



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA



Graduado en Ingeniería del Software

Redes Neuronales Convolucionales para el  
reconocimiento de enfermedades de la piel

Convolutional Neural Networks for skin  
diseases recognition

Realizado por  
David Castillo Berná

Tutorizado por  
Ezequiel López Rubio  
Miguel Ángel Molina Cabello

Departamento  
Lenguajes y Ciencias de la Computación

MÁLAGA, junio de 2022



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INFORMÁTICA

Grado en Ingeniería del Software

**Redes Neuronales Convolucionales para el reconocimiento de  
enfermedades de la piel**

**Convolutional Neural Networks for skin diseases recognition**

Realizado por

**David Castillo Berná**

Tutorizado por

**Ezequiel López Rubio**

**Miguel Ángel Molina Cabello**

Departamento

**Lenguaje y Ciencias de la Computación**

UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

MÁLAGA, JUNIO DE 2022

## Resumen

El cáncer de piel es uno de los cánceres más problemáticos a nivel mundial. Dentro de este grupo, se encuentra el melanoma, la forma más mortal de ellos. Además de poder ser detectado de manera temprana mediante una experta inspección visual, es posible detectarlo de manera automática mediante el análisis de imágenes.

Con ello, entra en juego la dermatoscopia, una técnica de diagnóstico por imagen que consigue eliminar el reflejo superficial de la piel, mejorando la visualización de los niveles más profundos de esta. Se ha demostrado que la dermatoscopia proporciona una precisión diagnóstica mejorada en comparación con la fotografía estándar o la inspección visual sin ningún tipo de ayuda adicional.

El trabajo comienza con la construcción e implementación de unos modelos de Inteligencia Artificial, a través de técnicas de aprendizaje profundo, con el propósito de detectar y clasificar enfermedades de la piel. Para ello, se utilizan diversas arquitecturas de redes neuronales convolucionales.

Posteriormente, se implementa una técnica de recuperación de imágenes basada en contenido (CBIR - Content-Based Image Retrieval), por la cual, podremos apoyar la predicción de una determinada enfermedad junto a un conjunto de imágenes parecida a la imagen predicha, con la intención de poder contrastar y llegar a conclusiones de manera más eficaz.

Finalmente, se ha desarrollado una aplicación web que funcione como soporte e interfaz de usuario a los expertos a la hora de utilizar tantos los modelos construidos de aprendizaje profundo, como la técnica de CBIR, para realizar un diagnóstico.

**Palabras clave:** cáncer de piel, melanoma, dermatoscopia, Inteligencia Artificial, redes neuronales convolucionales, recuperación de imágenes basada en contenido, aplicación web, diagnóstico.

## Abstract

Skin cancer is one of the most problematic cancer around the world. Between these, the melanoma is the deadliest one. In addition to be capable of being detected through an expert visual inspection, it is possible to detect it automatically with image analysis.

Consequently, comes into play the dermoscopy, a diagnostic technique which consist in eliminating the skin surface reflection, improving the visualization of the deepest levels of the skin. It has been demonstrated that dermoscopy provides an improved diagnostic precision in comparison with standard photography or visual inspection without any kind of additional help.

The work starts with the implementation of several Artificial Intelligence models, through deep learning techniques, with the purpose of detecting and classifying skin diseases. For that, diverse convolutional neural networks architectures have been used.

Afterwards, it has been implemented a Content-Based Image Retrieval (CBIR) technique, which allows us support the prediction of one skin disease with a set of similar images to the predicted one, with the intention of being able of contrasting and drawing conclusions more efficiently.

Finally, an application web has been developed as support and user interface for the experts who wants to use the implemented deep learning models and the CBIR technique, to formulate a diagnosis.

**Keywords:** skin cancer, melanoma, dermoscopy, Artificial Intelligence, convolutional neural networks, Content-Based Image Retrieval, web application, diagnosis.



# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>9</b>
1.1. Contexto . . . . .	9
1.1.1. Acerca del cáncer . . . . .	9
1.1.2. Cáncer de piel tipo melanoma . . . . .	11
1.1.3. Cáncer de células basales y de células escamosas . . . . .	12
1.2. Motivación . . . . .	14
1.3. Objetivos . . . . .	14
1.4. Estructura del documento . . . . .	15
<b>2. Estudio del arte</b>	<b>17</b>
2.1. Inteligencia Artificial . . . . .	17
2.2. Redes Neuronales . . . . .	19
2.2.1. Redes Neuronales Artificiales . . . . .	19
2.2.2. Redes Neuronales Convolucionales . . . . .	21
2.3. CBIR . . . . .	25
2.4. Aplicación Web . . . . .	26
2.5. Tecnologías utilizadas . . . . .	29
<b>3. Conjunto de datos</b>	<b>31</b>
3.1. Acerca del conjunto de datos . . . . .	31
3.2. Enfermedades de la piel . . . . .	32
3.2.1. Queratosis actínica (solar) y Carcinoma intraepitelial / Enfermedad de Bowen . . . . .	33
3.2.2. Carcinoma basocelular . . . . .	34
3.2.3. Queratosis benigna . . . . .	35
3.2.4. Dermatofibroma / Histiocitoma . . . . .	36
3.2.5. Nevus melanocíticos (lunares) . . . . .	37
3.2.6. Melanoma . . . . .	38
3.2.7. Lesiones vasculares . . . . .	39
<b>4. Metodología de trabajo</b>	<b>41</b>

<b>5. Análisis de especificaciones y Diseño del sistema</b>	<b>43</b>
5.1. Requisitos de la aplicación web . . . . .	43
5.2. Diagrama de bloques del sistema . . . . .	49
<b>6. Clasificación de imágenes</b>	<b>51</b>
6.1. Arquitecturas de redes neuronales convolucionales . . . . .	51
6.1.1. DenseNet-121 . . . . .	51
6.1.2. MobileNetV3 . . . . .	52
6.2. Preprocesado de datos . . . . .	52
6.3. Validación cruzada . . . . .	53
6.4. Entrenamiento . . . . .	54
6.5. Testing . . . . .	55
6.6. Resultados . . . . .	58
6.6.1. DenseNet-121 . . . . .	58
6.6.2. MobileNetV3 . . . . .	63
<b>7. Recuperación de imágenes basada en contenido (CBIR)</b>	<b>69</b>
7.1. Cálculo de probabilidades . . . . .	69
7.2. Método CBIR . . . . .	71
<b>8. Aplicación web</b>	<b>73</b>
8.1. Sobre la Aplicación Web . . . . .	73
8.2. Funcionalidades . . . . .	74
<b>9. Conclusiones y Líneas Futuras</b>	<b>81</b>
9.1. Conclusiones . . . . .	81
9.2. Líneas Futuras . . . . .	81
9.2.1. Clasificación de imágenes . . . . .	81
9.2.2. Recuperación de imágenes basada en contenido (CBIR) . . . . .	82
9.2.3. Aplicación web . . . . .	82
<b>Apéndice A. Manual de Instalación</b>	<b>83</b>
A.1. Clasificación de imágenes . . . . .	83
A.2. Recuperación de imágenes basada en contenido . . . . .	83
A.3. Aplicación Web . . . . .	84

<b>Apéndice B. Manual de Ejecución</b>	<b>85</b>
B.1. Clasificación de imágenes . . . . .	85
B.2. Recuperación de imágenes basada en contenido . . . . .	86
B.3. Aplicación Web . . . . .	88
<b>Apéndice C. Manual de Usuario</b>	<b>89</b>
C.1. Registro . . . . .	89
C.2. Inicio de Sesión . . . . .	91
C.3. Panel de Administrador . . . . .	92
C.4. Pantalla Principal . . . . .	92
C.5. Barra de Navegación . . . . .	93
C.6. Diagnóstico . . . . .	93
C.7. Atención al Cliente . . . . .	96
C.8. Cerrar Sesión . . . . .	97
<b>Apéndice D. Glosario</b>	<b>99</b>
<b>Referencias</b>	<b>103</b>



# 1. Introducción

## 1.1. Contexto

### 1.1.1. Acerca del cáncer

Hoy día el cáncer constituye y agrupa uno de los conjuntos de enfermedades más problemáticos a nivel mundial. Se trata de una condición por la cual las células en una determinada parte del cuerpo crecen y se reproducen de manera incontrolable [1]. Estas células cancerosas pueden invadir y destruir los tejidos sanos circundantes, e incluso órganos. El proceso por el cual el cáncer comienza a extenderse a otras partes del cuerpo se conoce como metástasis.

Según la Sociedad Americana Contra el Cáncer [2], una de cada tres personas será diagnosticada con cáncer en el transcurso de su vida. En términos generales, el impacto que ha tenido, y tiene el cáncer en nuestras vidas, es el siguiente:

- La inversión en investigación en cáncer desde 1946 asciende a un total de 5 mil millones de dolares. Esta investigación incluye la búsqueda de nuevos y mejores tratamientos, descubrir los factores causantes del cáncer y mejorar la calidad de vida de la personas que afrontan esta enfermedad.
- Durante los últimos 10 años han sido atendidas un total de 3,2 millones de personas con cáncer.
- Un total de 16,9 millones de personas han sobrevivido al cáncer.
- El número de pruebas de detección del cáncer realizadas en comunidades subatendidas asciende a 984 mil.

Dentro de los cánceres, el cáncer de piel es uno de los más comunes y problemáticos a nivel mundial. Las lesiones pigmentadas constituyen un grupo heterogéneo y variado de lesiones dermatológicas o cutáneas las cuales ocurren en la superficie de la piel.

El melanoma, el cáncer más mortal de piel, se encuentra dentro de este grupo, y como tal, es susceptible de ser detectado de manera temprana mediante inspección visual experta, además de poder ser detectado de manera automática con el análisis de imágenes. Dada la disponibilidad generalizada de cámaras de alta resolución, los algoritmos que pueden mejorar nuestra capacidad para detectar y detectar lesiones problemáticas pueden ser de gran valor.

Como resultado, muchos centros han comenzado sus propios esfuerzos de investigación sobre análisis automatizado [3].

Con ello, entra en juego la dermatoscopia, una técnica de diagnóstico por imagen que consigue eliminar el reflejo superficial de la piel, mejorando la visualización de los niveles más profundos de esta.

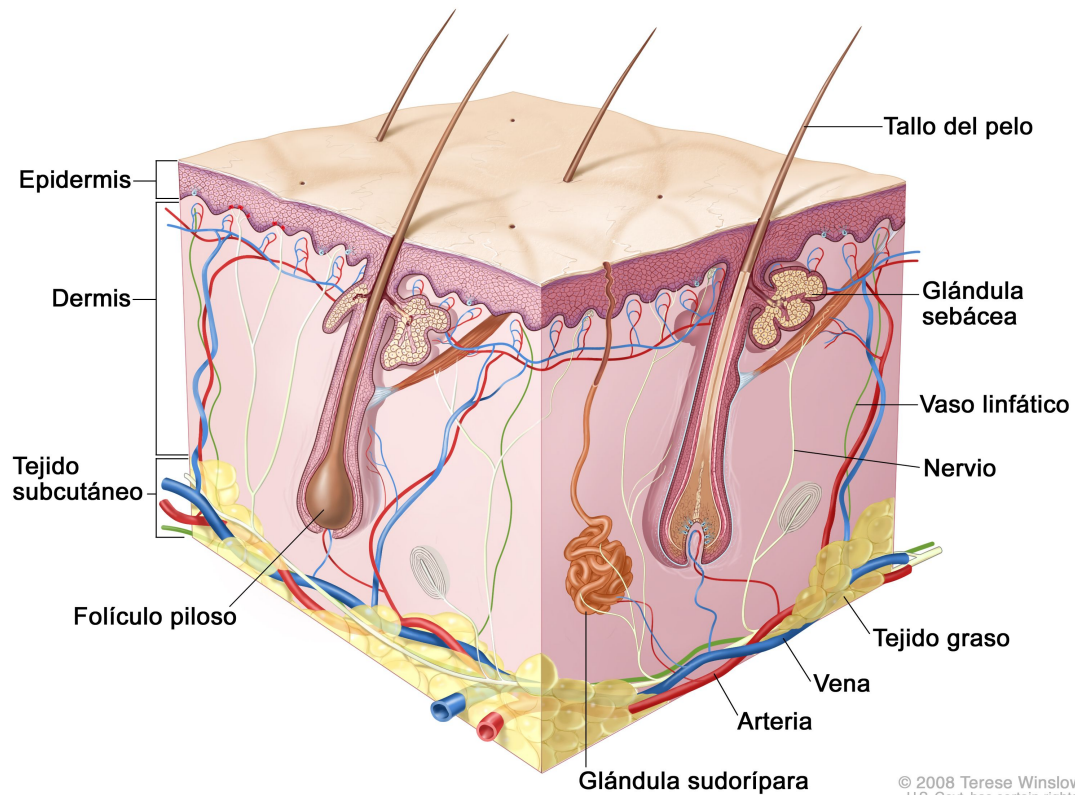


Figura 1: Anatomía de la piel [4]

Se ha demostrado que la dermatoscopia proporciona una precisión diagnóstica mejorada en comparación con la fotografía estándar o la inspección visual sin ningún tipo de ayuda adicional.

Distinguimos principalmente dos tipos de cáncer de piel: el cáncer de piel tipo melanoma y el cáncer de piel de células basales y de células escamosas.

### 1.1.2. Cáncer de piel tipo melanoma

El melanoma [5] es la forma más mortal de los cánceres de piel, y aunque es menos común que otros cánceres de piel (conforma solo el 1% de los casos de cáncer de piel), tiene más probabilidad de crecer y propagarse si no se descubre y se trata a tiempo. Se origina cuando los melanocitos comienzan a crecer fuera de control. Puesto que la mayoría de las células del melanoma siguen produciendo melanina, los melanomas suelen caracterizarse por el color café o negro. Sin embargo, aquellos melanomas que no producen melanina pueden lucir un color rosado, pálido o blanco.

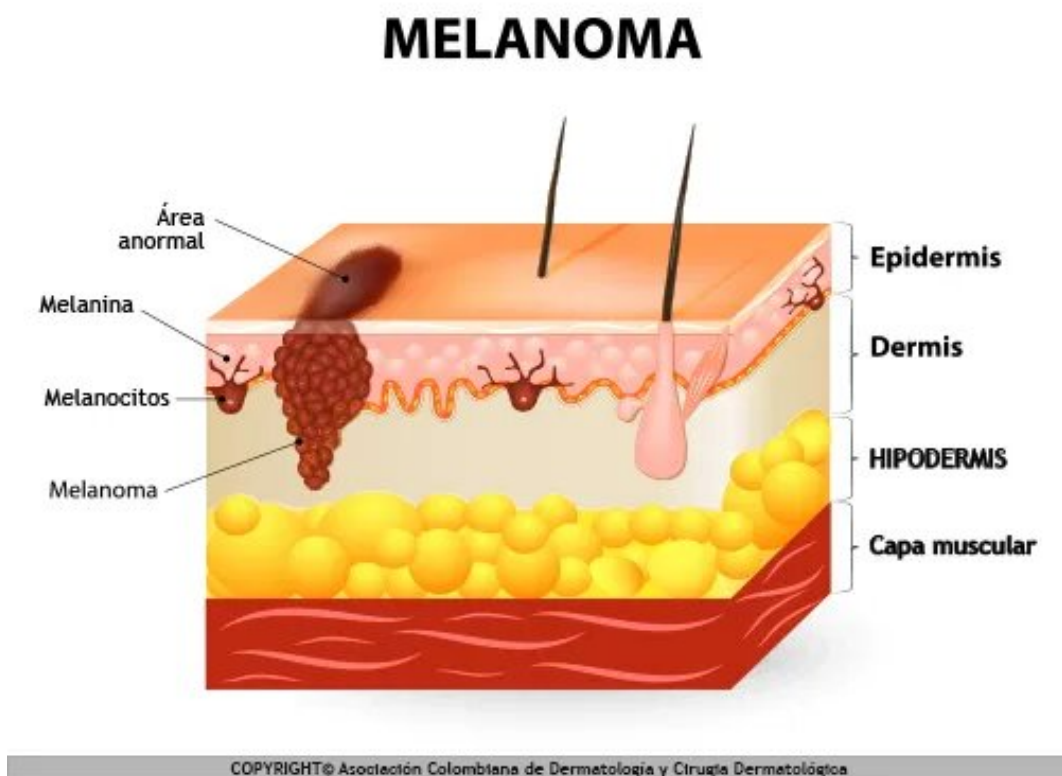


Figura 2: Melanoma en la piel [6]

Según la Sociedad Americana Contra el Cáncer, algunos de los cálculos referentes al melanoma para el año 2022 en los Estados Unidos son:

- Se diagnosticarán unos 99.780 nuevos casos de melanoma.
- Se calcula que el número de muertes causadas por melanoma ascenderá aproximadamente a unas 7.650 personas.

En general, el melanoma es más común en los hombres, sin embargo, por debajo de los 50 años, las tasas son más altas en mujeres. El riesgo de padecerlo aumenta con la edad, siendo la promedio la de 65 años. Aún así, es uno de los cánceres más comunes en los adultos.

### 1.1.3. Cáncer de células basales y de células escamosas

Los cánceres de células basales y de células escamosas [7] son los tipos más comunes de cáncer de piel. Se encuentran con más frecuencia en las áreas que han sido expuestas a la luz solar.

El cáncer de células basales (o carcinoma de células basales) es el tipo más común de cáncer de piel (alrededor de 8 de cada 10 cánceres de piel es de este tipo. Comienzan en la capa celular basal, que es la parte inferior de la epidermis.

En este caso, la metástasis es poco común, pero de no tratarse cabe la posibilidad de que se produzca. De hecho, si no se extrae completamente, podría volver a reaparecer. Además, aquellas personas que hayan tenido un cáncer de células basales tienen una mayor probabilidad de padecer nuevos cánceres en otros lugares.

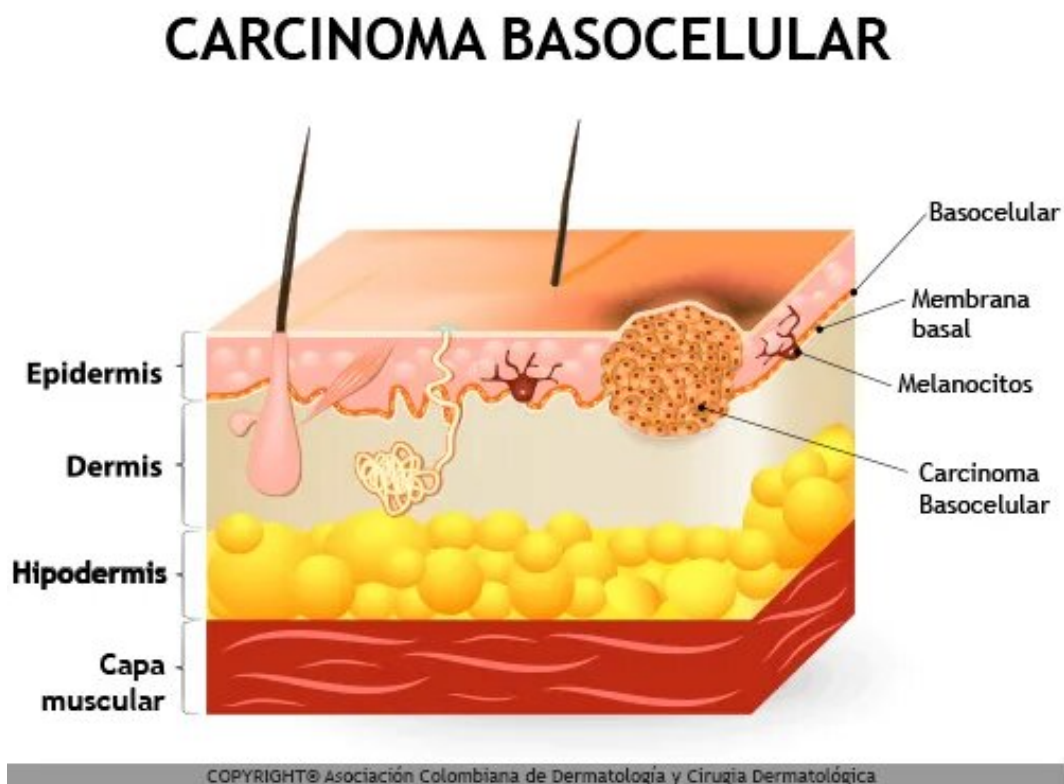


Figura 3: Cáncer de células basales en la piel [6]

El cáncer de células escamosas (o carcinoma de células escamosas) es el cáncer originado en las células planas en la parte superior de la epidermis. Alrededor de 2 de 10 cánceres de piel son de este tipo.

Los cánceres de células escamosas son más propensos que los cánceres de células basales a realizar metástasis, pero generalmente se pueden extirpar por completo.

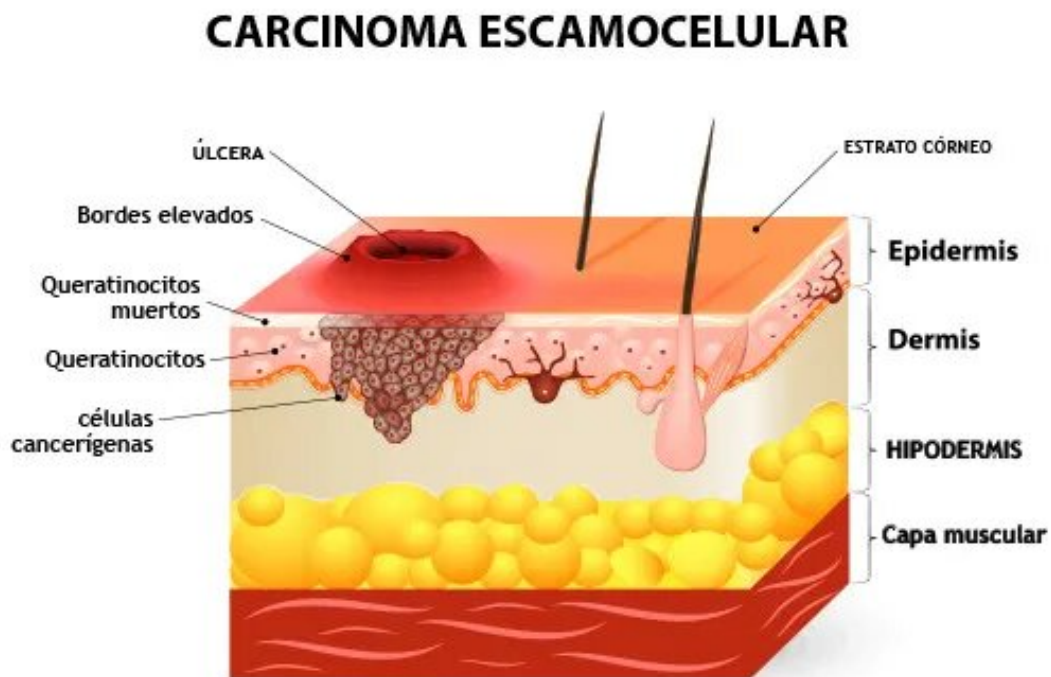


Figura 4: Cáncer de células escamosas en la piel [6]

Según la Sociedad Americana Contra el Cáncer, se han estimado los siguientes datos sobre los cánceres de piel de células basales y de células escamosas en los Estados Unidos:

- Aproximadamente 5,4 millones de cánceres de este tipo se diagnostican cada año.
- Aproximadamente 2.000 en los Estados Unidos mueren cada año a causa de estos cánceres, en su mayoría, de edad avanzada.

El número de cánceres detectados de este tipo ha aumentado a lo largo de los años, probablemente a la combinación de una mayor exposición a la luz solar y una mayor esperanza de vida.

## **1.2. Motivación**

Gracias a los avances de la Inteligencia Artificial sería posible clasificar una imagen obtenida a partir de la dermatoscopia en una determinada enfermedad de la piel, con objeto de realizar un diagnóstico preciso, y consecuentemente, tomar las medidas necesarias para tratar dicha enfermedad. El diagnóstico en sí no dependería de la Inteligencia Artificial, ni tampoco sustituiría al médico en cuestión, sino que más bien se plantearía como un apoyo para el médico, una manera de contrastar el conocimiento y las conclusiones de este.

Así mismo, las técnicas de “Content-Based Image Retrieval” nos podrían permitir, a partir de una imagen, realizar una búsqueda en una base de datos de un conjunto de imágenes parecidas a la imagen dada, con el propósito de poder realizar una comparación entre la imagen base y las imágenes recuperadas de la base de datos.

Por último, los avances de internet nos permiten hoy día compartir información rápidamente, por lo que el desarrollo de una aplicación web nos podría permitir gestionar el diagnóstico de la enfermedad detectada de manera eficiente, facilitando la labor del equipo médico y mejorando el diagnóstico.

