de temperatura (aludiendo a la estadística mecánica).

2.2.1 ResNet

Se reformula explícitamente las capas como funciones residuales de aprendizaje con referencia a las entradas de capas, en lugar de aprender funciones no referenciadas. Se proporciona pruebas empíricas exhaustivas que demuestran que estas redes residuales son más fáciles de optimizar y pueden obtener precisión a partir de una profundidad considerablemente mayor. En el conjunto de datos de ImageNet se evalúa redes residuales con una profundidad de hasta 152 capas, 8 veces más profundas que las redes VGG pero con menor complejidad. Un conjunto de estas redes residuales logra un error del 3,57% en el equipo de prueba ImageNet. Este resultado obtuvo el primer lugar en la tarea de clasificación del ILSVRC 2015 [7].

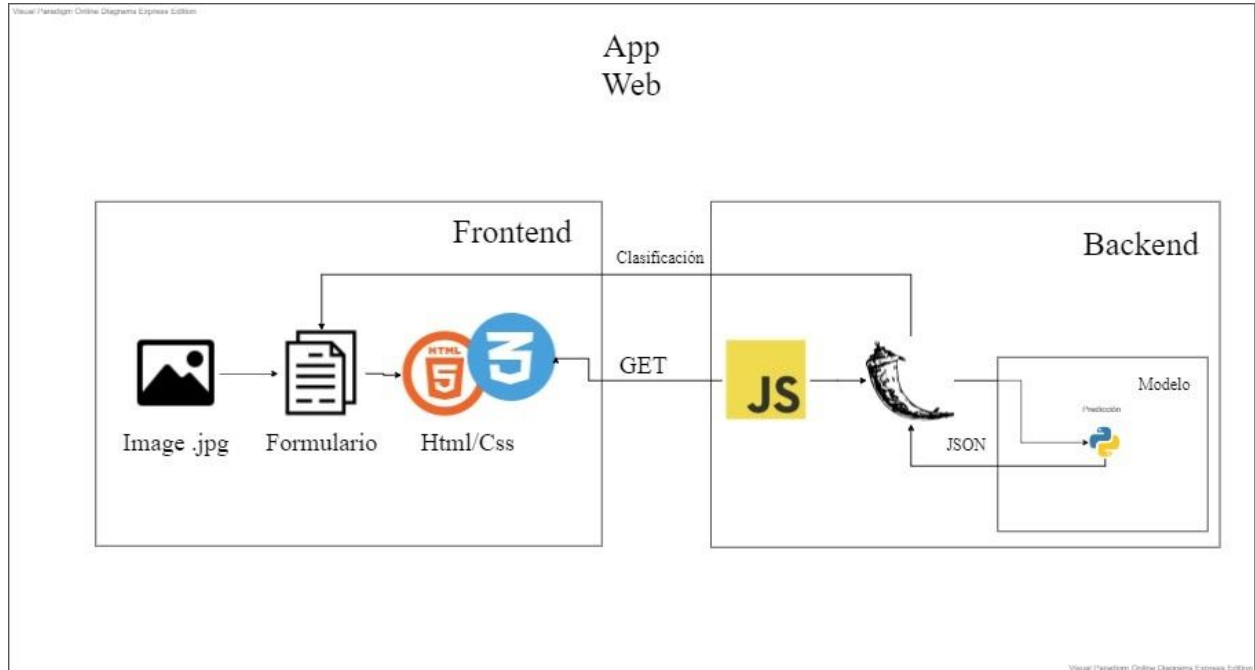
2.2.2 DenseNet

La Dense Convolutional Network (DenseNet), conecta cada capa a cada una de las otras capas de una manera retroalimentada. Mientras que las redes convolucionales tradicionales con capas L tienen conexiones $L - 1$ entre cada capa y su capa posterior, esta red tiene conexiones directas $L(L+1)/2$. Para cada capa, los mapas de características de todas estas capas precedentes se utilizan como entradas, y dichos mapas se utilizan de la misma manera para como todas las capas siguientes.

Las redes DenseNets tienen varias ventajas convincentes: alivian el problema del gradiente de desaparición, refuerzan la propagación de la característica, fomentan la reutilización de la característica y reducen sustancialmente el número de parámetros [8].

3. ARQUITECTURA DEL PROYECTO

3.1 Diagramas de la arquitectura

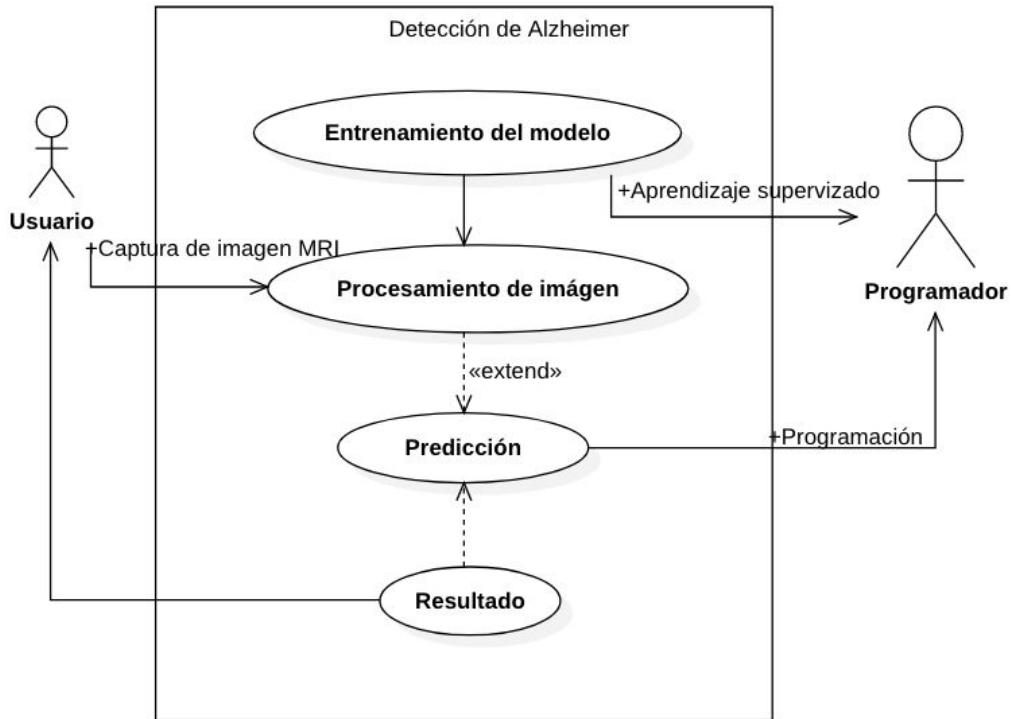


3.2 Descripción de la arquitectura

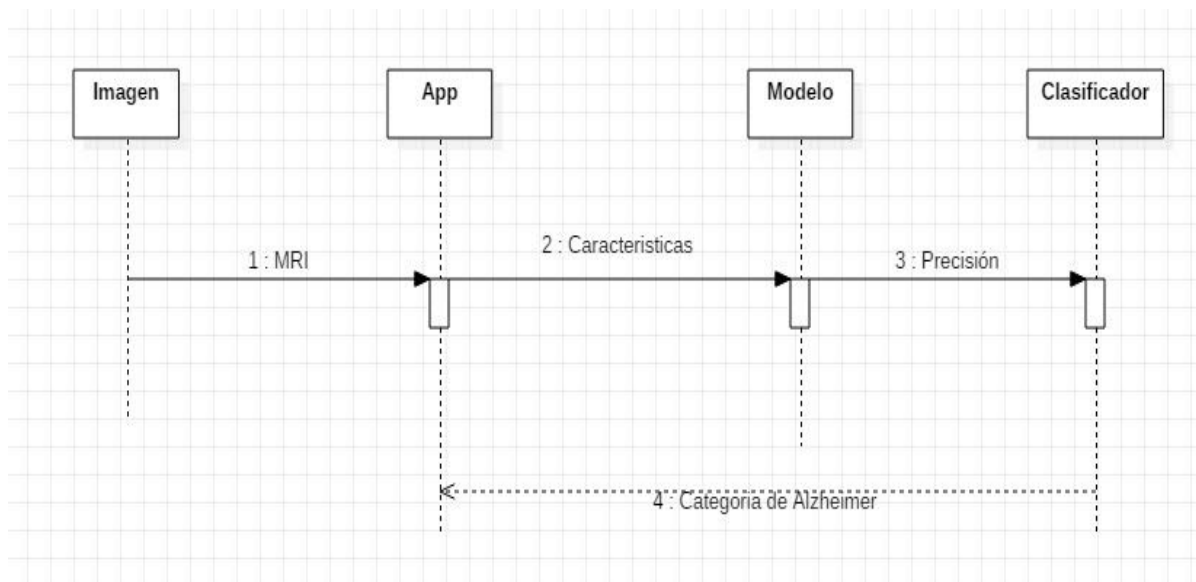
La arquitectura es un despliegue de un modelo de inteligencia artificial que recibe una imagen de formato jpg o jpeg en un formulario html posteriormente se captará por el backend a través de javascript donde luego se pasará al micro framework de Python Flask, donde por último se conecta al modelo de predicción. Luego de realizada la predicción el modelo retornara un JSON a Flask con la información de la imagen y por último pasará de nuevo al formulario en html donde se mostrará la clasificación de la imagen.