## **1.3. Objetivos**

Este trabajo tiene como finalidad la creación de un sistema capaz de reconocer una posible enfermedad de la piel en tiempo real y de manera eficiente a partir de una imagen de la zona afectada.

Se utilizarán diversos modelos de Inteligencia Artificial que serán entrenados para lograr este fin. Concretamente, utilizaremos modelos de aprendizaje profundo a través del uso de Redes Neuronales Convolucionales, caracterizados por resolver problemas de clasificación de imágenes.

Estos modelos estarán soportados por una aplicación web que proporcionará un diagnóstico detallado de las imágenes analizadas, además de un conjunto de imágenes sobre la enfermedad diagnosticada con el fin de contrastar los resultados obtenidos. Para este propósito, se aplicarán las técnicas de “Content-Based Image Retrieval”.

## 1.4. Estructura del documento

El trabajo presentado sigue la siguiente estructura:

- Durante la introducción, se ha presentado un contexto para situar el trabajo, así como la motivación y objetivos del mismo.
- A continuación, se exponen los fundamentos y conceptos teóricos necesarios para la comprensión del trabajo. Concretamente, se abordan los fundamentos de la Inteligencia Artificial, las Redes Neuronales, la técnica del CBIR, las aplicaciones web y por último, las tecnologías utilizadas en cada una de las tres partes.
- Seguidamente, se presenta el conjunto de datos utilizado para el trabajo, una breve información sobre el mismo y las enfermedades incluidas.
- Posteriormente, se encuentra una breve descripción de la metodología de trabajo utilizada a lo largo del trabajo, así como el análisis de las especificaciones y diseño del trabajo.
- Tras estos puntos llegamos a la parte fundamental del trabajo, donde se exponen en cada capítulo los tres grandes bloques del trabajo: clasificación de imágenes, recuperación de imágenes basadas en contenido (CBIR) y la aplicación web.
- Finalmente, se exponen las conclusiones obtenidas del trabajo, así como una serie de líneas futuras por las que se podría proseguir el trabajo.
- Se incluyen además algunos apéndices, relativos al manual de instalación, el manual de ejecución, el manual de de usuario, y un glosario que incluye un abanico de tecnicismos mencionados durante el documento.



## 2. Estudio del arte

### 2.1. Inteligencia Artificial

Desde hace unos años, una nueva revolución industrial está cambiando de manera drástica la forma de actuar de empresas y mercados.

Esta es la cuarta revolución industrial, conocida como la “Industria 4.0” [8], que consiste en la revolución de los datos, dando lugar a recientes campos como el Big Data, el almacenamiento masivo de estos datos, la Inteligencia Artificial, o la Ciberseguridad.

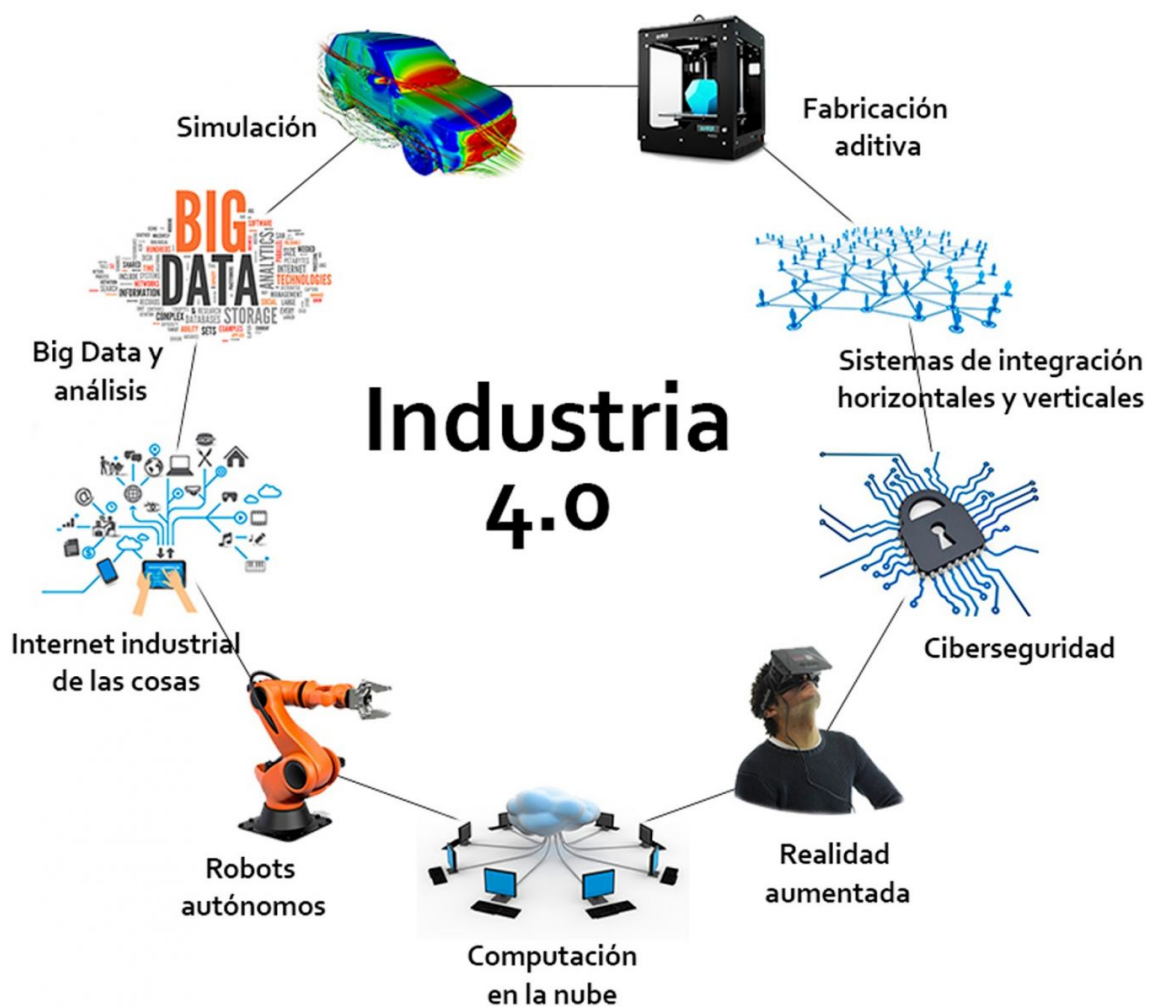


Figura 5: Industria 4.0 [9]

Debido a lo reciente que es el campo de la “Inteligencia Artificial”, no podemos encontrar una definición exacta o clara del mismo, pero podríamos dar un par de definiciones [10] al respecto:

- Es el uso de tecnologías con el objetivo de hacer posible que el comportamiento de una máquina o software se asimile a la inteligencia humana.
- Subcampo de la informática que ayuda a desarrollar programas que puedan imitar el aprendizaje, razonamiento y entendimiento de los seres humanos.

Para ello, en sus inicios, la Inteligencia Artificial trataba de seguir un conjunto de reglas estáticas y previamente definidas para resolver una determinada tarea. Sin embargo, debido a la incertidumbre presentada en los entornos, las tareas se volvían cada vez más y más complejas, quedando este enfoque obsoleto.

Por consiguiente, surgió el Aprendizaje Automático (Machine Learning), subcampo de la Inteligencia Artificial por el cual una máquina puede aprender las reglas previamente establecidas por el ser humano a partir de unos datos.

Se distinguen tres tipos de Aprendizaje Automático:

- Aprendizaje Supervisado. Aquel en el que nos proporcionan los datos de entrada y las salidas de estos (por ejemplo, la pertenencia a una categoría en concreto).
- Aprendizaje No Supervisado. Aquel en el que nos proporcionan los datos de entrada, pero no las salidas de estos (por ejemplo, inferir las categorías o grupos en los que se podría dividir un conjunto de datos).
- Aprendizaje por Refuerzo. Aquel por el cual la máquina aprende a partir de los datos recopilados del entorno.

Dentro del Aprendizaje Automático podemos distinguir el subcampo del Aprendizaje Profundo (Deep Learning). En este, se utilizan las reconocidas redes neuronales artificiales, por las cuales podemos extraer patrones e información no visible en los datos de entrada, y utilizarlos para el aprendizaje de las tareas.

## 2.2. Redes Neuronales

### 2.2.1. Redes Neuronales Artificiales

Las redes neuronales artificiales [11] se basan en las redes de neuronas biológicas. Cada una de las neuronas de nuestro cerebro está compuesta de dendritas, el soma y el axón. El funcionamiento es el siguiente: las dendritas captan los impulsos nerviosos que emiten otras neuronas, y son procesados en el soma. Una vez procesados, se transmiten a través del axón, emitiendo un impulso nerviosos hacia las neuronas contiguas.

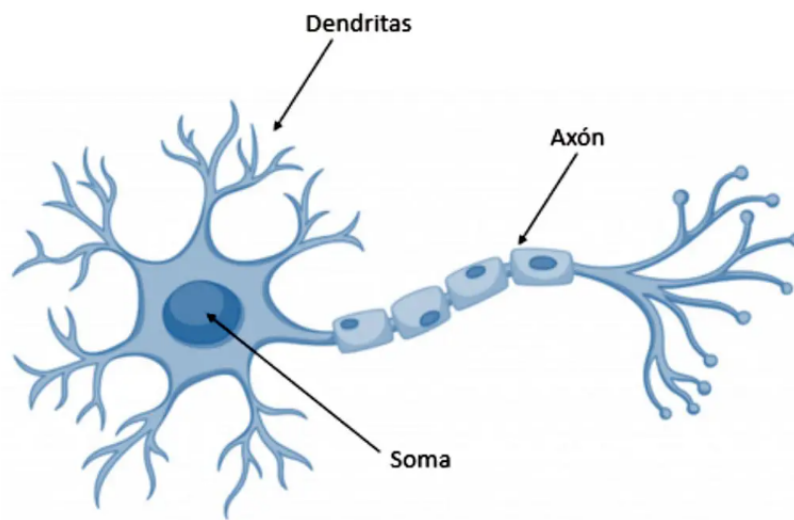


Figura 6: Estructura de una neurona biológica [11]

Una neurona artificial viene representada del siguiente modo:

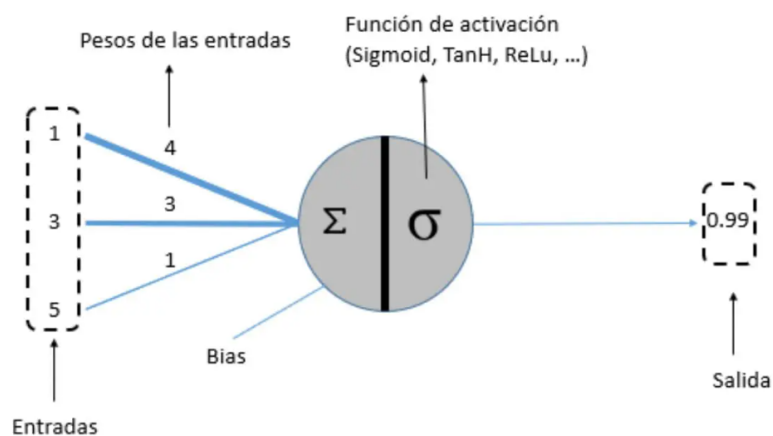


Figura 7: Estructura de una neurona artificial [11]

En las neuronas artificiales, la suma de las entradas multiplicadas por los pesos determina el impulso nervioso recibido por la neurona. El valor obtenido se procesa mediante una función de activación que devuelve un valor como salida de la neurona.

Una red neuronal artificial está compuesta por neuronas artificiales conectadas entre sí y agrupadas en diferentes niveles, denominados capas. Una capa se conforma por un conjunto de neuronas cuyas entradas vienen dadas, o bien por una capa anterior, o bien por los datos de entrada de ser la primera capa y cuyas salidas son la entrada de la capa siguiente.

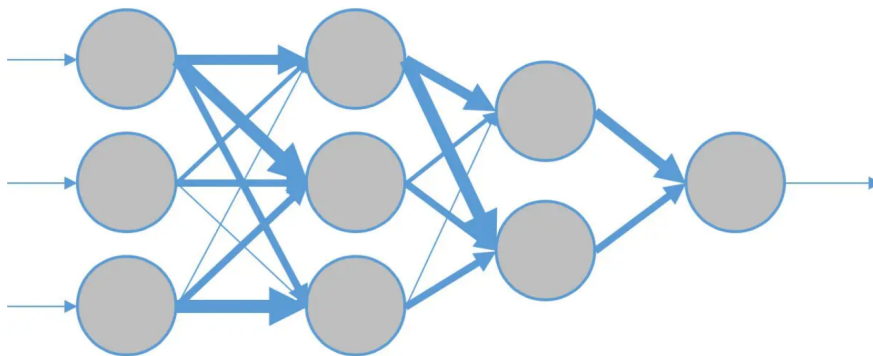


Figura 8: Red neuronal artificial con cuatro capas [11]

La primera capa de una red neuronal artificial se conoce como la capa de entrada. La última, como capa de salida, y todas las capas entre las de entrada y la de salida se denominan capas ocultas, ya que se desconocen tanto los valores de entrada como los de salida.

El aprendizaje profundo (Deep Learning) surge a raíz de utilizar un gran número de capas ocultas.

El entrenamiento de una red neuronal artificial consiste en ajustar cada uno de los pesos de las entradas de todas las neuronas que forman parte de la red para que las respuestas de la capa de salida se ajusten lo más posible al conjunto de datos conocido.

## 2.2.2. Redes Neuronales Convolucionales

Las redes neuronales convolucionales [12] son un tipo de red neuronal y arquitectura típica de aprendizaje profundo para la implementación de tareas de visión de computador, tales como la clasificación de imágenes o la detección y localización de objetos.

La arquitectura de red neuronal convolucional en un aspecto general es la siguiente:

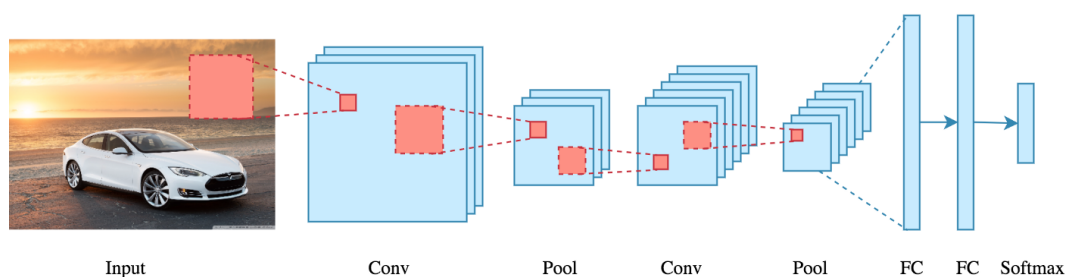


Figura 9: Arquitectura de una red neuronal convolucional [13]

Se parte de una imagen de entrada, y se realizan una serie de operaciones de convolución y “pooling”, seguidas de una serie de capas “fully connected”. Si estamos realizando una clasificación multiclase, se le aplica a la salida la función de activación “softmax”.

Empecemos hablando de las capas convolucionales. El propósito de estas capas es transformar la imagen de entrada para obtener características de esta. La convolución se produce a través de un “kernel” o filtro, una matriz con dimensiones menores a la imagen de entrada.

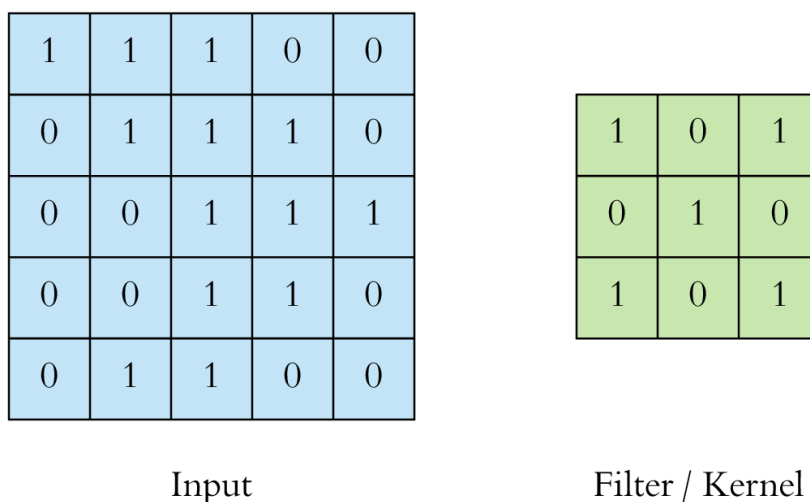


Figura 10: Ejemplos de matriz de imagen de entrada y matriz kernel [13]

El proceso es el siguiente: el kernel se deslizará a lo largo de la imagen de entrada y calculará el producto escalar entre el kernel y la zona de la imagen donde esté posicionada el kernel. Con esto, hallamos lo que se conoce como mapa de características (feature map).

Un concepto importante es el del “stride”. Este parámetro hace referencia a cuanto se desplazará el kernel a lo largo de la imagen. Por defecto el valor es 1, por lo que el kernel se desplazará en cada paso de 1 en 1.

Veamos como funcionaría la operación para las dos matrices mostradas anteriormente:

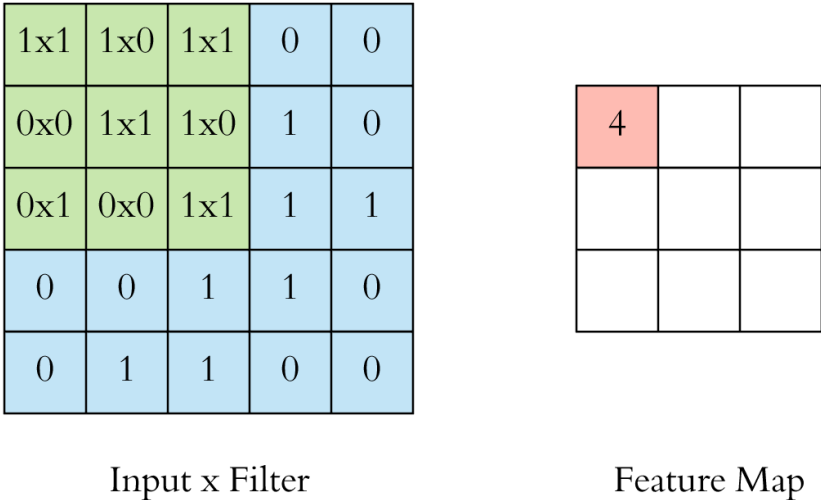


Figura 11: Primera operación de convolución [13]

En la primera operación a realizar, el kernel se encuentra en la esquina superior izquierda de la imagen de entrada, y el resultado de la operación de convolución es 4. Teniendo en cuenta que el parámetro “stride” tiene valor 1, la siguiente operación de convolución se realizaría según la siguiente figura:

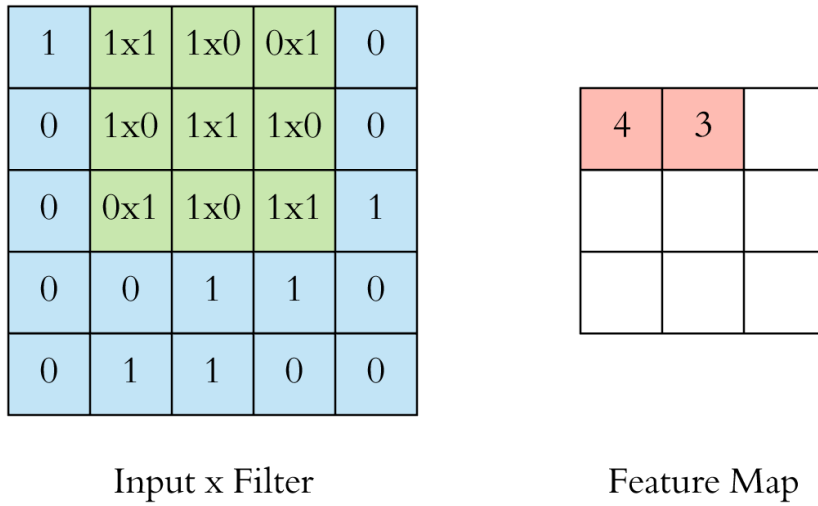


Figura 12: Segunda operación de convolución [13]

Se ha de mencionar también el parámetro “padding”. Las operaciones de convolución también reducen las dimensiones de la imagen. Si queremos evitar esto, podemos aplicar un padding a la operación de convolución.

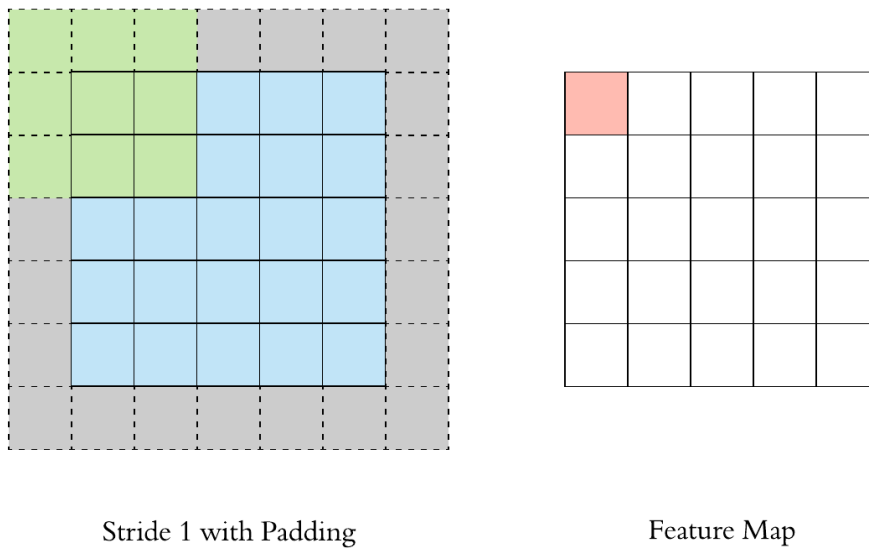


Figura 13: Operación de convolución con padding [13]

A continuación, vamos a exponer las capas pooling. El objetivo de estas capas es reducir el tamaño de la imagen de entrada. Con esto conseguimos velocidad computacional en el proceso y potenciar la robustez de las características extraídas. En términos generales, una capa convolucional suele ir seguida de una capa pooling. Las capas pooling también poseen el parámetro “stride”.

Hay varios tipos de pooling. Los más comunmente utilizados en una red neuronal convolucional son el “Max pooling” y el “Average pooling”.

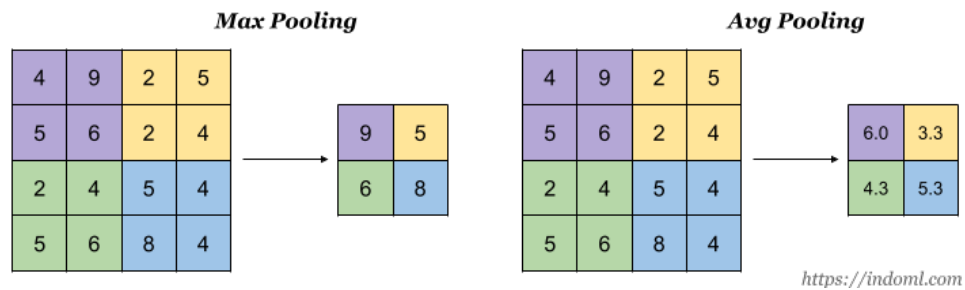


Figura 14: Operaciones de Max Pooling y Average Pooling [12]

En la operación de Max Pooling, extraemos de cada porción de un “feature map” el máximo valor de la porción. Por otro lado, en el Average Pooling, extraemos la media de los valores de la porción.

Seguidas de la serie de capas convolucionales y capas pooling, nos encontramos con las capas “fully connected”. Aquí llegamos al fin de la red neuronal convolucional, y el propósito de estas capas es el de aplanar los mapas de características a un vector. Tras este paso, se capturan las relaciones complejas existentes entre las características de alto-nivel.

Por último, tenemos la función de activación de la red neuronal convolucional. Esta es la función “softmax” [14], y nos sirve cuando en una clasificación multiclase queremos extraer la probabilidad de la imagen de entrada de pertenecer a las distintas clases posibles. La idea es que la salida devuelta es una distribución de probabilidades, cuya suma total debe dar uno, y aquella clase con mayor probabilidad será aquella a la que según el modelo de aprendizaje profundo pertenecerá la imagen de entrada.

La fórmula tiene muchas variantes. Una de ellas es la siguiente:

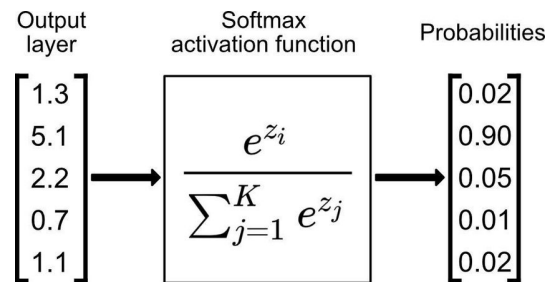


Figura 15: Función de activación “softmax” [15]

### 2.3. CBIR

La recuperación de imágenes basada en contenido (CBIR - Content-Based Image Retrieval) [16] consiste en identificar automáticamente imágenes por medio de la extracción de las características de bajo nivel de la misma, tales como el color, la textura o la forma. Para la extracción de estas características, necesitamos técnicas de aprendizaje que nos permitan realizar una clara selección entre las imágenes que tenemos disponibles. Para ello, el aprendizaje profundo ha supuesto un gran avance dentro de la visión por computador.

El propósito es, implementar un sistema de recuperación de imágenes basada en contenido por medio de redes neuronales de aprendizaje profundo.

Para ello, debemos comenzar definiendo la función que nos permitirá hallar el conjunto de probabilidades de que una imagen pertenezca a una clase determinada. Dada la imagen que a la que queremos aplicar la técnica “**X**” y un conjunto de clases “**D**” a la que puede ser clasificada la imagen:

$$f(\mathbf{X}) = (P(C_1|\mathbf{X}), \dots, P(C_D|\mathbf{X})) \in [0, 1]^D$$

Figura 16: Función de probabilidades [16]

dónde  $C_i$  es la  $i$ -ésima clase, con  $i \in 1, \dots, D$

Una vez definida esta función, pasamos al proceso de recuperación de imágenes similares. Para ello, aplicaremos esta función, por un lado, a la imagen que queremos predecir, y por otro lado, a todas las imágenes que podrían ser parecidas a la predicha. Una vez realizado esto, calcularemos la norma de todos los vectores obtenidos a partir de la diferencia de la función de probabilidades de la imagen que queremos predecir, y todas las funciones de probabilidades de cada una de las imágenes que tienen opciones a ser seleccionadas. Esta norma es la distancia (entendido como, cuanto de lejano se parece una imagen de otra) entre la imagen predicha y una imagen del conjunto de datos. Como queremos obtener el conjunto de imágenes que más se parezcan a la predicha, tendremos que coger aquellas imágenes cuya norma sean menores.

Podemos ver todo este procedimiento en la siguiente función:

$$s = \arg \min_{j \in \{1, \dots, N\}} \|f_h(\mathbf{X}_{Query}) - f_h(\mathbf{X}_j)\|_p$$

Figura 17: Función de mínima norma entre las probabilidades de la imagen query y cada una de las imágenes del conjunto de datos [16]

Si estamos interesados en las “ $k$ ” imágenes más similares dada una imagen de entrada, el ranking obtenido sería el siguiente:

$$R_Q = \{\mathbf{X}_1^*, \mathbf{X}_2^*, \dots, \mathbf{X}_k^*\}$$

Figura 18: Subconjunto  $R_Q$  [16]

dónde  $R_Q$  es un subconjunto del conjunto de datos, y dónde una imagen del mismo “ $X_i^*$ ” estará clasificada por delante que otra imagen “ $X_j^*$ ” cuando:

$$\|f_h(\mathbf{X}_{Query}) - f_h(\mathbf{X}_i^*)\|_p < \|f_h(\mathbf{X}_{Query}) - f_h(\mathbf{X}_j^*)\|_p$$

Figura 19: Ranking de imágenes [16]

## 2.4. Aplicación Web

Una aplicación web [17] es un software codificado en un determinado lenguaje que es soportado y ejecutado por los navegadores de Internet, una intranet o una red local.

No son necesarias de instalar en una computadora o dispositivo móvil, ya que los datos o archivos utilizados se encuentran almacenados en una red o en la nube. Se almacenan en servidores web, en dónde además de alojar la información, la envían a nuestros dispositivos a tiempo real cuando es requerida.

Los exploradores web se comunican con los servidores web mediante el Protocolo de Transporte de Hyper Texto (HTTP) [18]. Cuando pinchamos en un enlace, o realizamos una búsqueda, enviamos una petición HTTP desde nuestro explorador web al servidor web del destino. Dicha petición incluye una URL que identifica el recurso afectado, un método que define la acción a realizar e información adicional como parámetros en el URL, datos POST (método de acción POST) o en “associated cookies”.

Los servidores web esperan los mensajes de petición de los clientes. Una vez procesados, responden al explorador web con un mensaje de respuesta HTTP. Dicha respuesta contiene una línea de estado indicando si la petición a tenido éxito o no, así como el posible recurso solicitado por el explorador web, como por ejemplo, una página HTML.

El código que se ejecuta en el explorador se conoce como código de lado-cliente y su principal preocupación es la apariencia. Este incluye la selección y estilo de los componentes de interfaz de usuario, los layouts, navegación, validación de formularios, etc. Está escrito usando HTML, CSS y JavaScript.

Por otro lado, el código de lado-servidor es aquel que gestiona tareas como la validación de los datos enviados y las peticiones, usando bases de datos para almacenar y recuperar datos, y posteriormente, enviando los que el cliente requiera. Puede escribirse en numerosos lenguajes de programación, como por ejemplo PHP, Python, Ruby, C# o NodeJS.

Un sitio estático es aquél que devuelve desde el servidor el mismo contenido insertado en el código siempre que se solicita un recurso en particular. Su estructura es la siguiente:

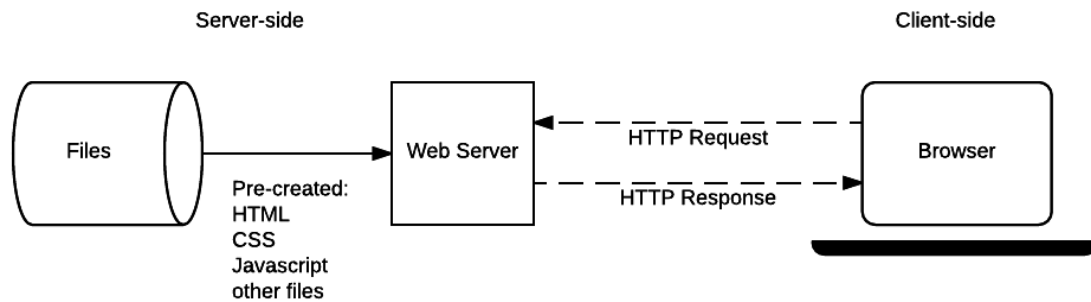


Figura 20: Estructura de un Sitio Estático [18]

Un sitio dinámico es aquél en que parte del contenido de la respuesta del servidor está generada dinámicamente cuando se necesita. Suele ser común la inserción de datos dentro de plantillas HTML. Su estructura es la siguiente:

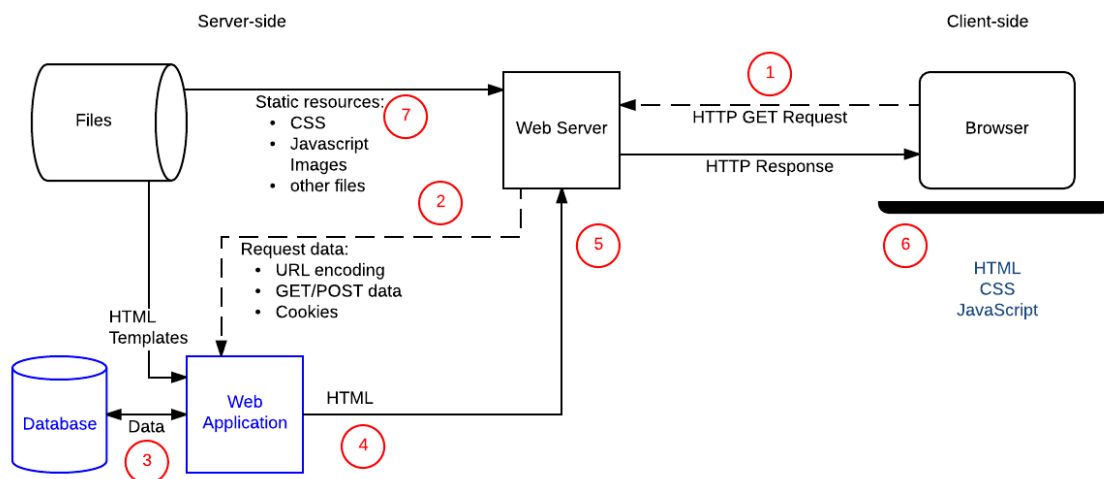


Figura 21: Estructura de un Sitio Dinámico [18]

De manera general los desarrolladores utilizan frameworks [19] para la implementación de aplicaciones web. Los frameworks son colecciones de funciones, objetos, reglas y otros fragmentos de código diseñados para resolver problemas comunes, acelerar el desarrollo y simplificar la implementación de determinadas tareas en un dominio en particular. Es decir, proporcionan un conjunto de herramientas y bibliotecas que simplifican el desarrollo web. Algunos ejemplos de frameworks son: Django (Python), Flask (Python), Express (NodeJS), Ruby on Rails (Ruby), ASP.NET o Mojolicious (Perl).

## 2.5. Tecnologías utilizadas

En este trabajo se han utilizado las siguientes tecnologías:

- [20] Python. Se trata de un lenguaje de programación multiparadigma que se caracteriza por su código legible, sencillo y limpio, lo que lo convierte en un lenguaje muy usable de cara al usuario, permitiéndole el desarrollo rápido y eficaz. Además, se caracteriza por su amplio uso dentro de la rama del “Big Data”, debido a su facilidad para trabajar con grandes volúmenes de datos. De hecho, muchas de las herramientas que han surgido en el sector se han desarrollado en este lenguajes. Algunos ejemplos de librerías son Pandas, NumPy o Matplotlib, para el Análisis de Datos.
- [21] PyTorch. Se trata de una librería open-source basada en Python, caracterizada por su capacidad para realizar cálculos numéricos haciendo uso del tensor, una estructura que generaliza otras como la matriz o el vector. Además, permite su ejecución en tarjetas gráficas (GPU) a través de la API “CUDA”, que conecta la CPU con la GPU, desarrollada por NVIDIA. Una de las aplicaciones más comunes de esta librería es la creación de redes neuronales, dada la interfaz sencilla proporcionada por la librería.
- [22] Django. Se trata de un framework web de alto nivel caracterizado por su rápido desarrollo de sitios web. Destaca por ser completo, versátil, seguro, escalable, mantenible y portable. A diferencia de otros frameworks, Django utiliza el patrón arquitectónico “Modelo Plantilla Vista” (Model Template Vista - MTV), dónde el modelo maneja los datos y su comportamiento, la plantilla decide como se muestra la información y la vista es el enlace entre el modelo y la plantilla.
- [23] SQLite. Se trata de una herramienta de software libre que permite el soporte desde las consultas más básicas hasta las más complejas del lenguaje SQL en dispositivos empotrados de forma sencilla, eficaz y potente. También es compatible al 100 % en sistemas de escritorio, lo que permite la portabilidad entre unos dispositivos y otros. Una de las principales características de SQLite es el hecho de que la base de datos completa se encuentra en un solo archivo.



### 3. Conjunto de datos

#### 3.1. Acerca del conjunto de datos

Para este trabajo se ha utilizado el conjunto de datos “HAM10000” (“Human Against Machine with 10000 training images”) [24].

El conjunto de datos contiene 10015 imágenes dermatoscópicas recopiladas durante un periodo de 20 años desde dos lugares diferentes, el Departamento de Dermatología de la Universidad Médica de Viena, en Austria, y la práctica de cáncer de piel llevada a cabo por Cliff Rosendahl en Queensland, Australia.

Las imágenes se encuentran clasificadas en distintas modalidades:

<b>Español</b>	<b>Inglés</b>	<b>Abreviatura</b>
Melanoma	Melanoma	mel
Nevus melanocíticos (lunares)	Melanocytic nevi	nv
Carcinoma basocelular	Basal cell carcinoma	bcc
Queratosis actínica (solar) y Carcinoma intraepitelial / Enfermedad de Bowen	Actinic keratoses and intraepithelial carcinoma / Bowen's disease	akiec
Queratosis benignas (lentigos solares/queratosis seborreicas y queratosis liquenoide	Benign keratosis-like lesions (solar lentiginos / seborrheic keratoses and lichen-planus like keratoses	bkl
Dermatofibromas (o histiocitomas)	Dermatofibromas	df
Lesiones vasculares (angiomas, angioqueratomas, granulomas piógenos y hemorragia	Vascular lesions (angiomas, angiokeratomas, pyogenic granulomas and hemorrhage)	vasc

Figura 22: Tabla de los tipos de enfermedades de la piel tratados en el trabajo

La validación técnica de cada una de las enfermedades incluidas en el conjunto de datos ha sido realizada a través de uno de los siguientes medios: histopatología (más de un 50 %), examen de seguimiento, consenso de expertos o confirmación por microscopía confocal.

### **3.2. Enfermedades de la piel**

Los modelos de aprendizaje profundo han clasificado las imágenes dermatoscópicas en una de las siguientes 7 categorías [24] siguientes:

1. akiec. Queratosis actínica (solar) y Carcinoma intraepitelial / Enfermedad de Bowen.
2. bcc. Carcinoma basocelular.
3. bkl. Queratosis benigna.
4. df. Dermatofibroma / Histiocitoma.
5. nv. Nevus melanocíticos (lunares).
6. mel. Melanoma.
7. vasc. Lesiones vasculares.

### 3.2.1. Queratosis actínica (solar) y Carcinoma intraepitelial / Enfermedad de Bowen

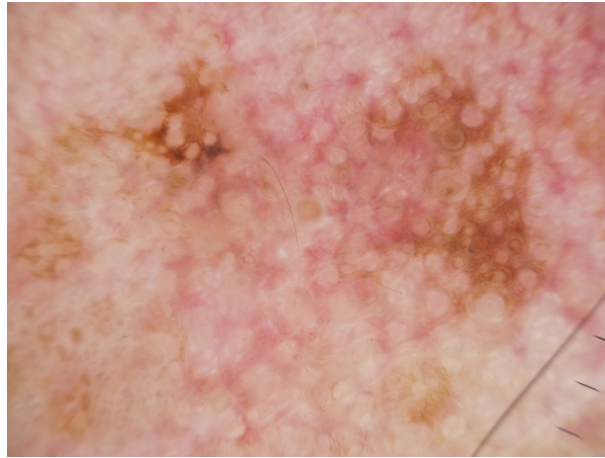


Figura 23: akiec - ISIC\_0029309 [24]

Se tratan de variantes comunes no invasivas del carcinoma de células escamosas que pueden progresar a un carcinoma invasivo, generalmente no pigmentado. Son neoplasias que se pueden tratar localmente sin cirugía.

Ambas comúnmente muestran descamación superficial y comúnmente carecen de pigmento.

- Queratosis actínica. Es caracterizada por un daño solar severo (luz ultravioleta), más común en la cara y con algunas variantes pigmentadas.
- Enfermedad de Bowen. Está causada por la infección provocada por el virus del papiloma humano y es más común en otras partes del cuerpo.

### 3.2.2. Carcinoma basocelular

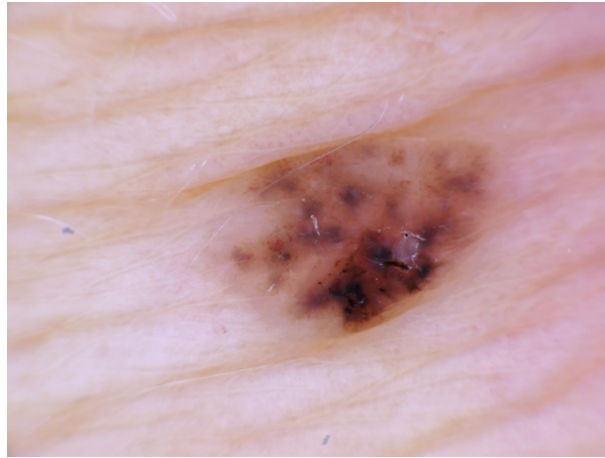


Figura 24: bcc - ISIC\_0026453 [24]

Es una variante común del carcinoma de células escamosas que rara vez hace metástasis, pero si no se trata, puede crecer de manera destructiva.

Existen diferentes variantes, como el superficial, el nodular, el pigmentado o el quístico.

### 3.2.3. Queratosis benigna

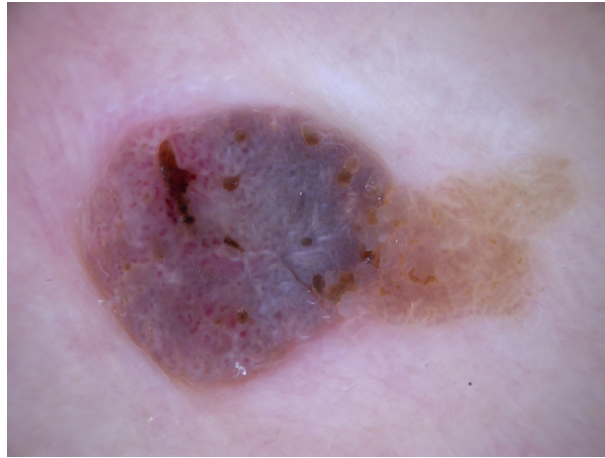


Figura 25: bkl - ISIC\_0033908 [24]

Clase genérica que incluye:

- Queratosis seborreica. Verruga senil cuya apariencia dermatoscópica varía según el sitio anatómico y el tipo.
- Lentigo solar. Variante plana de la queratosis seborreica.
- Queratosis tipo liquen plano. Variante de las dos anteriores con inflamación y regresión.

Los 3 subgrupos son biológicamente similares (a pesar de que pueden parecer diferentes desde el punto de vista dermatoscópico)

### 3.2.4. Dermatofibroma / Histiocitoma

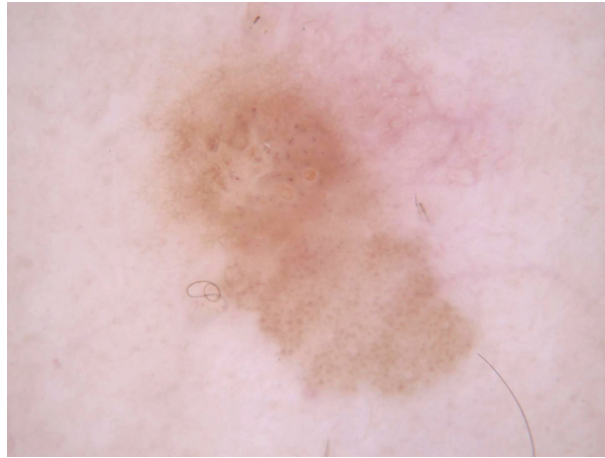


Figura 26: df - ISIC\_0025504 [24]

Es una lesión cutánea benigna que se considera una proliferación benigna o una reacción inflamatoria a un traumatismo mínimo.

Desde el punto de vista dermatoscópico, son frecuentes las líneas reticulares en la periferia con una macha blanca central que denota fibrosis.

### 3.2.5. Nevus melanocíticos (lunares)



Figura 27: nv - ISIC\_0030049 [24]

Son neoplasias benignas de los melanocitos que suelen ser simétricos en cuanto a la distribución del color y la estructura (a diferencia del melanoma).

Hay muchas variantes, algunas de ellas difieren significativamente desde el punto de vista dermatoscópico.

### 3.2.6. Melanoma

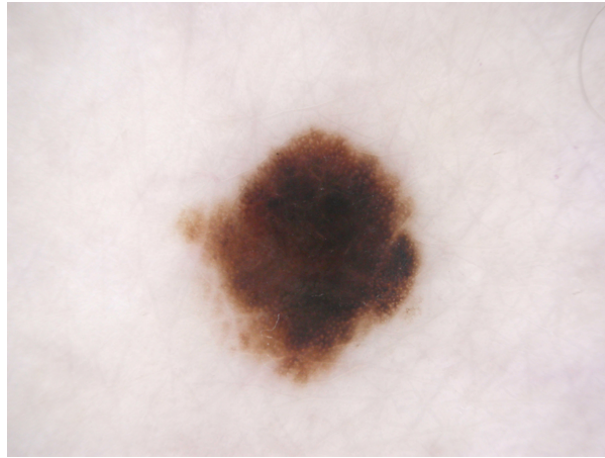


Figura 28: mel - ISIC\_0034317 [24]

Es una neoplasia maligna derivada de los melanocitos que llegar a ser caótico. Sin embargo, puede ser invasivo o no invasivo.

De ser detectado en una etapa temprana, se puede eliminar mediante una simple extirpación quirúrgica.

Posee muchas variedades, como el melanoma “in situ”, el melanoma no pigmentado, el melanoma subungueal, el melanoma ocular o el melanoma mucoso.

### 3.2.7. Lesiones vasculares

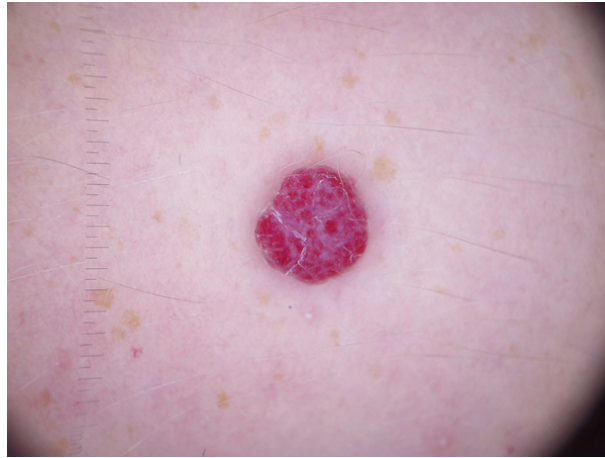


Figura 29: vasc - ISIC\_0031270 [24]

Clase genérica que incluye:

- Angiomas. Tumor benigno de los vasos sanguíneos, de color rojo - púrpura, y con estructuras sólidas y bien delimitadas, denominadas terrones rojos o lagunas.
- Angioqueratomas. Malformación de los vasos sanguíneos capilares.
- Granulomas piógenos. Tumor benigno de los vasos sanguíneos formado generalmente en la piel.
- Hemorragias. Salida de sangre desde el aparato circulatorio provocada por una ruptura de los vasos sanguíneos (venas, arterias, capilares).



## 4. Metodología de trabajo

Durante la elaboración del trabajo se han tenido en cuenta los siguientes principios metodológicos:

- Método científico. Es el método principal y fundamental en el que se basa este trabajo. Se encuentra organizado en varias etapas que permiten conseguir teorías estables mediante el conocimiento (Tamayo, 2004), y permiten la reproducibilidad de los experimentos que se desarrollen. Además, viene caracterizado por ser verificable, de razonamiento riguroso y observación empírica. Las etapas que forman el método (Ilizástigui y Rodríguez, 2010) son las siguientes:
  1. Existencia de un problema. Estudiar y formular con exactitud y detalle un problema actual en la vida diaria de las personas o alguna carencia dentro del campo de la ciencia.
  2. Investigación del problema. Recopilar y examinar toda la información relativa al problema.
  3. Formulación de hipótesis. Plantear una suposición que pueda resolver el problema en cuestión.
  4. Contrastación de hipótesis. Desarrollar una serie de experimentos que verifiquen la hipótesis planeada, concluyendo, o no, su validez.
  5. Comunicación a la comunidad científica internacional. Notificación del resultado alcanzado en la investigación.
- Metodología iterativa e incremental. Para la elaboración del trabajo, se ha partido de un sistema base al que se le han añadido sucesivas mejoras sin afectar al sistema ya implementado.
- Metodología de implementación. Durante el desarrollo de la implementación, se ha tenido en cuenta una serie de características esenciales, tales como ser modular, modificable, extensible, sencillo, documentado y cuidando el estilo de programación del mismo.