4. DIAGRAMAS DEL PROYECTO.

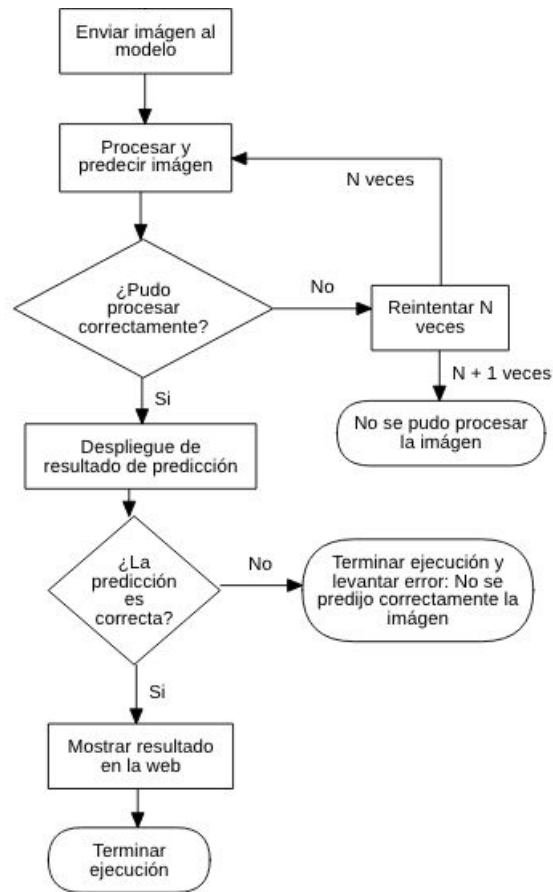
4.1 Diagrama de Casos de Uso



4.2 Diagrama de Secuencia.



4.3 Diagrama de Flujo.



4.4 Descripción de los Diagramas

4.4.1. Descripción Casos de Uso.

Dentro del diagrama de casos de uso se encuentran dos actores principales. Por un lado tenemos al usuario que tiene la tarea de ingresar la imagen MRI dentro del servicio para que esta sea clasificada. Cabe aclarar que el usuario no interviene en ninguno de los procesos internos del caso de procesamiento de la imagen. Posteriormente el usuario interactúa con el resultado que se da a partir de la predicción.

Por otro lado, el programador se encarga directamente del entrenamiento de un modelo de aprendizaje supervisado, de los procesos internos que conlleva el procesamiento de la imagen y finalmente de interpretar las predicciones para hacerlas entendibles ante el usuario.

4.4.2. Descripción Secuencia.

Para describir el comportamiento dinámico del sistema de información, haciendo énfasis en la secuencia de los mensajes, se utilizará un diagrama de secuencia debido a que es un tipo de diagrama de interacción. Como se observa en el diagrama, se encuentran los objetos del eje vertical que interactúan secuencialmente y horizontalmente se describe la relación entre ellos.

Según lo anterior, se puede apreciar que la relación entre la Imagen y la App es el tipo de imagen que reciben ambos objetos que, en este caso, son imágenes MRI. Entre la App y el Modelo se comparte las características de la imagen anterior para ser procesada correctamente validando cada aspecto de ella. Posteriormente la relación entre el Modelo y el Clasificador se describe como la precisión de la predicción dada por el modelo.

Finalmente, se puede apreciar que existe una relación entre los 3 objetos con los que no interactúa el usuario directamente, estos son App, Modelo y Clasificador. De estos tres objetos depende la predicción de la categoría de Alzheimer que será mostrada al usuario en el caso de uso de Resultado.