## 5. Análisis de especificaciones y Diseño del sistema

### 5.1. Requisitos de la aplicación web

<b>Requisito</b>	1) Registro
<b>Descripción</b>	Un usuario podrá registrarse en la aplicación con el rol de “Médico”
<b>Pre-condiciones</b>	El usuario se encuentra en la pantalla de Inicio de Sesión
<b>Post-condiciones</b>	El sistema habrá registrado con éxito un nuevo usuario
<b>Prioridad</b>	Alta

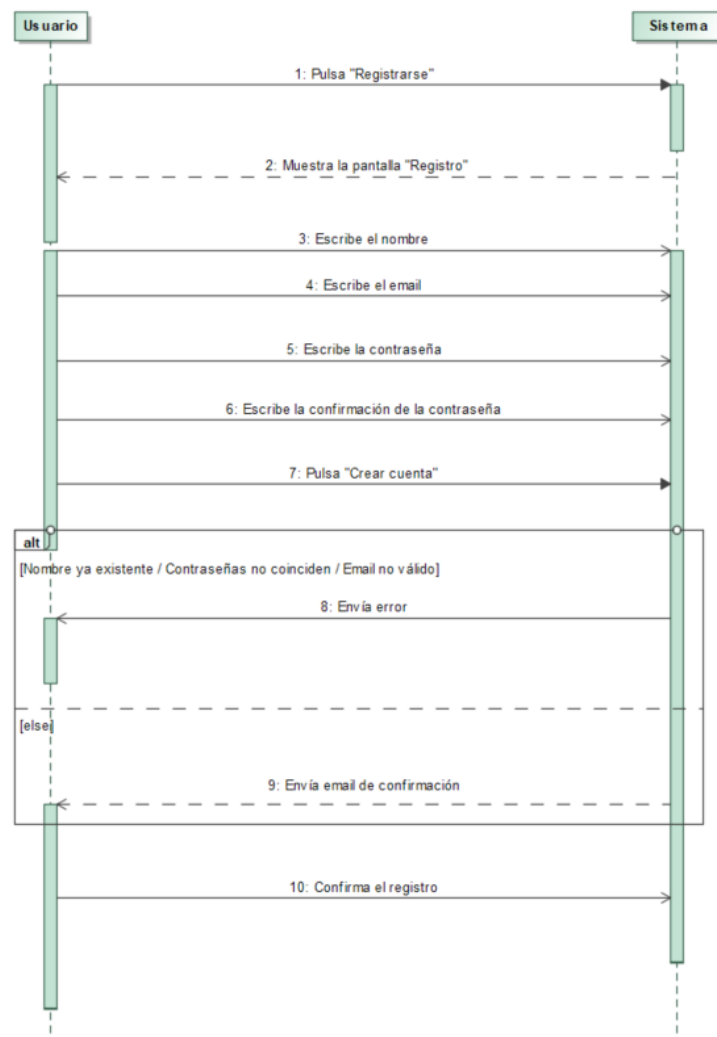


Figura 30: Diagrama de Secuencia para el requisito “Registro”

<b>Requisito</b>	2) Inicio de Sesión - Médico
<b>Descripción</b>	Un usuario podrá iniciar sesión en el rol de “Médico”
<b>Pre-condiciones</b>	El usuario se encuentra en la pantalla de Inicio de Sesión
<b>Post-condiciones</b>	El usuario se encuentra en la pantalla “Home”.
<b>Prioridad</b>	Alta

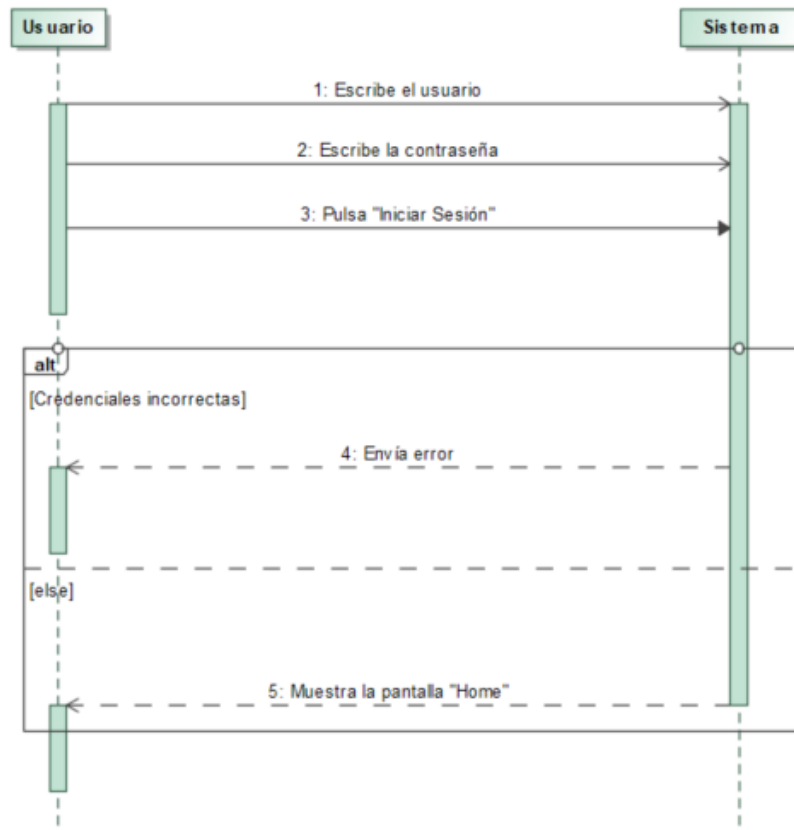


Figura 31: Diagrama de Secuencia para el requisito “Inicio de Sesión - Médico”

<b>Requisito</b>	3) Inicio de Sesión - Administrador
<b>Descripción</b>	Un usuario podrá iniciar sesión en el rol de “Administrador”
<b>Pre-condiciones</b>	El usuario se encuentra en la pantalla de Inicio de Sesión
<b>Post-condiciones</b>	El usuario se encuentra en el panel de administrador.
<b>Prioridad</b>	Alta

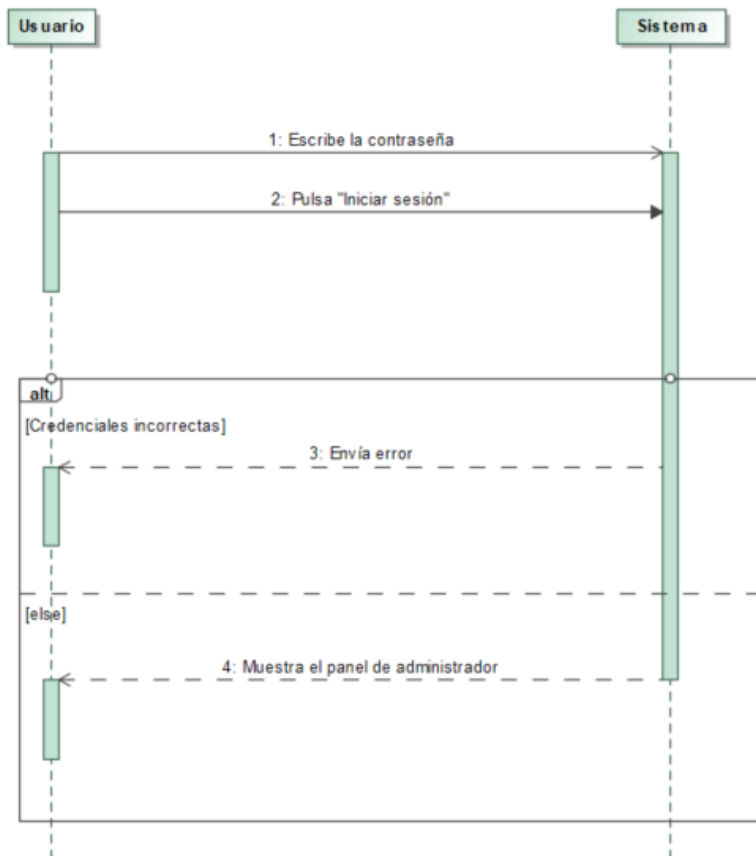


Figura 32: Diagrama de Secuencia para el requisito “Inicio de Sesión - Administrador”

<b>Requisito</b>	4) Diagnóstico
<b>Descripción</b>	Un usuario podrá realizar el diagnóstico de una imagen
<b>Pre-condiciones</b>	El usuario se encuentra en la pantalla “Home”
<b>Post-condiciones</b>	El sistema habrá generado un diagnóstico de la imagen de entrada
<b>Prioridad</b>	Alta

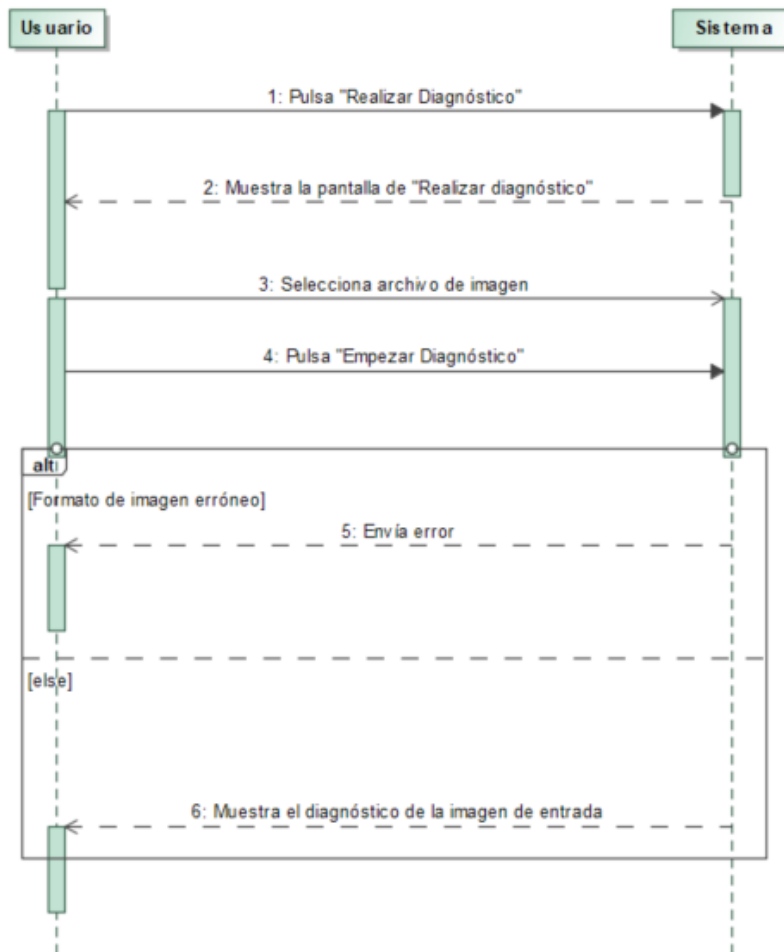


Figura 33: Diagrama de Secuencia para el requisito “Diagnóstico”

<b>Requisito</b>	5) Contacto
<b>Descripción</b>	Un usuario podrá contactar con atención al cliente
<b>Pre-condiciones</b>	El usuario se encuentra en la pantalla “Home”
<b>Post-condiciones</b>	Atención al cliente habrá recibido la consulta por parte del usuario
<b>Prioridad</b>	Media

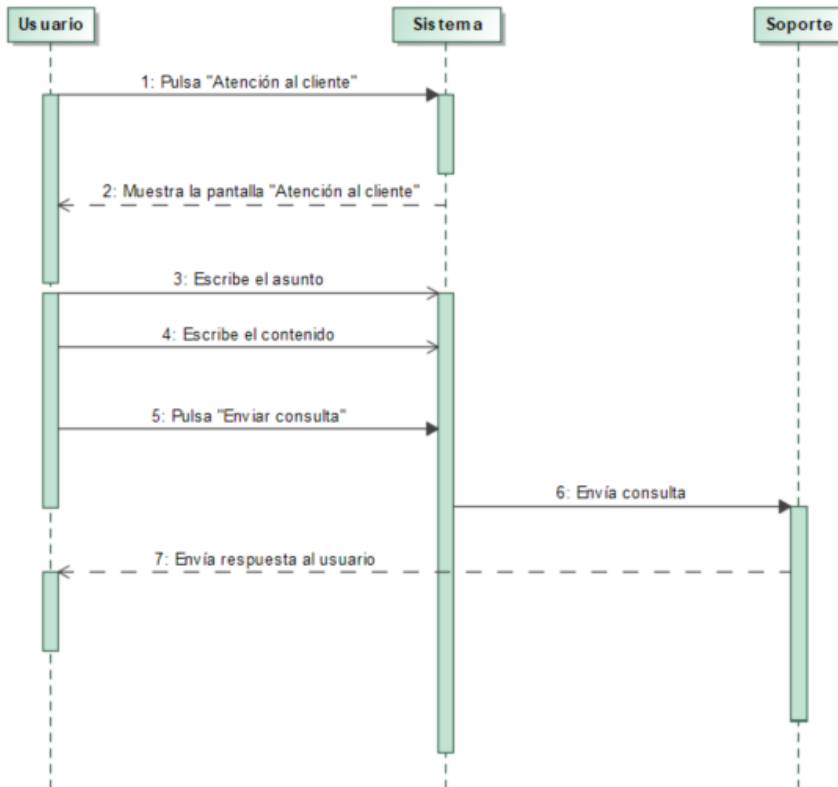


Figura 34: Diagrama de Secuencia para el requisito "Contacto"

<b>Requisito</b>	6) Cerrar Sesión - Médico
<b>Descripción</b>	Un usuario con rol de “Médico” podrá cerrar su sesión
<b>Pre-condiciones</b>	El usuario se encuentra en la aplicación
<b>Post-condiciones</b>	El usuario se encontrará en la página de Inicio de Sesión
<b>Prioridad</b>	Alta

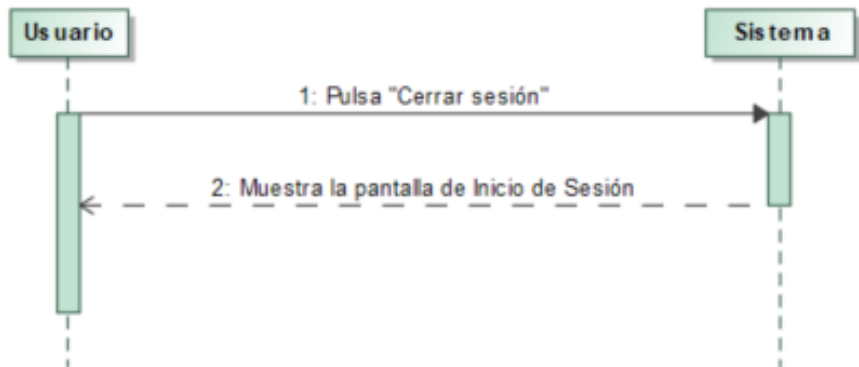


Figura 35: Diagrama de Secuencia para el requisito “Cerrar Sesión - Médico”

<b>Requisito</b>	7) Cerrar Sesión - Administrador
<b>Descripción</b>	Un usuario con rol de “Administrador” podrá cerrar su sesión
<b>Pre-condiciones</b>	El usuario se encuentra en el panel de administrador.
<b>Post-condiciones</b>	El usuario se encontrará en la página de Inicio de Sesión
<b>Prioridad</b>	Alta

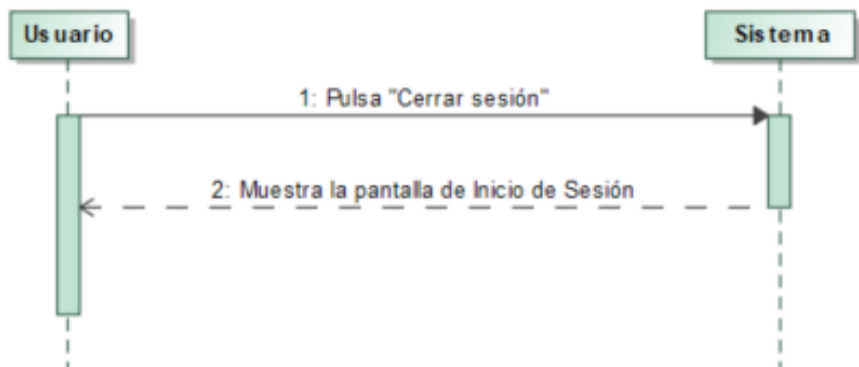


Figura 36: Diagrama de Secuencia para el requisito “Cerrar Sesión - Administrador”

## 5.2. Diagrama de bloques del sistema

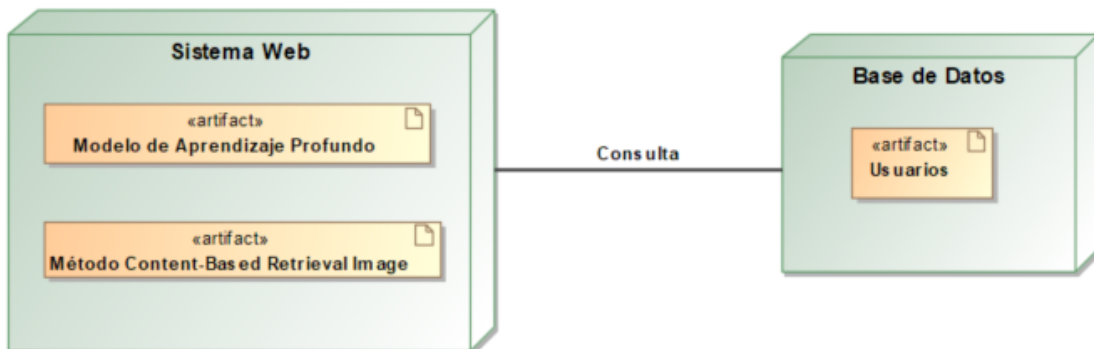


Figura 37: Diagrama de componentes del sistema

El sistema web contendrá en sí mismo un modelo de aprendizaje profundo con el que realizará las predicciones y diagnósticos, además de la implementación del método de recuperación de imágenes basada en contenido (CBIR), con el objetivo de proporcionar el conjunto de imágenes parecidas a la imagen de entrada.

Así mismo, el sistema web consultará una base de datos dónde almacenará los usuarios de la aplicación.



## 6. Clasificación de imágenes

### 6.1. Arquitecturas de redes neuronales convolucionales

En este trabajo se han utilizado y entrenado modelos de aprendizaje profundo con dos arquitecturas de redes neuronales convolucionales, la MobileNetV3 y la DenseNet-121.

#### 6.1.1. DenseNet-121

Las arquitecturas DenseNet [25] modifican la tradicional arquitectura de redes neuronales convolucionales de tal manera que cada capa se encuentra conectada no solo con la capa siguiente, sino con el resto de capas de la red. Es decir, cada capa recibe como entrada los mapas de características de todas las capas anteriores, y el mapa de características generado por una capa de la red será utilizado por cada una de las siguientes capas de la red.

Hay varios tipos de DenseNet, por ejemplo, la DenseNet-121, la DenseNet-160 o la DenseNet-201. La diferencia entre todas ellas reside en el número de capas en la red neuronal. Es decir, la DenseNet-121 contiene un total de 121 capas.

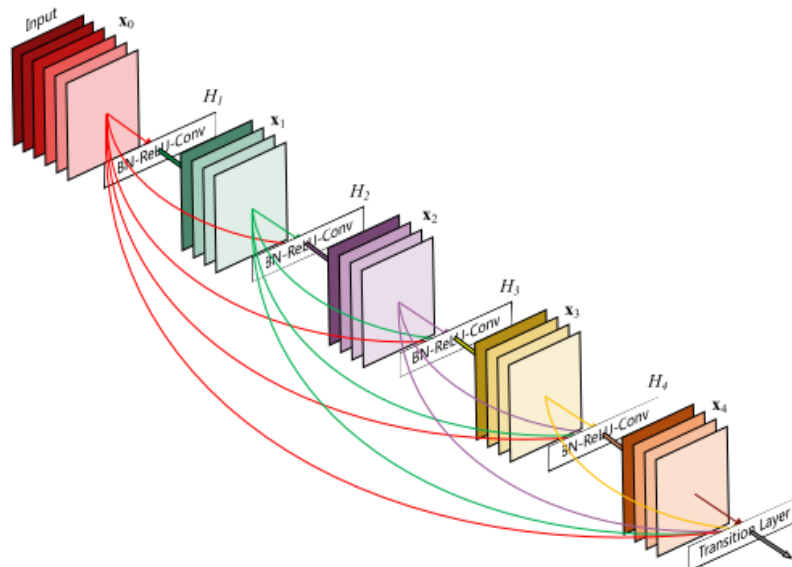


Figura 38: Arquitectura DenseNet [25]

### 6.1.2. MobileNetV3

Las arquitecturas MobileNet [26] llegaron de la mano de Google con el objetivo de construir e implementar redes neuronales convolucionales que pudieran ser utilizadas en sistemas embebidos o móviles.

La arquitectura MobileNetV3 recoge numerosas características que mejoran la eficiencia computacional: la inclusión de capas de convolución separadas en profundidad, las capas de cuello de botella o bloques residuales invertidos

Para la arquitectura MobileNetV3 se crearon dos esquemas diferentes: la MobileNetV3-Large y la MobileNetV3-Small, respectivamente para los casos de uso donde se utilicen altas y bajas cantidades de recursos.

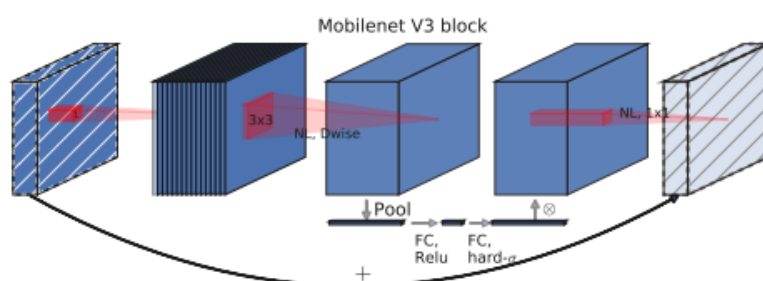


Figura 39: Arquitectura MobileNetV3 [26]

## 6.2. Preprocesado de datos

El conjunto de imágenes utilizado contiene un total de 10015 imágenes. Además, disponemos de un excel que contiene datos sobre cada una de las imágenes. Este conjunto de imágenes presenta una desventaja típica en los conjuntos de imágenes de enfermedades, y es que se encuentra desbalanceado. Concretamente, el número de imágenes por clase es el siguiente:

<b>Nevus melanocíticos</b>	6705
<b>Melanoma</b>	1113
<b>Queratosis benignas</b>	1099
<b>Carcinoma basocelular</b>	514
<b>Queratosis actínica y Carcinoma intraepitelial / Enfermedad de Bowen</b>	327
<b>Lesiones vasculares</b>	142
<b>Dermatofibromas</b>	115

Como se puede apreciar, existe un gran desbalanceo en el conjunto de imágenes. Por un lado tenemos el nevus melanocíticos, del que disponemos de 6705 imágenes. La segunda enfermedad con más cantidad de imágenes es el melanoma, y como se puede comprobar, ya se muestra una diferencia de 5000 imágenes entre la anterior y esta. Por último tenemos las lesiones vasculares con 142 imágenes y los dermatofibromas con 115 imágenes.

Para solventar este problema, se ha procedido a realizar un aumento de datos de las imágenes. Para ello se han duplicado las imágenes y se les ha aplicado una serie de transformaciones:

- Redimensión de imagen a 256 x 256 píxeles.
- Recorte aleatorio con tamaño de salida de 256 píxeles.
- Volteo horizontal aleatorio.
- Volteo vertical aleatorio.
- Rotación de 90° aleatoria.
- Transformación a Tensor.

```
Data Augmentation
NºInstances per class:
Counter({5: 4309, 4: 706, 2: 701, 1: 322, 0: 206, 6: 84, 3: 81})
NºInstances per class:
Counter({5: 4309, 4: 1412, 2: 1402, 1: 644, 0: 412, 6: 252, 3: 243})
```

Figura 40: Paso de aumentado de datos

### 6.3. Validación cruzada

La validación cruzada [27] es una técnica que consiste en calcular la media aritmética obtenida entre las medidas de evaluación de diferentes particiones. Dentro del desarrollo de redes neuronales, conseguimos evaluar un modelo de aprendizaje profundo, por un lado, garantizando que los conjuntos de entrenamiento y testing son excluyentes, y por otro lado, evitando un posible sobreajuste debido a realizar una partición única injusta.

En este trabajo esta técnica resulta muy interesante de implementar, ya que, como se ha mostrado anteriormente, disponemos de un conjunto de imágenes muy desbalanceado, por

lo que es muy probable que la división del conjunto se realice de manera injusta en algunas ocasiones.

Existen varios tipos de validaciones cruzadas. En este trabajo, se ha utilizado la denominada “validación cruzada de K iteraciones”. En esta, el conjunto de imágenes se divide en K subconjuntos, donde, de manera iterativa (en K iteraciones), uno de los subconjuntos será el subconjunto utilizado para el testing, y el resto de subconjuntos se utilizarán para entrenar al modelo. Una vez realizadas todas las iteraciones, se calcula la media aritmética de todas las iteraciones para obtener un resultado único y más preciso.

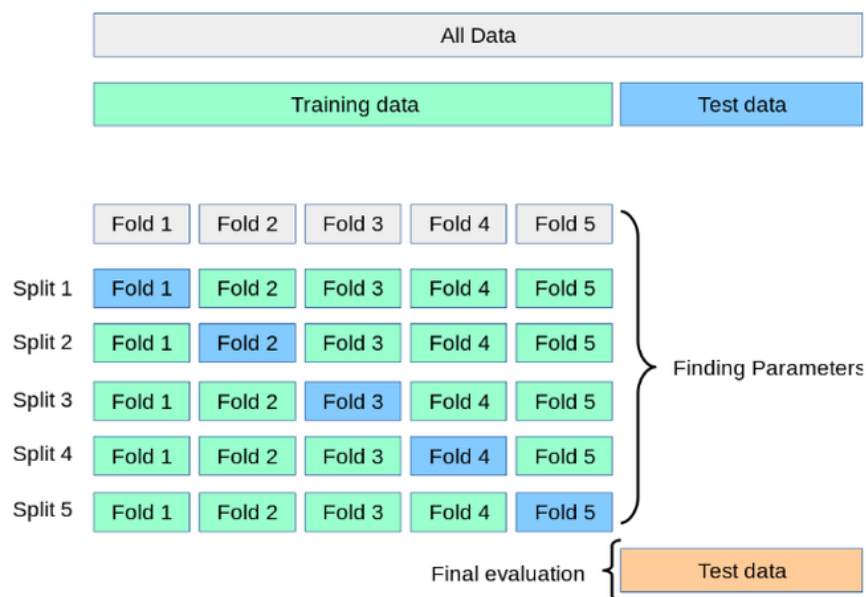


Figura 41: Esquema de validación cruzada de 5 iteraciones [28]

## 6.4. Entrenamiento

El entrenamiento del modelo comienza por la iteración de los “folds” de la validación cruzada. Se realizará una validación cruzada con 5 “folds” (lo que dará lugar a 5 modelos diferentes) que partirán el conjunto de entrenamiento en una parte dedicada al entrenamiento y otra parte al testing. En este caso, nos interesará coger los ids de las imágenes asignadas a la parte de entrenamiento.

Una vez tenemos estas imágenes, volveremos a realizar una división de datos para obtener el subconjunto final que utilizaremos para entrenar el modelo y, por otro lado, un subconjunto de validación para analizar cada iteración del entrenamiento del modelo. La proporción asignada a cada uno es del 80 % del conjunto para entreno y 20 % de validación. Es importante tener

en cuenta que el conjunto de imágenes está desbalanceado, y por ello, necesitamos asegurar que los conjuntos de entrenamiento y validación estén balanceados. Para ello utilizamos en la división de entreno y validación el parámetro “stratify”, que realiza una división justa.

```
Creating folders...
-----
FOLD 1
-----
Splitting Dataset into training and validation sets...
Train_DS Length: 6409
Val_DS Length: 1603
```

Figura 42: Ejemplo de primer “fold” de entrenamiento - División del conjunto de imágenes en entrenamiento y validación

Los modelos se han entrenado 5 épocas con una tasa de aprendizaje de 0.001. Entre la información que guardamos por época encontramos la siguiente: valor de la función de pérdida para el conjunto de entrenamiento, valor de la función de pérdida para el conjunto de validación, precisión del conjunto de entrenamiento y precisión del conjunto de validación. Cada vez que finalice una época se nos mostrará esta información.

Una vez entrenados los modelos las 5 épocas, guardaremos tanto estos modelos como los datos recogidos en cada época mencionados anteriormente.

```
Training Model...
-----
Epoch [1], train_loss: 0.8773, train_acc: 0.6764, val_loss: 0.7053, val_acc: 0.7637
Epoch [2], train_loss: 0.5263, train_acc: 0.7981, val_loss: 0.4829, val_acc: 0.8360
Epoch [3], train_loss: 0.4081, train_acc: 0.8434, val_loss: 0.5225, val_acc: 0.8117
Epoch [4], train_loss: 0.3206, train_acc: 0.8761, val_loss: 0.4288, val_acc: 0.8538
Epoch [5], train_loss: 0.2655, train_acc: 0.8961, val_loss: 0.4609, val_acc: 0.8427
Model Saved
```

Figura 43: Ejemplo de primer “fold” de entrenamiento - Entrenamiento del modelo, visualizado de épocas y guardado de modelo y datos

## 6.5. Testing

El testing del modelo comienza por la iteración de los “folds” de la validación cruzada. Se realizará una validación cruzada con 5 “folds” (lo que dará lugar a 5 modelos diferentes) que partirán el conjunto de entrenamiento en una parte dedicada al entrenamiento y otra parte

al testing. En este caso, nos interesará coger los ids de las imágenes asignadas a la parte de testing.

Para empezar, cargará los datos obtenidos en todas las épocas durante la fase de entrenamiento, y por cada iteración de la validación cruzada, cargará el modelo correspondiente al “fold” trabajado.

```
FOLD 1
-----
Loading Model...
```

Figura 44: Ejemplo de primer “fold” de testing - Carga de modelo y datos

En cada iteración, el modelo evaluará el subconjunto de imágenes de testing correspondiente a cada fold, y mostrará por pantalla los valores de precisión y los valores de función de pérdida.

```
Test Dataset Evaluation:
{'test_loss': 0.47015976905822754, 'test_acc': 0.8444026708602905}
```

Figura 45: Ejemplo de primer “fold” de testing - Evaluación del modelo

Finalmente, una vez terminado de recorrer todos los “folds”, el programa mostrará la media de ambos valores obtenida entre los resultados de los 5 modelos.

```
Test Accuracy Mean: 0.8322524905204773
Test Loss Mean: 0.5146090984344482
```

Figura 46: Ejemplo de primer “fold” de testing - Media de los parámetros de evaluación

Con los datos obtenidos en cada época durante la fase de entrenamiento, el archivo de testing construirá 4 gráficas en cada iteración de la validación cruzada: una para los valores de pérdida del conjunto de entrenamiento, una para los valores de pérdida del conjunto de validación, una para los valores de precisión del conjunto de entrenamiento y una para los valores de precisión del conjunto de validación.

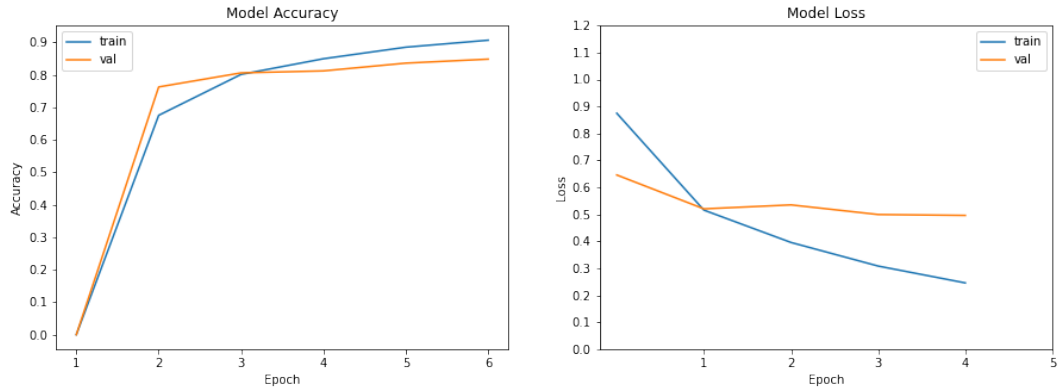


Figura 47: Ejemplo de estadísticas generales de un modelo MobileNetV3

Además, en cada iteración de la validación cruzada el archivo de testing construirá una matriz de confusión, que muestre de manera visual los resultados de testear cada uno de los 5 modelos.

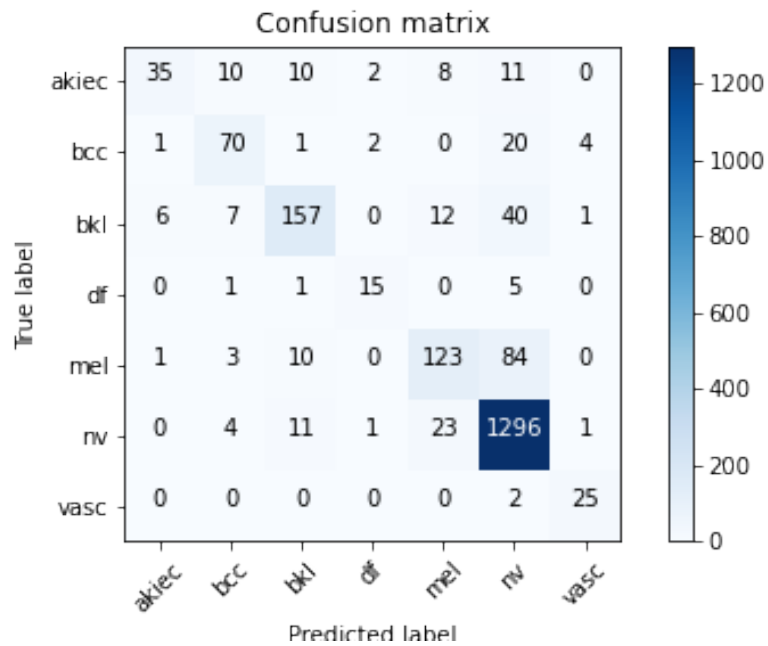


Figura 48: Ejemplo de una matriz de confusión de un modelo MobileNetV3

## 6.6. Resultados

### 6.6.1. DenseNet-121

Para comenzar, se muestra una tabla que resume los resultados generales de los 5 modelos DenseNet-121:

Fold	Precisión	Función de pérdida
1	86,13 %	0,4174
2	86,90 %	0,3907
3	86,06 %	0,3905
4	87,46 %	0,3450
5	85,56 %	0,4173

- Media aritmética de las precisiones: 86,42 %
- Media aritmética del valor de pérdida: 0.3922

A continuación, se muestra por cada “fold” sus gráficas de resultados a lo largo de la fase de entrenamiento:

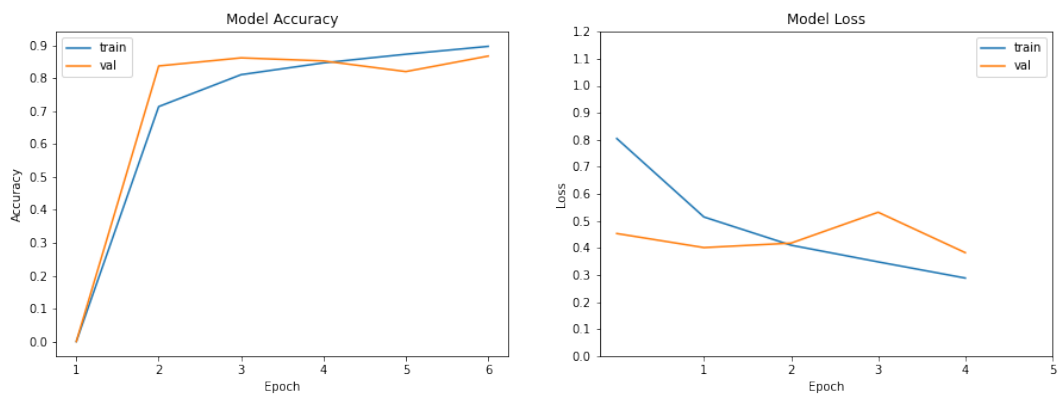


Figura 49: Fold 1 - Evolución de parámetros a lo largo de la fase de entrenamiento

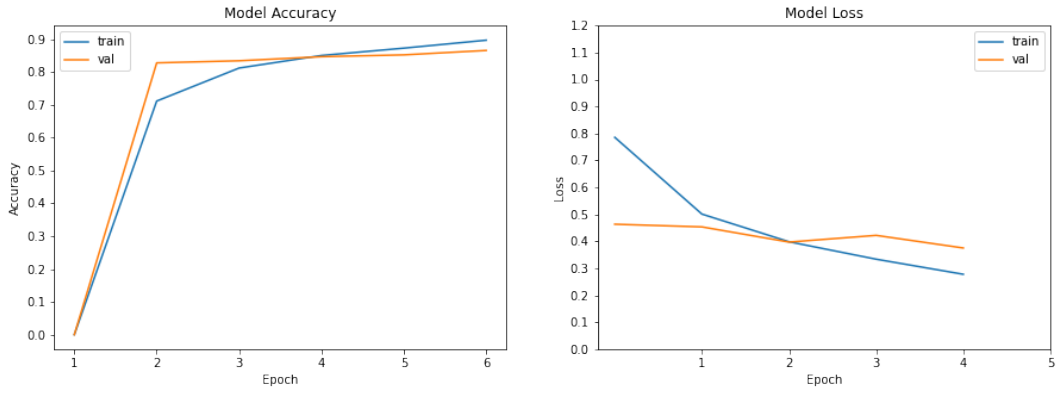


Figura 50: Fold 2 - Evolución de parámetros a lo largo de la fase de entrenamiento

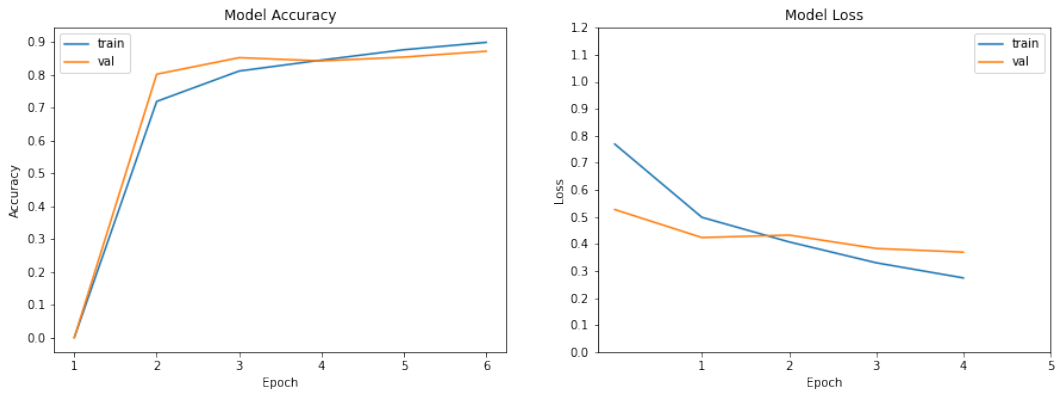


Figura 51: Fold 3 - Evolución de parámetros a lo largo de la fase de entrenamiento

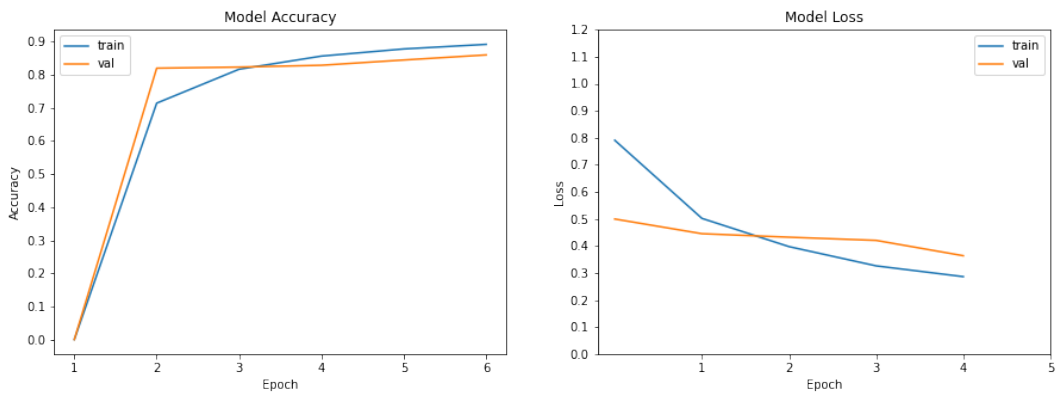


Figura 52: Fold 4 - Evolución de parámetros a lo largo de la fase de entrenamiento

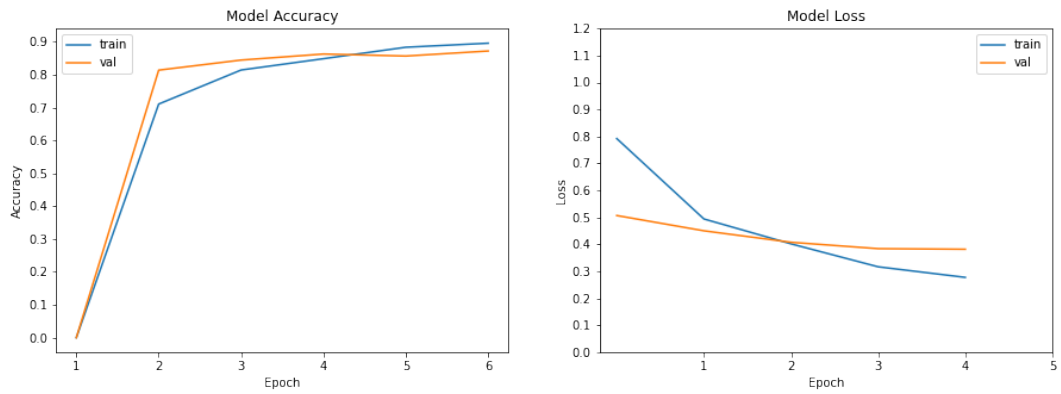


Figura 53: Fold 5 - Evolución de parámetros a lo largo de la fase de entrenamiento

Por último, se muestra por cada “fold” su matriz de confusión:

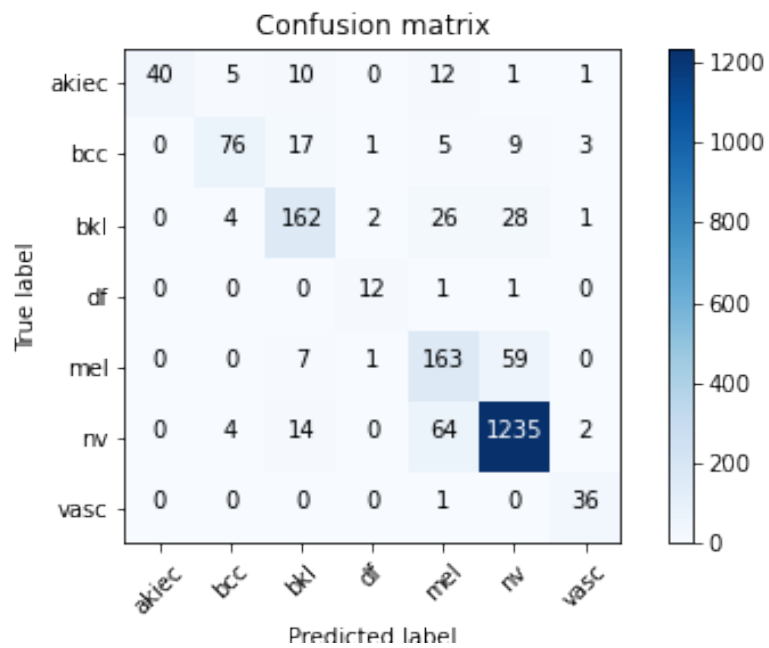


Figura 54: Fold 1 - Matriz de confusión

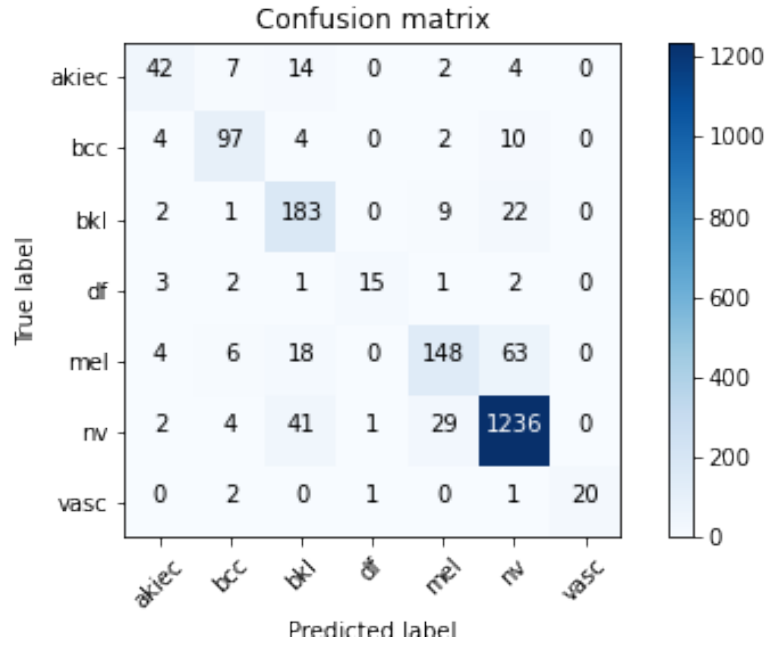


Figura 55: Fold 2 - Matriz de confusión

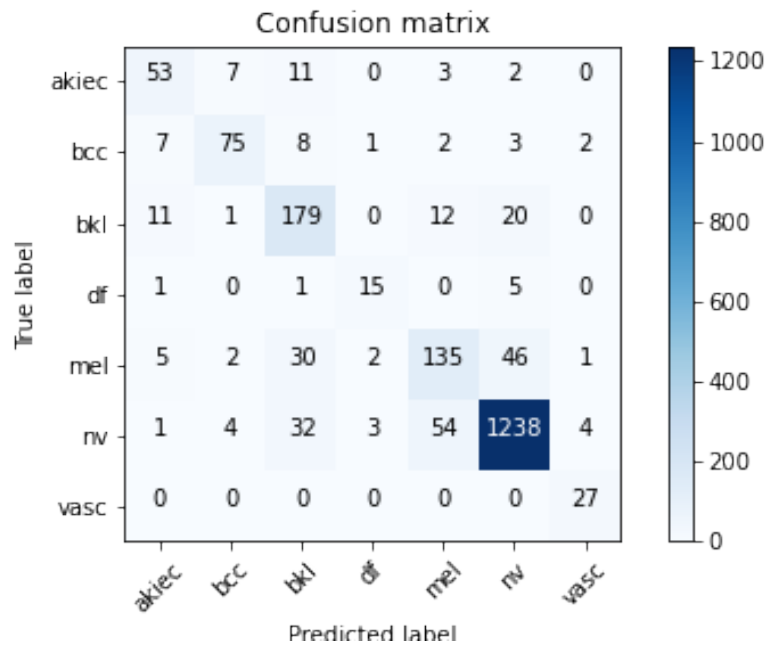


Figura 56: Fold 3 - Matriz de confusión

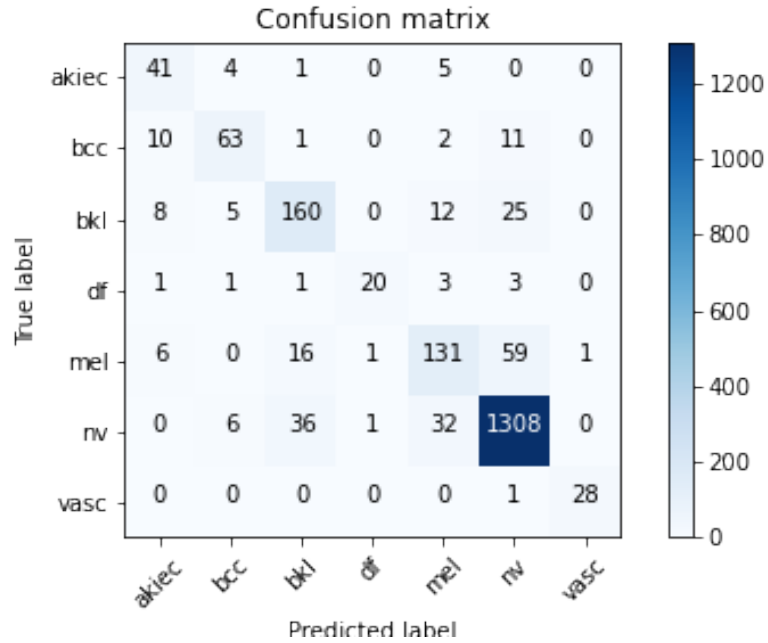


Figura 57: Fold 4 - Matriz de confusión

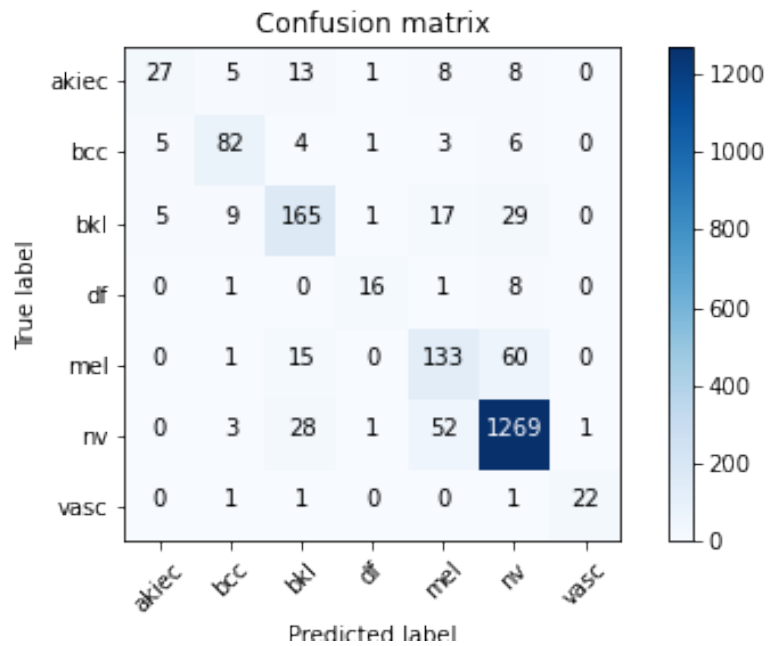


Figura 58: Fold 5 - Matriz de confusión

La arquitectura DenseNet121 muestra muy buenos resultados en cuanto a precisión se refiere. A diferencia de la arquitectura MobileNetV3, su entrenamiento es más largo (aproximadamente 25 minutos por modelo). Como aspecto positivo adicional, el modelo entrenado no ocupa mucho espacio en memoria (guardar su estado ocupa unos 28 KB aproximadamente)