4.4.3. Descripción del Diagrama de Flujo.

El diagrama de flujo inicia con la inserción de la imagen en formato MRI por parte del usuario al sistema, posteriormente esta se prepara para su procesamiento. Si la imagen se procesa correctamente (sus características son compatibles con el modelo) inicia el despliegue de resultados de la predicción para ser analizados. De lo contrario se debe reintentar con otra imagen. Luego se presenta una condición en la cual se valida la predicción del modelo. Si la predicción no es correcta entonces se devuelve una alerta que evidencia el error cometido. Por otro lado, si la predicción es correcta, el resultado se muestra satisfactoriamente al usuario mediante la web y se termina la ejecución.

Gracias a esta representación gráfica se hace más notable los procesos descritos en los anteriores diagramas (casos de uso y secuencia). Cabe destacar que se está utilizando un paradigma de programación declarativa debido al requerimiento funcional que exige el proyecto, por esta razón el diagrama de flujo se limita a ser abstracto en relación al procedimiento concreto.

5. INTERFAZ DE USUARIO DEL PROYECTO.

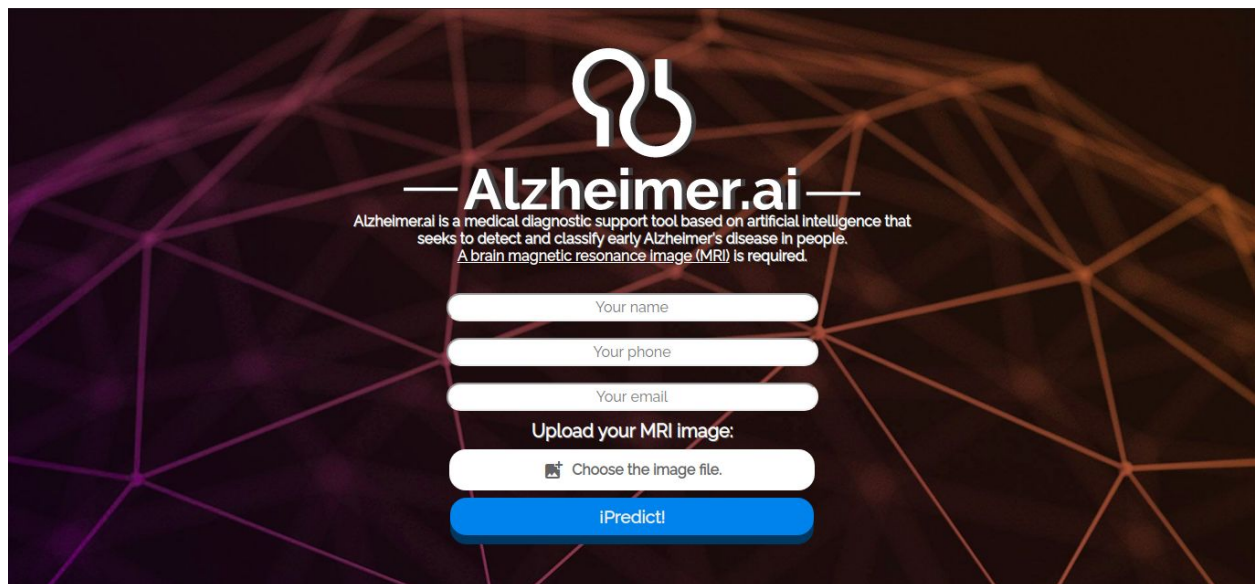
Logotipo del Proyecto.



El proyecto lleva el nombre Alzheimer.ai haciendo alusión al nombre de la enfermedad que padece nuestra población objetivo y el campo de estudio Inteligencia Artificial (o por sus siglas en inglés (ai)).

Para el diseño del logo se optó por una ilustración minimalista de un color sólido. En la parte superior, se plasma el logo internacional de la enfermedad y debajo de este el nombre del proyecto.

Diseño preliminar de la aplicación.



— Alzheimer.ai —

Alzheimerai is a medical diagnostic support tool based on artificial intelligence that seeks to detect and classify early Alzheimer's disease in people.
A brain magnetic resonance image (MRI) is required.