### 6.6.2. MobileNetV3

Para comenzar, se muestra una tabla que resume los resultados generales de los 5 modelos MobileNetV3:

Fold	Precisión	Función de pérdida
1	84,44 %	0,4701
2	81,36 %	0,5587
3	85,94 %	0,4708
4	81,71 %	0,5021
5	82,67 %	0,5712

- Media aritmética de las precisiones: 83,22 %
- Media aritmética del valor de pérdida: 0.5146

A continuación, se muestra por cada “fold” sus gráficas de resultados a lo largo de la fase de entrenamiento:

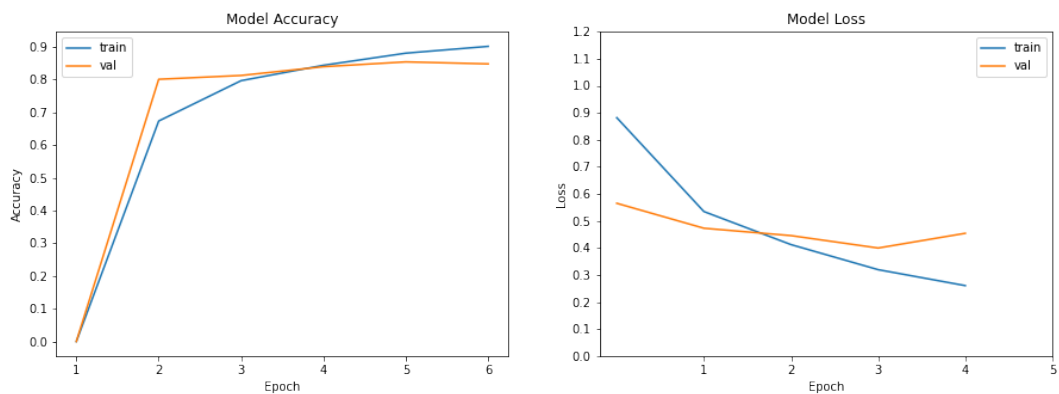


Figura 59: Fold 1 - Evolución de parámetros a lo largo de la fase de entrenamiento

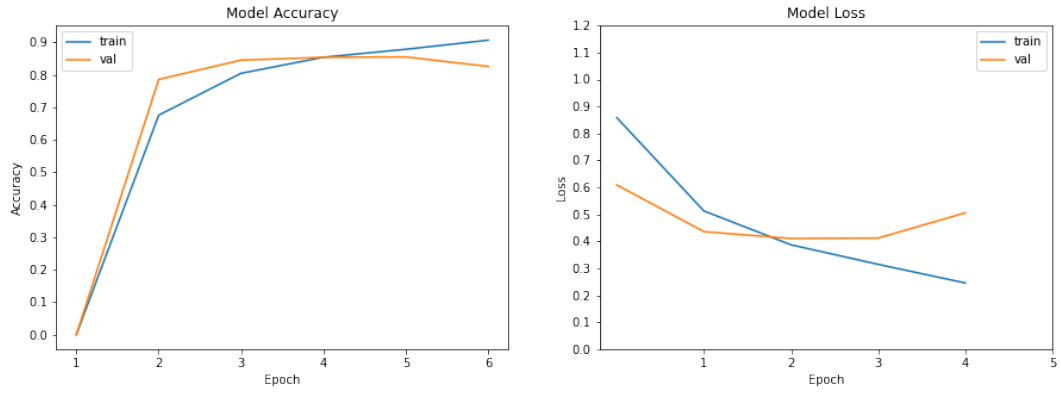


Figura 60: Fold 2 - Evolución de parámetros a lo largo de la fase de entrenamiento

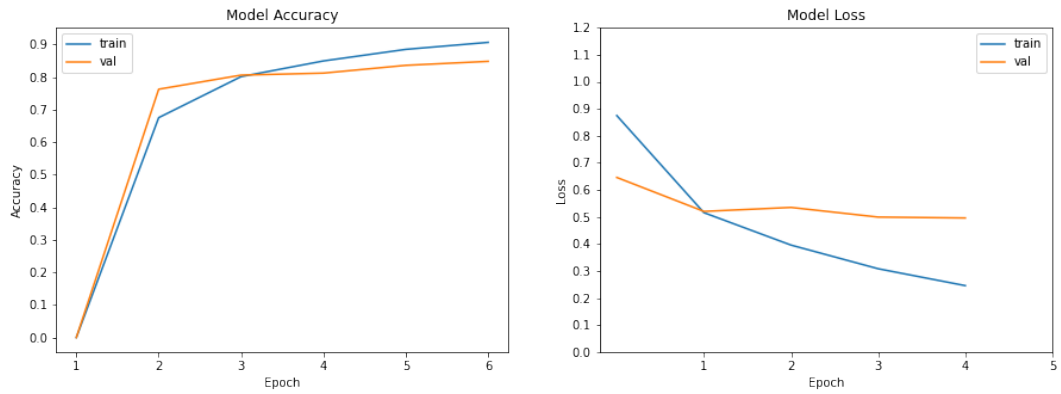


Figura 61: Fold 3 - Evolución de parámetros a lo largo de la fase de entrenamiento

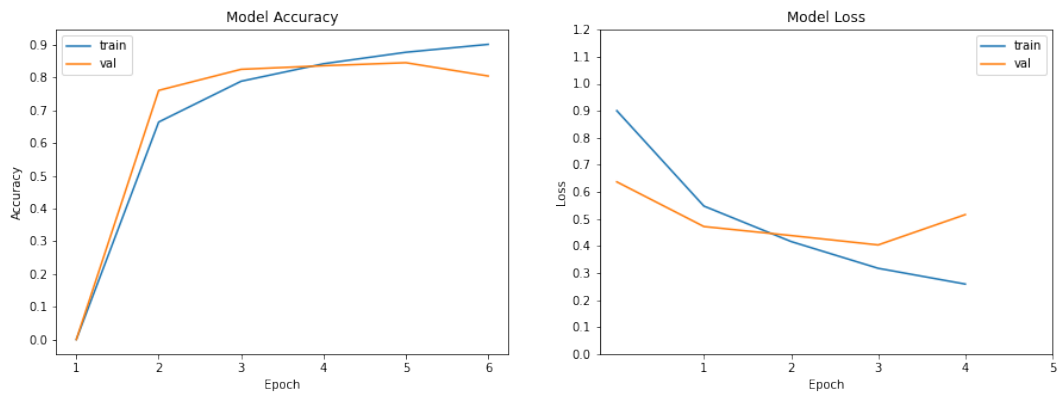


Figura 62: Fold 4 - Evolución de parámetros a lo largo de la fase de entrenamiento

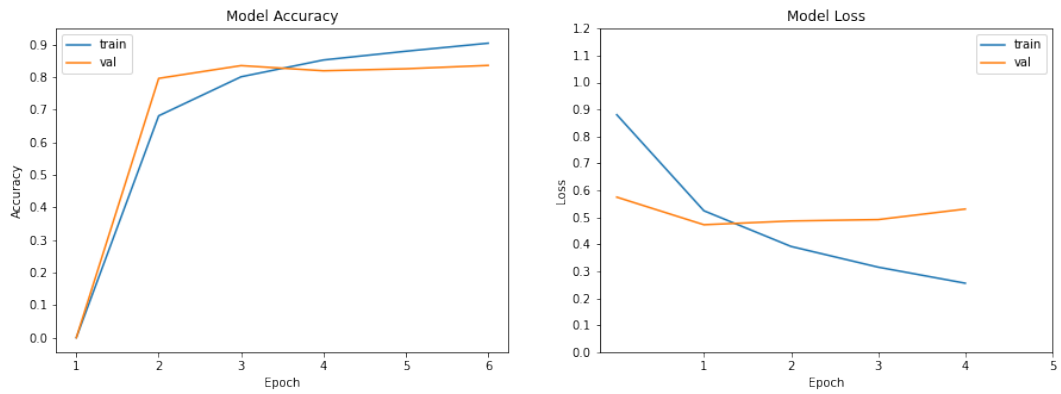


Figura 63: Fold 5 - Evolución de parámetros a lo largo de la fase de entrenamiento

Por último, se muestra por cada “fold” su matriz de confusión:

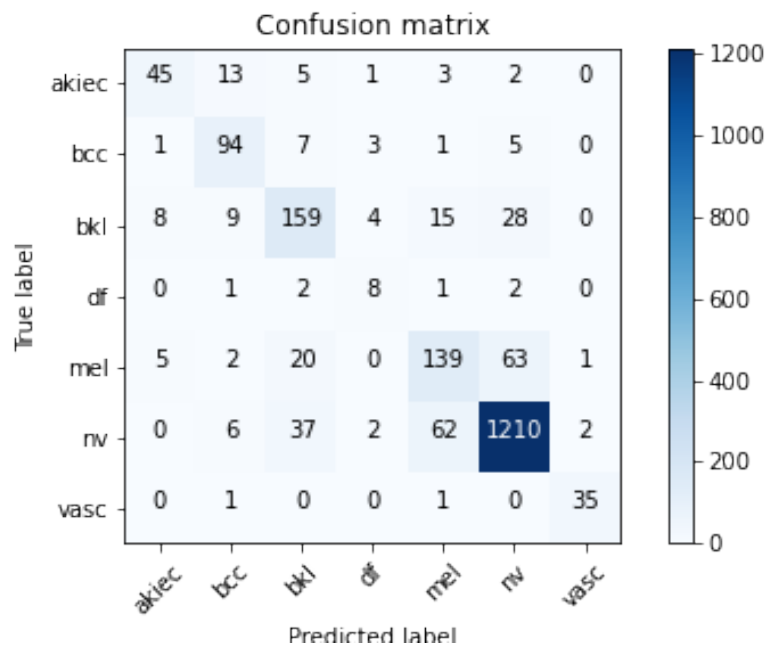


Figura 64: Fold 1 - Matriz de confusión

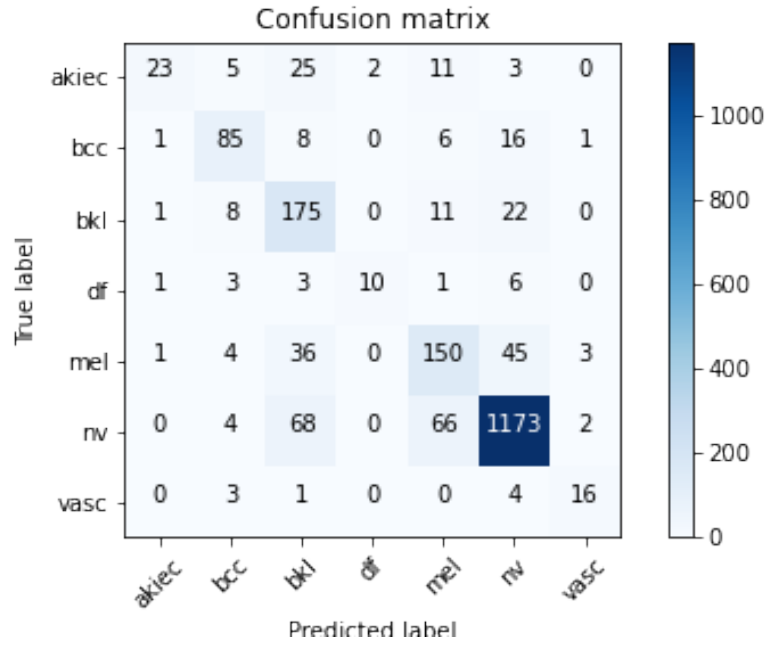


Figura 65: Fold 2 - Matriz de confusión

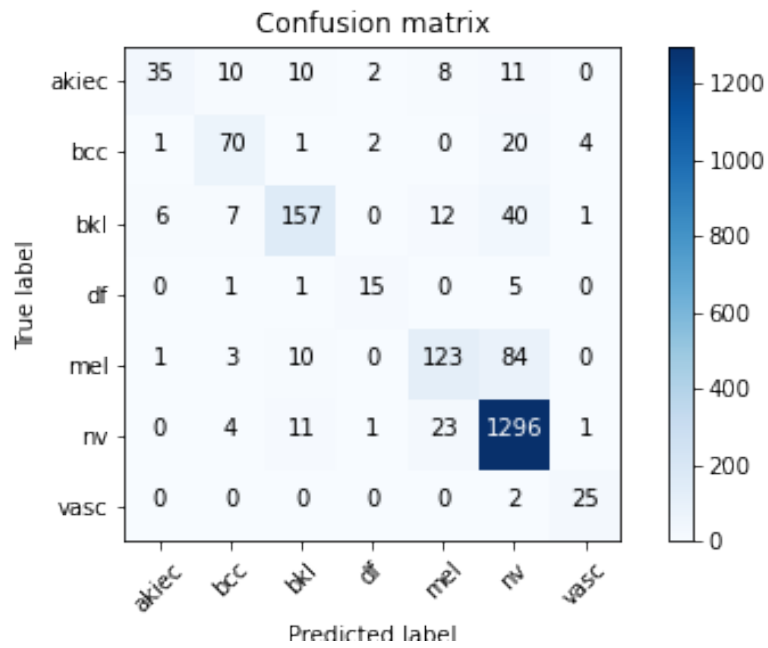


Figura 66: Fold 3 - Matriz de confusión

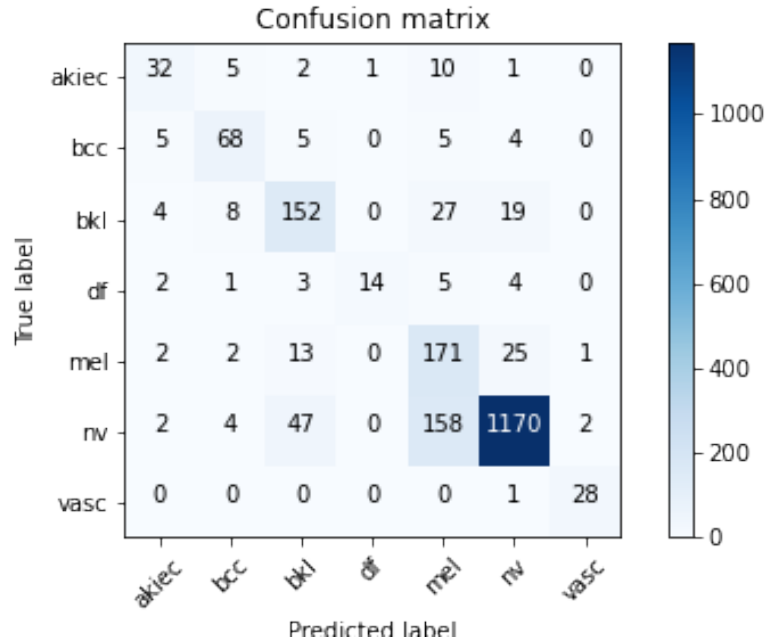


Figura 67: Fold 4 - Matriz de confusión

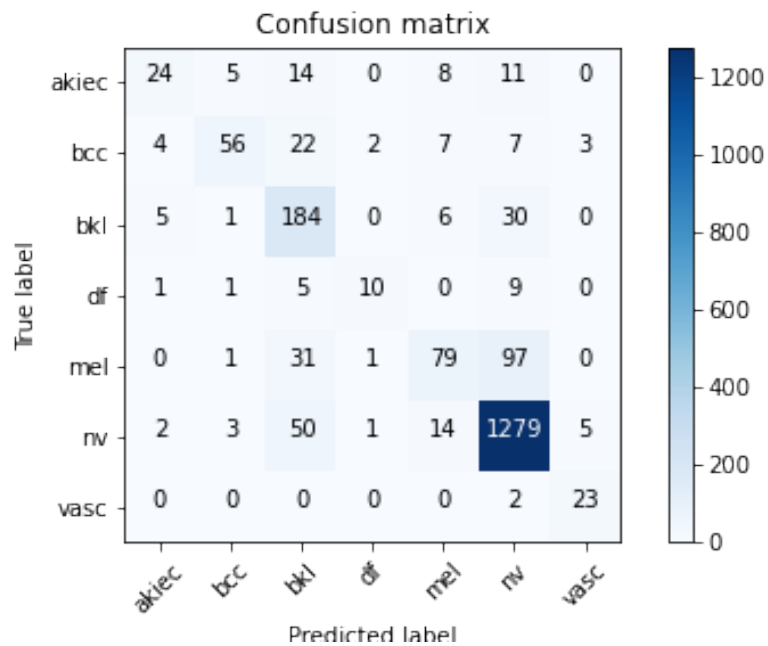


Figura 68: Fold 5 - Matriz de confusión

La arquitectura MobileNetV3 muestra buenos resultados en cuanto a precisión se refiere. A diferencia de la arquitectura DenseNetV3, su entrenamiento es mucho más corto (aproximadamente 15 minutos por modelo). Además, ocupa muy poco espacio en memoria (guardar su estado ocupa unos 16 KB aproximadamente)



## 7. Recuperación de imágenes basada en contenido (CBIR)

Esta parte del trabajo se puede dividir en dos subpartes: el cálculo de probabilidades de las imágenes que son candidatas a ser devueltas y la implementación del método de recuperación de imágenes basada en contenido (CBIR).

### 7.1. Cálculo de probabilidades

Para esta parte, debemos utilizar uno de los modelos entrenados. Se ha utilizado un modelo de aprendizaje profundo de arquitectura MobileNetV3.

Las imágenes sobre la que se calcula las probabilidades de pertenecer a cada una de las enfermedades y sobre la cual vamos a implementar el método de recuperación de imágenes basada en contenido es el propio conjunto de datos utilizado para entrenar el modelo.

Principalmente en esta subparte calculamos todas las probabilidades de las imágenes de que pertenezcan a cada una de las clases con el objetivo de posteriormente, en el método CBIR, hallar aquel conjunto de imágenes más parecido a la imagen de entrada.

Para ello, predecimos a través del modelo escogido todas las probabilidades, y en vez de escoger la máxima, nos quedamos con todas. Repitiendo y acabando este proceso con todas las imágenes, guardamos los resultados en un archivo “classesProbabilities.npy”, el cual se utilizará posteriormente en el método CBIR.

Un diagrama de este proceso puede verse en la Figura 69.

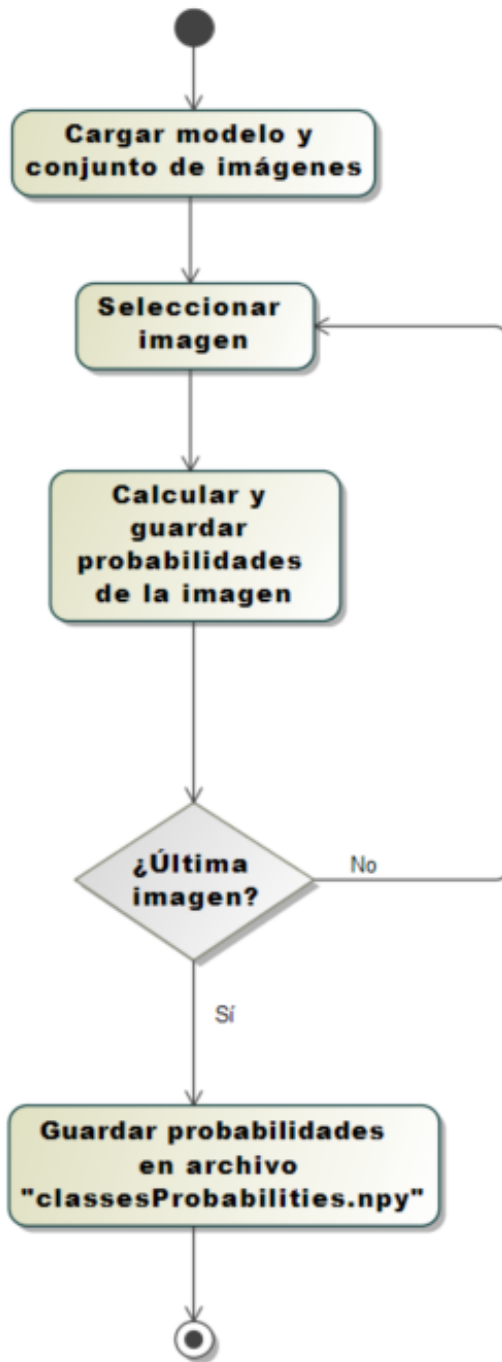


Figura 69: Cálculo de probabilidades

## 7.2. Método CBIR

El proceso del método de recuperación de imágenes basada en contenido es el siguiente: Comenzamos realizando la predicción de la imagen de entrada, hallando y calculando todas las probabilidades de que pertenezca a cada una de las enfermedades.

Una vez tenemos estas probabilidades, lo que haremos será calcular la norma de cada uno de los vectores obtenido tras la diferencia de probabilidades entre las de la imagen de entrada y cada una de las imágenes posibles que vayamos a devolver (estas probabilidades, calculadas y almacenadas anteriormente en el archivo “classesProbabilities.npy”).

Tras obtener las distancias, queremos hallar las N imágenes que más se parezcan a la imagen de entrada. Para ello, escogemos aquellas N imágenes con la menor distancia calculada posible, de forma que éstas serán las que, según el método CBIR, son más similares a la imagen de entrada. La Figura 70 muestra un esquema de este proceso.

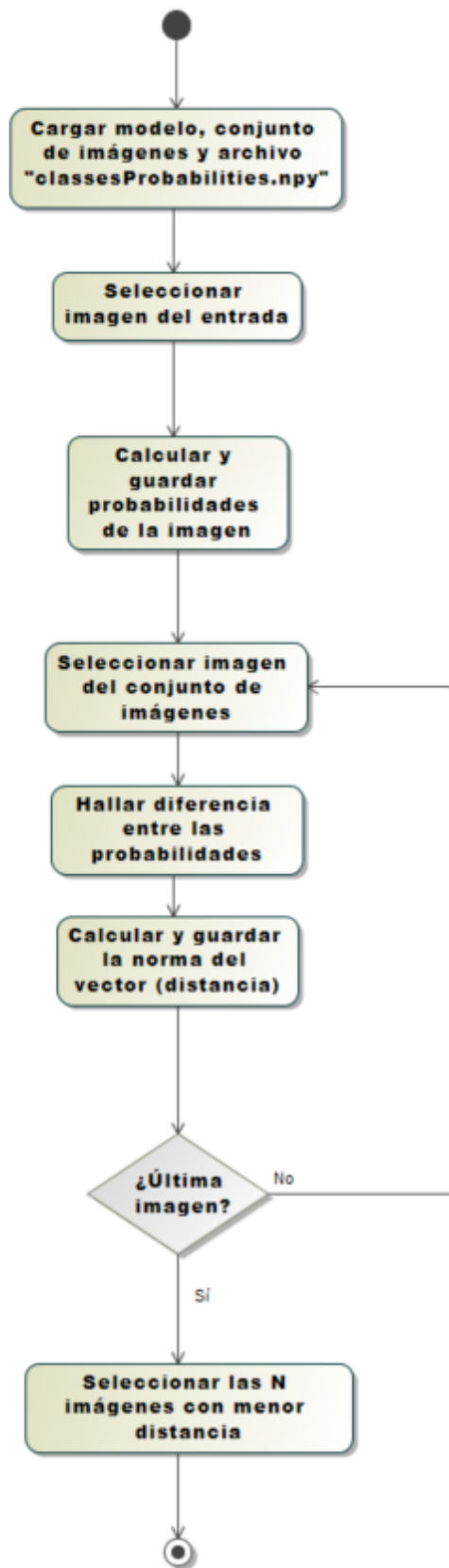


Figura 70: Método CBIR

## 8. Aplicación web

El sistema web implementado es un sistema fácil, sencillo y usable. A lo largo de este apartado se expondrá las distintas funcionalidades de la misma, así como la inclusión de distintas imágenes de la interfaz.

### 8.1. Sobre la Aplicación Web

La aplicación web ha sido implementada en el lenguaje de programación “Python”, utilizando el framework “Django”. Las funcionalidades de la misma están agrupadas en distintas, “aplicaciones” o módulos, que agrupan las funciones comunes. En este caso, las aplicaciones en las que se divide en sistema web son las siguientes:

- SistemaWeb: Contiene las rutas completas de toda la aplicación, así como las opciones de la misma.
- home: Incluye las funcionalidades de la página principal, así como la plantilla base heredada por el resto de plantillas de la página web.
- autenticación: Incluye las funcionalidades de registro, inicio de sesión y cerrar sesión.
- contacto: Incluye las funcionalidades relacionadas con la atención al cliente.
- diagnóstico: Incluye las funcionalidades que dan lugar al núcleo de la aplicación, la detección y clasificación de una imagen de entrada, así como la puesta en marcha de la técnica de recuperación de imágenes basada en contenido para obtener el conjunto de imágenes parecidas a la imagen de entrada.

Adicionalmente, tenemos entre los archivos del sistema web:

- El modelo de aprendizaje profundo utilizado. En este caso, un modelo de arquitectura MobileNetV3.
- El conjunto de imágenes utilizado para realizar las operaciones de recuperación de imágenes basada en contenido.
- Las probabilidades de cada una de las imágenes de pertenecer a cada una de las clases según el modelo MobileNetV3
- La base de datos SQLite que guarda los usuarios de la aplicación.

## 8.2. Funcionalidades

Comenzaremos con la pantalla inicial al entrar la aplicación: el Inicio de Sesión, donde podremos acceder a la aplicación web introduciendo nuestro nombre de usuario y contraseña. Tras introducir las credenciales, pulsaremos en “Inicio de Sesión” para proceder a entrar en la aplicación.



The image shows a login form with a teal background. At the top, the title "Inicio de Sesión" is centered. Below the title, there are two input fields: "Usuario:" and "Contraseña:". At the bottom, there are two buttons: "Iniciar Sesión" (blue) and "Registrarse" (green).

Figura 71: Inicio de Sesión

Si aún no tenemos ningún usuario registrado, pulsaremos en el botón “Registrarse”, dónde podremos registrar un usuario nuevo.



The image shows a registration form with a teal background. At the top, the title "Registro" is centered. Below the title, there are four input fields: "Nombre:", "Email:", "Contraseña:", and "Confirmar contraseña:". At the bottom, there are two buttons: "Crear cuenta" (blue) and "Cancelar registro" (red).

Figura 72: Registro

En esta pantalla, introduciremos en nombre de usuario que deseemos, nuestro email, la contraseña y una confirmación de la contraseña. Una vez introducidos los datos, pulsaremos “Crear cuenta”. Si deseamos cancelar el registro, pulsaremos “Cancelar registro”.

Una vez pulsado el botón “Crear cuenta”, nos aparecerá un mensaje por el cual la aplicación nos comunica que debemos confirmar el registro a través del email que hemos introducido.

Por favor, confirme el registro a través de la cuenta de correo electrónico introducida.

Figura 73: Mensaje de confirmación de registro

La estructura del correo que nos llegará es la siguiente:

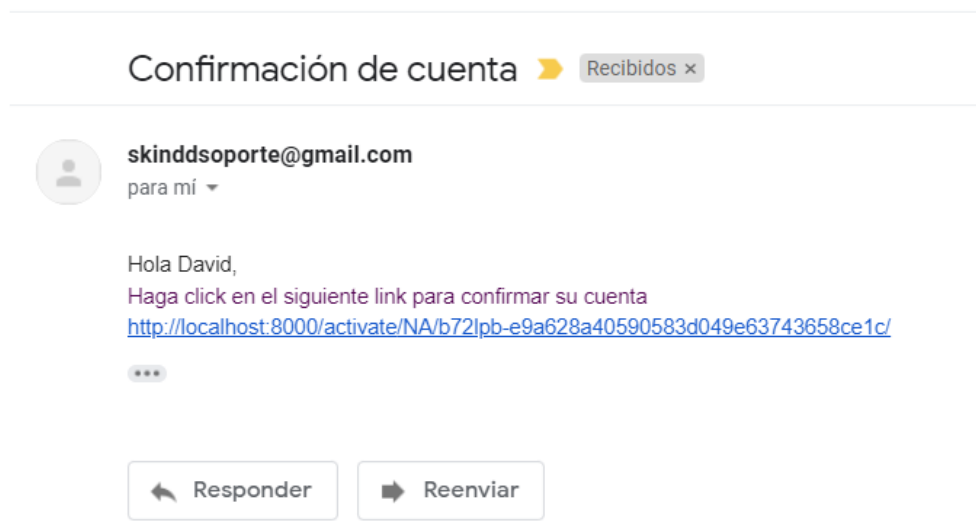


Figura 74: Email de confirmación de registro

Una vez pulsado el enlace, accederemos a la siguiente pantalla:

Gracias por confirmar su registro. Ahora podrá iniciar sesión.

[Ir a la aplicación](#)

Figura 75: Confirmación de registro

Esto nos confirma el registro. Se ha registrado un usuario en la base de datos del sistema con la siguiente información:

- Nombre de usuario: El nombre escogido por el usuario del sistema con el que accederá y se identificará en la aplicación.
- Email: Correo electrónico del usuario. Será utilizado si el usuario desea realizar alguna consulta (Atención al cliente).
- Contraseña: Contraseña de acceso impuesta por el usuario del sistema. Se encuentra encriptada con el algoritmo “sha256” y con un salting aplicado.

Un usuario puede acceder a la aplicación como administrador, de poseer las credenciales, o como usuario normal o médico.

En el caso de acceder como administrador, el usuario accederá al panel de administrador, por el cual podrá manejar los datos utilizados por la aplicación. En este caso, los usuarios.

## Sitio administrativo

AUTENTICACIÓN Y AUTORIZACIÓN	
Grupos	<a href="#">+ Añadir</a> <a href="#">✎ Modificar</a>
Usuarios	<a href="#">+ Añadir</a> <a href="#">✎ Modificar</a>

Figura 76: Panel de administrador

Un usuario puede acceder a la aplicación como médico. En este caso, la pantalla principal mostrada es la siguiente:

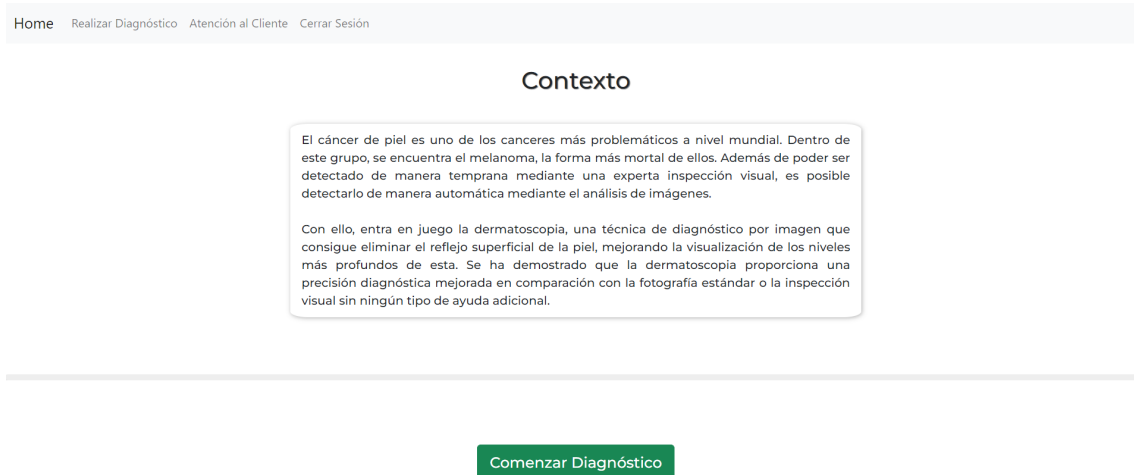


Figura 77: Pantalla principal de la aplicación

A partir de este punto, y en el resto de pantallas de la aplicación, podemos visualizar una barra de navegación “navbar”, por la cual podemos acceder a las distintas funcionalidades de la aplicación.

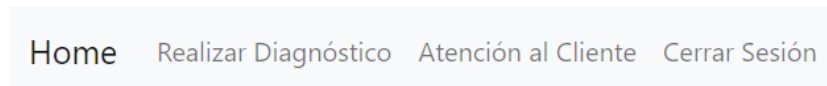


Figura 78: Barra de navegación

La barra de navegación se compone de cuatro pestañas:

- Home: Navegación a la pantalla principal.
- Realizar Diagnóstico: Navegación a la pantalla de diagnóstico.
- Atención al Cliente: Navegación a la pantalla de atención al cliente.
- Cerrar Sesión: Cierra la sesión del usuario y lo devuelve a la pantalla de inicio de sesión.

Si pulsamos en la pantalla principal “Comenzar Diagnóstico” o en la barra de navegación “Realizar Diagnóstico”, accederemos a la pantalla dónde comenzaremos a realizar nuestro diagnóstico.

## Realizar diagnóstico

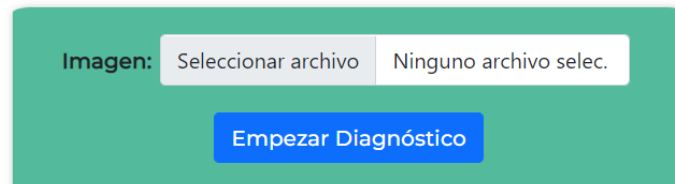


Figura 79: Pantalla de Realizar Diagnóstico

Para comenzar un diagnóstico, seleccionaremos un archivo de imagen, aquella de la que queramos un diagnóstico. Una vez seleccionada, pulsaremos “Empezar Diagnóstico”. Veamos un ejemplo en el cual tratamos de predecir una imagen que en la realidad es una lesión vascular:

## Resultado del diagnóstico



Figura 80: Diagnóstico

Como se puede ver en la figura, el sistema web nos proporciona la imagen de entrada que hemos subido, junto a la predicción de la enfermedad a la que pertenece según el modelo de aprendizaje profundo. Además, el sistema web nos proporciona la probabilidad con la que el modelo asegura que la imagen pertenece a dicha enfermedad.

A continuación, el sistema web nos proporciona el conjunto de imágenes parecidas a la imagen de entrada, utilizando el método implementado de recuperación de imágenes basada en contenido.



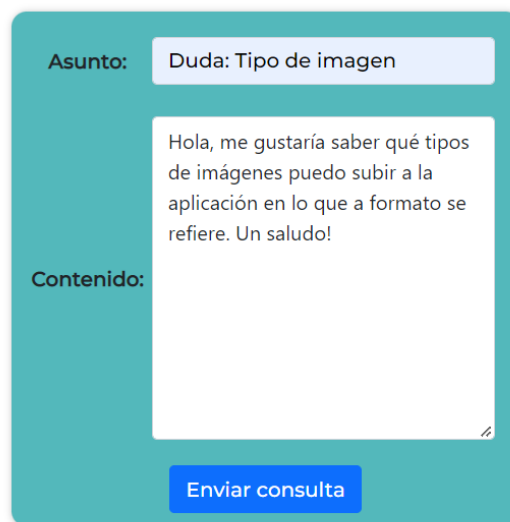
Figura 81: Conjunto de imágenes devueltas por CBIR

Al final de la página se nos muestra un botón “Realizar un nuevo diagnóstico” para abordar un nuevo diagnóstico.

Si pulsamos en la barra de navegación “Atención al Cliente”, accederemos a la pantalla donde podremos realizar una consulta. En esta pestaña, debemos escribir el asunto de la consulta, así como el contenido de la misma.

## Atención al cliente

Escriba el asunto y el contenido de la consulta:



Formulario de consulta al cliente con los siguientes campos:

- Asunto:** Duda: Tipo de imagen
- Contenido:** Hola, me gustaría saber qué tipos de imágenes puedo subir a la aplicación en lo que a formato se refiere. Un saludo!
- Botón:** Enviar consulta

Figura 82: Atención al cliente - Consulta

Una vez rellenados ambos campos, pulsamos en “Enviar consulta”. El correo se mandará a un email donde una persona externa a la aplicación responderá a las consultas de los usuarios. La respuesta será enviada al email del usuario que realizó la consulta.

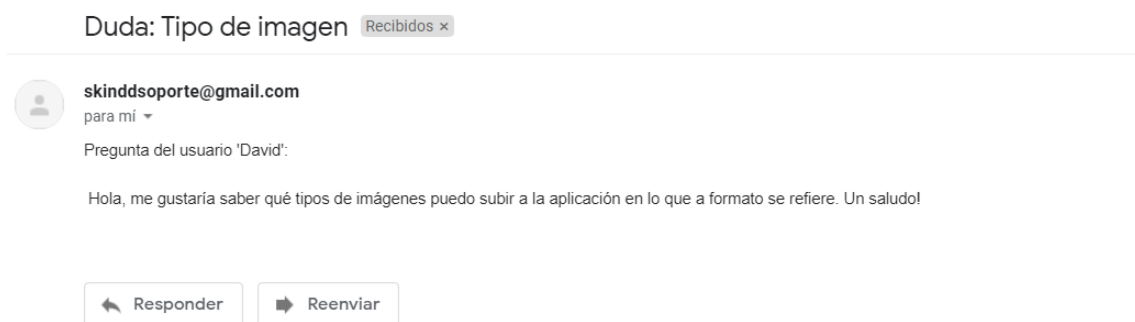


Figura 83: Atención al cliente - Correo

Por último, en cualquier pantalla de la aplicación, si pulsamos “Cerrar Sesión” en la barra de navegación, volveremos a la pantalla de Iniciar Sesión y cerraremos nuestra sesión.

## **9. Conclusiones y Líneas Futuras**

### **9.1. Conclusiones**

En este trabajo se ha construido una serie de modelos de aprendizaje profundo, a través de redes neuronales convolucionales utilizando las arquitecturas “MobileNetV3” y “DenseNet121” con el objetivo de detectar, clasificar y diagnosticar enfermedades de la piel. Se ha resaltado la importancia que tiene el cáncer de piel, sobre todo, el melanoma, y cómo de importante es su detección temprana para su debido tratamiento.

Además, se ha implementado la técnica de recuperación de imágenes basada en contenido (CBIR), con el objetivo de apoyar la predicción dada por la red neuronal convolucional, proporcionar un conjunto de imágenes parecidas a la imagen predicha para que el usuario pueda realizar una exhaustiva comparativa.

Por último, se ha desarrollado un sistema web con el objetivo de integrar las dos partes anteriores en una interfaz de usuario fácil y sencilla de usar para el usuario. En el sistema, un usuario puede registrarse e iniciar sesión, seleccionar una imagen dermatoscópica, y obtener un diagnóstico con la enfermedad predicha por el modelo (clasificación de imágenes), así como por pantalla un conjunto de imágenes parecidas a la imagen seleccionada (recuperación de imágenes basada en contenido).

### **9.2. Líneas Futuras**

Las líneas futuras que podrían plantearse en un futuro para el posterior desarrollo de este trabajo son las siguientes:

#### **9.2.1. Clasificación de imágenes**

Podría plantearse un aumento del conjunto de datos de entreno con la inclusión de otros conjuntos de datos dermatoscópicos, ya sean de más muestras de las clases utilizadas en este trabajo, o la inclusión de otras clases para ampliar el rango de enfermedades detectadas por los modelos. Esto puede ayudarnos a solucionar el problema de desbalanceo de datos presente en el conjunto de datos utilizado en el trabajo.

Además, podríamos incluir una clase desconocida o “unknown” para aquellas imágenes que, según los modelos entrenados, no pertenezcan a ninguna de las clases contempladas en

el trabajo.

Otra línea futura es la experimentación con otras arquitecturas de redes neuronales convolucionales. Algunos ejemplos de arquitecturas que se podrían plantear son la ConvNeXt, la VGG o la EfficientNet.

### **9.2.2. Recuperación de imágenes basada en contenido (CBIR)**

La técnica de recuperación de imágenes basada en contenido implementada en este trabajo está construida bajo una sola red neuronal convolucionales. Podríamos mejorar la técnica si implementamos un ensamblado con varias redes neuronales convolucionales. Una vez obtenidas las probabilidades, podemos realizar la media o la mediana entre todas para hallar una estimación más acertada que la que obtenemos aplicando la técnica a una sola red neuronal convolucional.

### **9.2.3. Aplicación web**

Como cualquier aplicación web, las posibilidades de líneas futuras son muy amplias. Para empezar, la operación de “hosting” aplicada a la aplicación la haría disponible a todo aquel que quisiera usarla.

La implementación de un foro interno incrementaría la interacción entre usuarios de la aplicación, permitiendo compartir y comentar los diagnósticos realizados, con el propósito de proporcionar una mayor confianza entre los usuarios sobre las predicciones e imágenes proporcionadas.

Además, la dotación de un aspecto más visual a la aplicación mejoraría la experiencia de usuario.

# Apéndice A

## Manual de Instalación

### A.1. Clasificación de imágenes

1. Abrir “Terminal Emulator” en “Applications”

2. Navegar hasta el Escritorio:

- cd Desktop

3. Ejecutar el siguiente comando:

- conda install -file requirements.txt

```
(serverDCB) davidcastillo@icaigpuserver:~$ cd Desktop
(serverDCB) davidcastillo@icaigpuserver:~/Desktop$ conda install --file requirements.txt
Collecting package metadata (current_repodata.json): done
Solving environment: done

==> WARNING: A newer version of conda exists. <==
  current version: 4.11.0
  latest version: 4.13.0

Please update conda by running

  $ conda update -n base -c defaults conda

# All requested packages already installed.
```

Figura 84: Instalación de librerías necesarias para la clasificación de imágenes

En el caso de la figura mostrada, las librerías ya están instaladas. En otro caso, empezarían a descargarse e instalarse.

\* El archivo requirements.txt debe encontrarse en el Escritorio

### A.2. Recuperación de imágenes basada en contenido

Las librerías que puedan necesitarse en la ejecución del método de recuperación de imágenes basada en contenido vienen recogidas en las otras partes.

### A.3. Aplicación Web

1. Abrir Terminal
2. Navegar hasta la carpeta donde tengamos el archivo “requirements.txt”
3. Según el entorno que tengamos, ejecutar uno de los siguientes comandos:

```
pip install -r requirements.txt
```

```
C:\Users\David\OneDrive\Desktop>pip install -r requirements.txt
Requirement already satisfied: numpy==1.22.3 in c:\users\david\appdata\local\programs\python\python39\lib\site-packages
(from -r requirements.txt (line 1)) (1.22.3)
Requirement already satisfied: Pillow==9.1.1 in c:\users\david\appdata\local\programs\python\python39\lib\site-packages
(from -r requirements.txt (line 2)) (9.1.1)
```

Figura 85: Instalación de librerías necesarias para la aplicación web

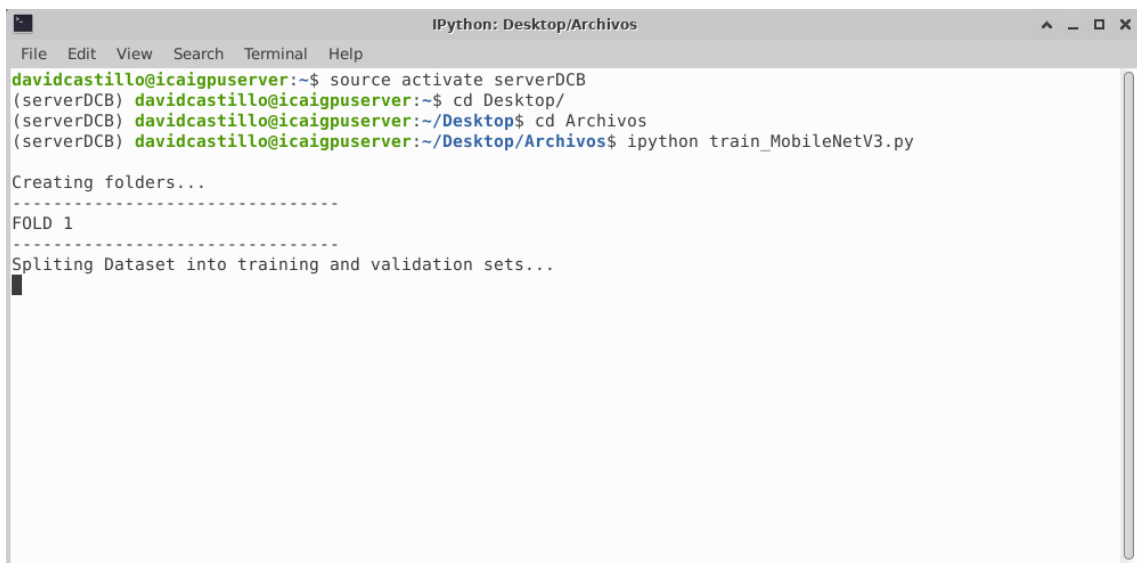
En el caso de la figura mostrada, las librerías ya están instaladas. En otro caso, empezarían a descargarse e instalarse.

## Apéndice B

### Manual de Ejecución

#### B.1. Clasificación de imágenes

1. Abrir “Terminal Emulator” en “Applications”
2. Ejecutar los siguientes comandos:
  - source activate serverDCB (entorno con los módulos necesarios ya instalados)
  - cd Desktop
  - cd Archivos
3. Training: En función de que arquitectura queramos utilizar para el entreno, ejecutar uno de estos 2 comandos:
  - ipython train\_DenseNet121.py
  - ipython train\_MobileNetV3.py



```
IPython: Desktop/Archivos
File Edit View Search Terminal Help
davidcastillo@icaigpuserver:~$ source activate serverDCB
(serverDCB) davidcastillo@icaigpuserver:~$ cd Desktop/
(serverDCB) davidcastillo@icaigpuserver:~/Desktop$ cd Archivos
(serverDCB) davidcastillo@icaigpuserver:~/Desktop/Archivos$ ipython train_MobileNetV3.py

Creating folders...
-----
FOLD 1
-----
Splitting Dataset into training and validation sets...
█
```

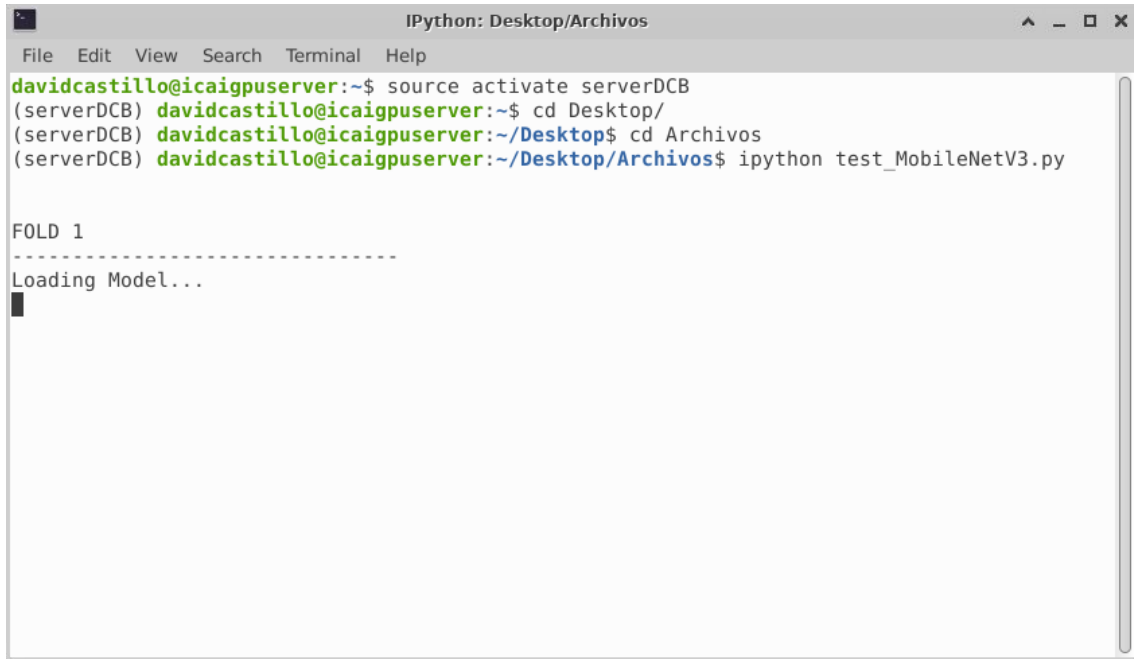
Figura 86: Ejecución de la parte de entrenamiento de la clasificación de imágenes

Los modelos y resultados de esta fase se guardarán en una nueva carpeta creada en el path `/home/davidcastillo/Desktop/Ejecución<ArquitecturaUtilizada>/Training`

4. Testing: En función de que arquitectura hayamos utilizado en el entreno, ejecutar uno de estos 2 comandos:

- ipython test\_DenseNet121.py

- ipython test\_MobileNetV3.py



```
IPython: Desktop/Archivos
File Edit View Search Terminal Help
davidcastillo@icaigpuserver:~$ source activate serverDCB
(serverDCB) davidcastillo@icaigpuserver:~$ cd Desktop/
(serverDCB) davidcastillo@icaigpuserver:~/Desktop$ cd Archivos
(serverDCB) davidcastillo@icaigpuserver:~/Desktop/Archivos$ ipython test_MobileNetV3.py

FOLD 1
-----
Loading Model...
█
```

Figura 87: Ejecución de la parte de testing de la clasificación de imágenes

Las gráficas de las estadísticas de entreno, así como las matrices de confusión generadas en esta fase se guardarán en una nueva carpeta creada en el path /home/davidcastillo/Desktop/Ejecución

## B.2. Recuperación de imágenes basada en contenido

1. Abrir “Terminal Emulator” en “Applications”

2. Ejecutar el siguiente comando:

- source activate serverDCB (entorno con los módulos necesarios ya instalados)

3. Ejecutar el siguiente comando para abrir un cuaderno de jupyter y abrir el archivo “CBIR.ipynb”:

- jupyter notebook

```

davidcastillo@icaigpuserver: ~
File Edit View Search Terminal Help
davidcastillo@icaigpuserver:~$ source activate serverDCB
(serverDCB) davidcastillo@icaigpuserver:~$ jupyter notebook
[I 17:54:34.071 NotebookApp] Serving notebooks from local directory: /home/david
castillo
[I 17:54:34.071 NotebookApp] Jupyter Notebook 6.4.8 is running at:
[I 17:54:34.071 NotebookApp] http://localhost:8888/?token=13f8492c7e32a0467cfe84
dbd7729f15edbd2776a239968c
[I 17:54:34.071 NotebookApp] or http://127.0.0.1:8888/?token=13f8492c7e32a0467c
fe84dbd7729f15edbd2776a239968c
[I 17:54:34.072 NotebookApp] Use Control-C to stop this server and shut down all
kernels (twice to skip confirmation).
[C 17:54:34.179 NotebookApp]

To access the notebook, open this file in a browser:
file:///home/davidcastillo/.local/share/jupyter/runtime/nbserver-2498737
-open.html
Or copy and paste one of these URLs:
http://localhost:8888/?token=13f8492c7e32a0467cfe84dbd7729f15edbd2776a23
9968c
or http://127.0.0.1:8888/?token=13f8492c7e32a0467cfe84dbd7729f15edbd2776a23
9968c

```

Figura 88: Ejecución de la parte de recuperación de imágenes basada en contenido - comando “jupyter notebook”



Figura 89: Ejecución de la parte de recuperación de imágenes basada en contenido - Cuaderno Jupyter

### B.3. Aplicación Web

1. Abrir Terminal
2. Navegar hasta el directorio del proyecto donde se encuentre el archivo “manage.py”
3. Ejecutar el siguiente comando:
  - python manage.py runserver
4. La página web se encontrará desplegada localmente en la siguiente ruta:
  - http://127.0.0.1:8000/

```
PS D:\UMA\TFG\Aplicacion-Web\skin-diseases\SistemaWeb> python manage.py runserver
Watching for file changes with StatReloader
Performing system checks...

System check identified no issues (0 silenced).
June 21, 2022 - 17:40:56
Django version 3.2.5, using settings 'SistemaWeb.settings'
Starting development server at http://127.0.0.1:8000/
Quit the server with CTRL-BREAK.
█
```

Figura 90: Ejecución de la parte de la aplicación web

## Apéndice C

### Manual de Usuario

Este manual de usuario contiene todas las funcionalidades del sistema web implementado como soporte a la parte de clasificación de imágenes y CBIR del proyecto.