Your name

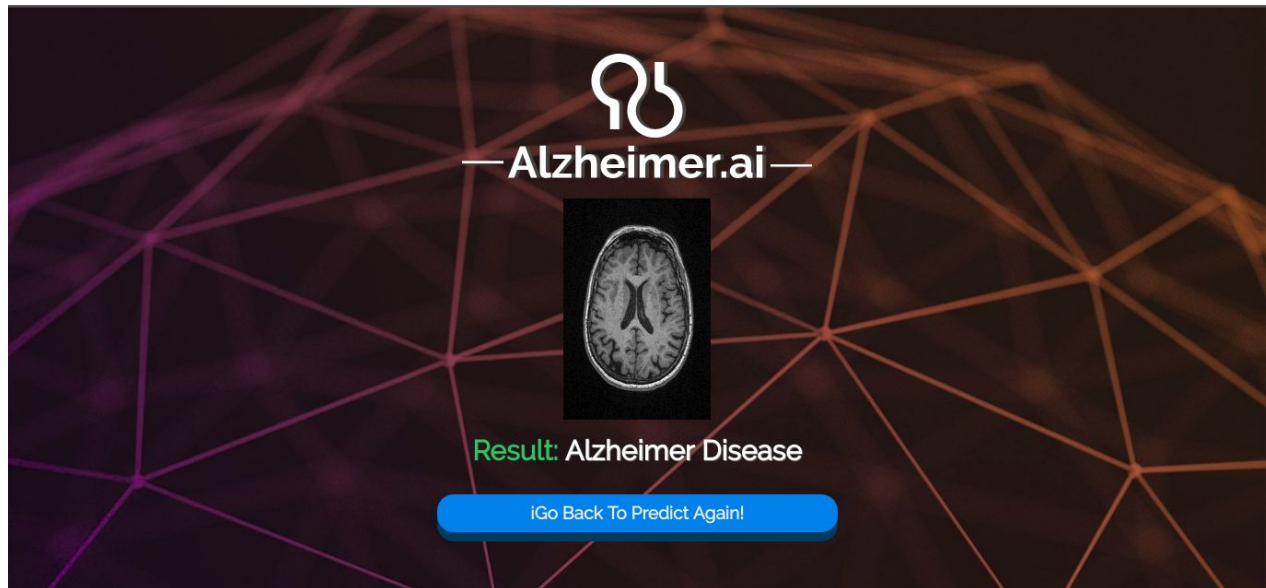
Your phone

Your email

Upload your MRI image:

Choose the image file.

Al igual que el el logo del proyecto, se optó por un diseño minimalista que consta del logo, una descripción de la aplicación, los campos solicitados en los requisitos y un botón que nos dirige a la pantalla de predicción, que mostrará el logo del diseño, la imagen que enviamos a clasificar, el resultado de la predicción y un botón que regresa al usuario a la pantalla principal, como se muestra en la siguiente imagen:



6. REFERENCIAS.

- [1] BrightFocus Foundation, “Enfermedad de Alzheimer: Datos y Cifras.” [Online]. Available: <https://www.brightfocus.org/espanol/la-enfermedad-de-alzheimer-y-la-demencia/enfermedad-de-alzheimer-datos-y-cifras>. [Accessed: 09-May-2019].
- [2] La Opinión, “Alzheimer, una enfermedad que afecta a 221 mil colombianos.” [Online]. Available: <https://www.laopinion.com.co/vida-y-salud/alzheimer-una-enfermedad-que-afecta-221-mil-colombianos-140605#OP>. [Accessed: 09-May-2019].
- [3] Universidad ICESI, “ALZHEIMER UN PROBLEMA DE SALUD PÚBLICA EN COLOMBIA.” [Online]. Available: <https://www.icesi.edu.co/unicesi/todas-las-noticias/2241-alzheimer-un-problema-de-salud-publica-en-colombia>. [Accessed: 09-May-2019].
- [4] J. Islam and Y. Zhang, “Early diagnosis of alzheimer’s disease: A neuroimaging study with deep learning architectures,” IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit. Work., vol. 2018-June, pp. 1962–1964, 2018.
- [5] S. Sarraf and G. Tofghi, “Classification of Alzheimer’s Disease Structural MRI Data by Deep Learning Convolutional Neural Networks,” pp. 8–12, 2016.
- [6] la enciclopedia libre Wikipedia, “Redes neuronales convolucionales.” [Online]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Redes_neuronales_convolucionales [Accessed: 09-May-2019].
- [7] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, “Deep Residual Learning for Image Recognition.”
- [8] G. Huang, Z. Liu, L. Van Der Maaten, and K. Q. Weinberger, “Densely Connected Convolutional Networks.”