#### C.1. Registro

Para registrar un nuevo usuario, pulsaremos en el botón “Registrarse”, y tras esto, accedemos a la pantalla de Registro de la aplicación.



Registro

Nombre:

Email:

Contraseña:

Confirmar contraseña:

Figura 91: Registro

A continuación, introduciremos en nombre de usuario que deseemos, nuestro email, la contraseña y una confirmación de la contraseña en los campos “Nombre”, “Email”, “Contraseña” y “Confirmar contraseña” respectivamente. Una vez introducidos los datos, pulsaremos “Crear cuenta”. Si deseamos cancelar el registro, pulsaremos “Cancelar registro”.

Una vez pulsado el botón “Crear cuenta”, el sistema nos mostrará un mensaje por el cual la aplicación nos comunica que debemos confirmar el registro a través del email que hemos introducido.

Por favor, confirme el registro a través de la cuenta de correo electrónico introducida.

Figura 92: Mensaje de confirmación de registro

La estructura del correo que nos llegará es la siguiente:

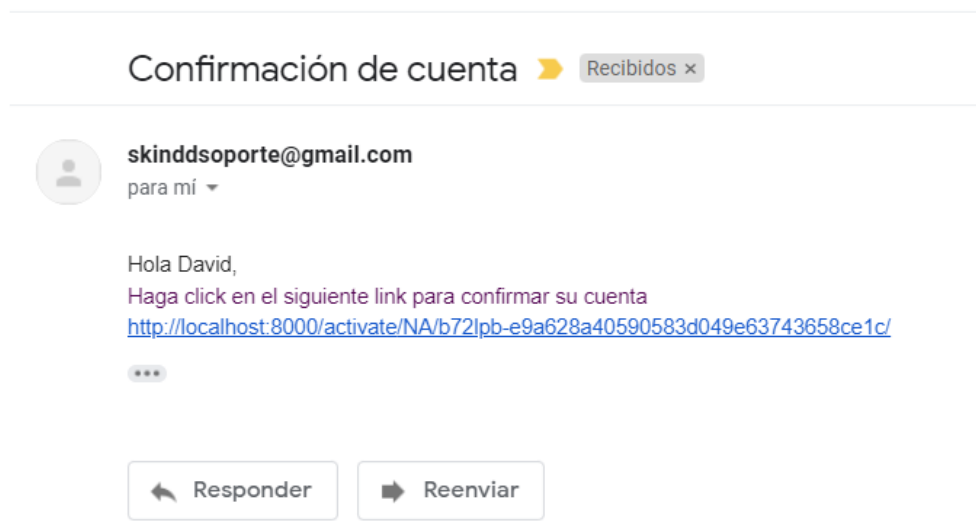


Figura 93: Email de confirmación de registro

Una vez pulsado el enlace, accederemos a la siguiente pantalla:

Gracias por confirmar su registro. Ahora podrá iniciar sesión.

[Ir a la aplicación](#)

Figura 94: Confirmación de registro

Esto nos confirma el registro.

## C.2. Inicio de Sesión

Un usuario puede acceder a la aplicación como administrador, de poseer las credenciales, o como usuario normal o médico.



El formulario de inicio de sesión tiene un fondo de color verde claro. En la parte superior, el título "Inicio de Sesión" está centrado en un color negro. Debajo del título, hay dos campos de entrada de texto blancos con bordes grises. El primer campo está etiquetado como "Usuario:" y el segundo como "Contraseña:". Debajo de los campos, hay dos botones rectangulares: uno azul con el texto "Iniciar Sesión" en blanco y otro verde con el texto "Registrarse" en blanco.

Figura 95: Inicio de Sesión

Para realizar el inicio de sesión, introduciremos nuestro nombre de usuario y contraseña en el formulario mostrado en la figura, en los campos "Usuario" y "Contraseña" respectivamente. Tras introducir las credenciales, pulsaremos en "Inicio de Sesión" para proceder a entrar en la aplicación.

### C.3. Panel de Administrador

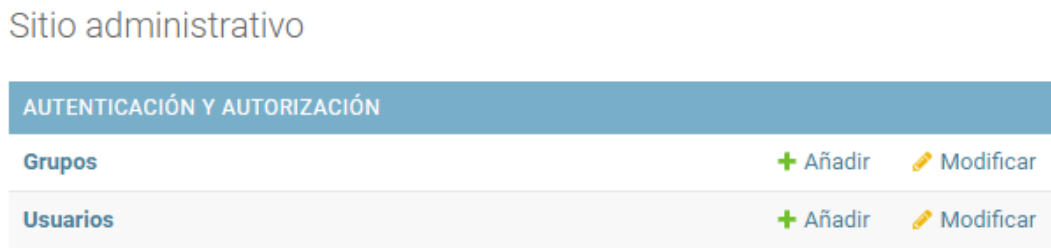


Figura 96: Panel de administrador

En el caso de acceder como administrador, el usuario accederá al panel de administrador, por el cual podrá manejar los datos utilizados por la aplicación. En este caso, los usuarios.

### C.4. Pantalla Principal

Un usuario puede acceder a la aplicación como médico. En este caso, la pantalla principal mostrada es la siguiente:



Figura 97: Pantalla principal de la aplicación

## C.5. Barra de Navegación

En toda la aplicación podemos visualizar una barra de navegación “navbar”, por la cual podemos acceder a las distintas funcionalidades de la aplicación.

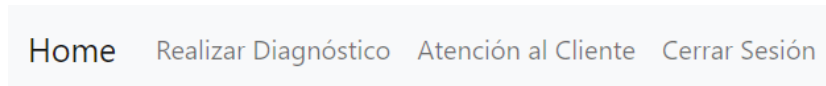


Figura 98: Barra de navegación

La barra de navegación se compone de cuatro pestañas:

- Home: Navegación a la pantalla principal.
- Realizar Diagnóstico: Navegación a la pantalla de diagnóstico.
- Atención al Cliente: Navegación a la pantalla de atención al cliente.
- Cerrar Sesión: Cierra la sesión del usuario y lo devuelve a la pantalla de inicio de sesión.

## C.6. Diagnóstico

Si pulsamos en la pantalla principal “Comenzar Diagnóstico” o en la barra de navegación “Realizar Diagnóstico”, accederemos a la pantalla dónde comenzaremos a realizar nuestro diagnóstico.

### Realizar diagnóstico

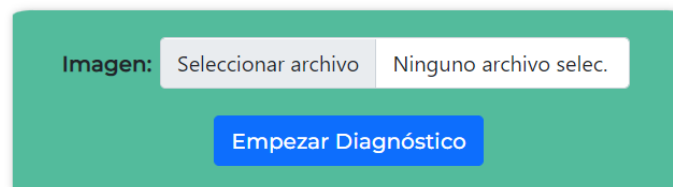


Figura 99: Pantalla de Realizar Diagnóstico

Para comenzar un diagnóstico, seleccionaremos un archivo de imagen, aquella de la que queramos un diagnóstico. Una vez seleccionada, pulsaremos “Empezar Diagnóstico”. Veamos un ejemplo en el cual tratamos de predecir una imagen que en la realidad es una lesión vascular:

## Resultado del diagnóstico



### Enfermedad:

vasc -> Lesiones vasculares

Probabilidad de la enfermedad: 99,95%

Figura 100: Diagnóstico

Como se puede ver en la figura, el sistema web nos proporciona la imagen de entrada que hemos subido, junto a la predicción de la enfermedad a la que pertenece según el modelo de aprendizaje profundo. Además, el sistema web nos proporciona la probabilidad con la que el modelo asegura que la imagen pertenece a dicha enfermedad.

A continuación, el sistema web nos proporciona el conjunto de imágenes parecidas a la imagen de entrada, utilizando el método implementado de recuperación de imágenes basada en contenido.



Figura 101: Conjunto de imágenes devueltas por CBIR

Al final de la página se nos muestra un botón “Realizar un nuevo diagnóstico” para abordar un nuevo diagnóstico.

## C.7. Atención al Cliente

Si pulsamos en la barra de navegación “Atención al Cliente”, accederemos a la pantalla donde podremos realizar una consulta. En esta pestaña, debemos escribir el asunto de la consulta, así como el contenido de la misma en los campos “Asunto” y “Contenido” respectivamente.

### Atención al cliente

Escriba el asunto y el contenido de la consulta:

**Asunto:**

**Contenido:**

Hola, me gustaría saber qué tipos de imágenes puedo subir a la aplicación en lo que a formato se refiere. Un saludo!

Figura 102: Atención al cliente - Consulta

Una vez rellenados ambos campos, pulsamos en “Enviar consulta”. El correo se mandará a un email donde una persona externa a la aplicación responderá a las consultas de los usuarios. La respuesta será enviada al email del usuario que realizó la consulta.

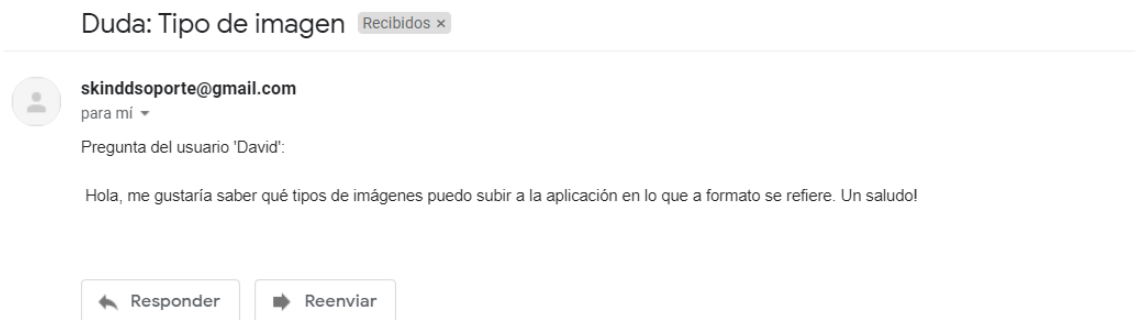


Figura 103: Atención al cliente - Correo

## **C.8. Cerrar Sesión**

En la barra de navegación, pulsamos “Cerrar Sesión” para cerrar sesión y volver a la pantalla de Inicio de Sesión



## Apéndice D

### Glosario

A continuación se expone la terminología [29] presente en la memoria:

- **Arteria:** Vaso sanguíneo que lleva la sangre del corazón a los tejidos y los órganos del cuerpo.
- **Arteriola:** Arteria pequeña.
- **Biopsia:** Extracción de tejido de alguna parte del cuerpo para examinar en el mismo la presencia de una enfermedad.
- **Capilar:** El tipo más pequeño de vaso sanguíneo. Un capilar conecta una arteriola (arteria pequeña) con una vénula (vena pequeña) para formar una red de vasos sanguíneos en casi todas las partes del cuerpo. La pared de un capilar es delgada y porosa, y los capilares participan en el intercambio de los líquidos y los gases entre los tejidos y la sangre.
- **Carcinoma:** Es un tipo de cáncer que comienza en las células que forman la piel o el tejido que recubre los órganos, como el hígado o los riñones. Al igual que otros tipos de cáncer, los carcinomas son células anormales que se dividen sin control. Pueden propagarse a otras partes del cuerpo, pero no siempre lo hacen.
- **Carcinoma de células escamosas:** Cáncer que empieza en las células escamosas (células delgadas y planas que se parecen a las escamas de los peces) que se encuentran en el tejido de la superficie de la piel, el revestimiento de los órganos huecos y de las vías respiratorias, y el tubo digestivo. Es la segunda forma más común de cáncer de piel.
- **Descamación:** La descamación es el desprendimiento y consecuente pérdida de la capa más superficial de la piel.
- **Epidermis:** Es la capa externa de la piel.
- **Epitelio:** Capas de células que recubren los órganos huecos y las glándulas.
- **Fibrosis:** Crecimiento del tejido fibroso o conjuntivo.

- **Histopatología:** Rama de la Patología que trata el diagnóstico de enfermedades a través del estudio de los tejidos.
- **Lentigo:** Mancha benigna de la piel, muy frecuente, de color marrón a negro, de entre 1 a 15 mm.
- **Lesión cutánea:** Zona de la piel que es distinta o anormal con respecto al resto.
- **Melanina:** Sustancia que da su color a la piel y los ojos, y ayuda a protegerlos del daño de la luz ultravioleta.
- **Melanocitos:** Célula de la piel y los ojos que produce y contiene un pigmento llamado melanina.
- **Metástasis:** Diseminación de células cancerosas desde el lugar donde se formó el cáncer por primera vez hasta otra parte del cuerpo. La metástasis se presenta cuando las células cancerosas se desprenden del tumor original (primario), viajan por el cuerpo a través de la sangre o el sistema linfático y forman un tumor nuevo en otros órganos o tejidos. El nuevo tumor metastásico es el mismo tipo de cáncer que el tumor primario.
- **Morfología:** Parte de la biología que trata de la forma de los seres orgánicos y de las modificaciones o transformaciones que experimenta.
- **Neoplasia:** Es el crecimiento anormal y descontrolado de células o tejidos en el cuerpo.
- **Pigmentación:** Coloración (oscuro).
- **Proliferación celular:** Aumento del número de células.
- **Queratosis:** Es un crecimiento de queratina en la piel o en las membranas mucosas que se deriva de los queratinocitos, el tipo de célula prominente en la epidermis.
- **Queratina:** Proteína que ayudan a formar los tejidos del cabello, las uñas y la capa externa de la piel.
- **Regresión:** Disminución del tamaño de un tumor o del alcance del cáncer en el cuerpo.
- **Traumatismo:** Son lesiones o heridas físicas que sufre el paciente en sus órganos y tejidos.

- **Vaso sanguíneo**: Tubo a través del cual la sangre circula por el cuerpo. Los vasos sanguíneos forman una red de arterias, arteriolas, capilares, vénulas y venas.
- **Vena**: Vaso sanguíneo que transporta la sangre desde los órganos y tejidos del cuerpo hasta el corazón.
- **Vénula**: Vena pequeña.



## Referencias

- [1] *Cancer*. en. Section: conditions. Nov. de 2017. URL: <https://www.nhs.uk/conditions/cancer/> (visitado 04-06-2022).
- [2] *La Sociedad Americana Contra El Cancer | Información sobre cáncer de seno, colon, pulmón, piel, y otros*. es. URL: <https://www.cancer.org/es> (visitado 04-06-2022).
- [3] *ISIC Challenge*. URL: <https://challenge.isic-archive.com/> (visitado 04-06-2022).
- [4] *Definición de dermis - Diccionario de cáncer del NCI - NCI*. es. nciAppModulePage. Archive Location: nciglobal,ncienterprise. Feb. de 2011. URL: <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/dermis> (visitado 04-06-2022).
- [5] *Cáncer de piel tipo melanoma*. es. URL: <https://www.cancer.org/es/cancer/cancer-de-piel-tipo-melanoma.html> (visitado 04-06-2022).
- [6] *Cáncer de piel | Blog de CIENCIA y BIOTECNOLOGIA - María Iranzo*. es. Jun. de 2018. URL: <https://www.mariairanzobiotec.com/cancer-de-piel/> (visitado 04-06-2022).
- [7] *Cáncer de piel de células basales y de células escamosas*. es. URL: <https://www.cancer.org/es/cancer/cancer-de-piel-de-celulas-basales-y-escamosas.html> (visitado 04-06-2022).
- [8] ▷ *Industria 4.0, qué es la cuarta revolución industrial | ABAMobile*. URL: <https://abamobile.com/web/que-es-industria-4-0-cuarta-revolucion-industrial/> (visitado 01-03-2022).
- [9] *IV REVOLUCION INDUSTRIAL, INDUSTRIA 4.0 Y ECONOMIA CIRCULAR | Hacia un mundo sostenible*. URL: <https://www.prevencionintegral.com/comunidad/blog/hacia-mundo-sostenible/2017/12/04/iv-revolucion-industrial-industria-40-economia-circular> (visitado 07-03-2022).
- [10] *Aplicaciones de la inteligencia artificial en las empresas | ABAMobile*. URL: <https://abamobile.com/web/aplicaciones-de-la-inteligencia-artificial-en-las-empresas/> (visitado 01-03-2022).

- [11] *Redes Neuronales artificiales: Qué son y cómo se entrenan* | [site:name]. es-ES. Sep. de 2019. URL: <https://www.xeridia.com/blog/redes-neuronales-artificiales-que-son-y-como-se-entrenan-parte-i> (visitado 04-06-2022).
- [12] Sabina Pokhrel. *Beginners Guide to Understanding Convolutional Neural Networks*. en. Sep. de 2019. URL: <https://towardsdatascience.com/beginners-guide-to-understanding-convolutional-neural-networks-ae9ed58bb17d> (visitado 05-06-2022).
- [13] Arden Dertat. *Applied Deep Learning - Part 4: Convolutional Neural Networks*. en. Nov. de 2017. URL: <https://towardsdatascience.com/applied-deep-learning-part-4-convolutional-neural-networks-584bc134c1e2> (visitado 05-06-2022).
- [14] Rubiales Alberto. *Explicación Funciones de activación y práctica con Python*. en. Oct. de 2020. URL: <https://rubialesalberto.medium.com/explicaci%C3%B3n-funciones-de-activaci%C3%B3n-y-pr%C3%A1ctica-con-python-5807085c6ed3> (visitado 05-06-2022).
- [15] Nabi Nabiyev y Saber Malekzadeh. *Anomalous Sound Localization Estimation*. Feb. de 2021. DOI: 10.13140/RG.2.2.25949.95201.
- [16] Safa Hamreras y col. "Content based image retrieval by ensembles of deep learning object classifiers". en. En: *Integrated Computer-Aided Engineering* 27.3 (ene. de 2020). Publisher: IOS Press, págs. 317-331. ISSN: 1069-2509. DOI: 10.3233/ICA-200625. URL: <https://content.iospress.com/articles/integrated-computer-aided-engineering/ica200625> (visitado 29-05-2022).
- [17] Publicado por Por Strapp Inc. *¿Qué es una Aplicación Web? – Desarrollo de Software y Consultoría Tecnológica*. es. URL: <https://www.strappinc.com/blog/strapp-datos/que-es-una-aplicacion-web> (visitado 04-06-2022).
- [18] *Introducción al lado servidor - Aprende sobre desarrollo web* | MDN. es. URL: [https://developer.mozilla.org/es/docs/Learn/Server-side/First\\_steps/Introduction](https://developer.mozilla.org/es/docs/Learn/Server-side/First_steps/Introduction) (visitado 04-06-2022).
- [19] *Frameworks Web de lado servidor - Aprende sobre desarrollo web* | MDN. es. URL: [https://developer.mozilla.org/es/docs/Learn/Server-side/First\\_steps/Web\\_frameworks](https://developer.mozilla.org/es/docs/Learn/Server-side/First_steps/Web_frameworks) (visitado 04-06-2022).
- [20] *Qué es Python: Características, evolución y futuro*. es. Sep. de 2019. URL: <https://openwebinars.net/blog/que-es-python/> (visitado 30-05-2022).

- [21] Jonathan Quiza. *Deep Learning con Pytorch*. en. Ago. de 2018. URL: <https://medium.com/datos-y-ciencia/deep-learning-con-pytorch-672469c637f4> (visitado 30-05-2022).
- [22] *Introducción a Django - Aprende sobre desarrollo web | MDN*. es. URL: <https://developer.mozilla.org/es/docs/Learn/Server-side/Django/Introduction> (visitado 30-05-2022).
- [23] *SQLite: La Base de Datos Embebida*. es. URL: <https://sg.com.mx/revista/17/sqlite-la-base-datos-embebida> (visitado 11-06-2022).
- [24] Philipp Tschandl, Cliff Rosendahl y Harald Kittler. “The HAM10000 dataset, a large collection of multi-source dermatoscopic images of common pigmented skin lesions”. en. En: *Scientific Data* 5.1 (ago. de 2018). Number: 1 Publisher: Nature Publishing Group, pág. 180161. ISSN: 2052-4463. DOI: 10.1038/sdata.2018.161. URL: <https://www.nature.com/articles/sdata2018161> (visitado 16-05-2022).
- [25] *DenseNet Architecture Explained with PyTorch Implementation from TorchVision*. en. Ago. de 2020. URL: <https://amaarora.github.io/2020/08/02/densenets.html> (visitado 22-06-2022).
- [26] Andrew Howard y col. *Searching for MobileNetV3*. Number: arXiv:1905.02244 arXiv:1905.02244 [cs] version: 1. Mayo de 2019. URL: <http://arxiv.org/abs/1905.02244> (visitado 22-06-2022).
- [27] *Validación cruzada*. es. Page Version ID: 124047241. Mar. de 2020. URL: [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Validaci%C3%B3n\\_cruzada&oldid=124047241](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Validaci%C3%B3n_cruzada&oldid=124047241) (visitado 23-06-2022).
- [28] *APRENDIZAJE AUTOMÁTICO DE VALIDACIÓN CRUZADA: K-FOLD - BLOG*. es-ES. URL: <https://es.quish.tv/cross-validation-machine-learning> (visitado 24-06-2022).
- [29] *Diccionario de cáncer del NCI - NCI*. es. nciAppModulePage. Archive Location: nciglobal,ncienterprise. Feb. de 2011. URL: <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/> (visitado 15-05-2022).



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

| [uma.es](http://uma.es)

E.T.S de Ingeniería Informática  
Bulevar Louis Pasteur, 35  
Campus de Teatinos  
29071 Málaga

E.T.S. DE INGENIERÍA INFORMÁTICA