



IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO COMPUTACIONAL DE RECUPERACIÓN
DE IMÁGENES BASADAS EN CONTENIDO PARA LA IDENTIFICACIÓN FACIAL
DE PERROS Y GATOS.

DIANA PAOLA JARA PARDO - 67000023
MARÍA ALEJANDRA MERCHÁN SÁNCHEZ - 67000014

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN
MODALIDAD TRABAJO DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA
BOGOTÁ D.C.
2021

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO COMPUTACIONAL DE RECUPERACIÓN
DE IMÁGENES BASADAS EN CONTENIDO PARA LA IDENTIFICACIÓN FACIAL
DE PERROS Y GATOS.

DIANA PAOLA JARA PARDO - 67000023
MARÍA ALEJANDRA MERCHÁN SÁNCHEZ - 67000014

ESTE TRABAJO DE GRADO ES PRESENTADO COMO REQUISITO PARA
OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN

ASESOR:
JUAN CARLOS BARRERO CALIXTO

ALTERNATIVA:
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN
MODALIDAD TRABAJO DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA
BOGOTÁ D.C.
2021



Atribución-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0)

This is a human-readable summary of (and not a substitute for) the [license](#). [Advertencia](#).

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia](#).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es>

Nota de aceptación

Aprobado por el comité de grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Facultad de ingeniería y la Universidad Católica de Colombia para optar al título ingeniero de sistemas

Profesor 1
Jurado 1

Profesor 2
Jurado 2

Juan Carlos Barrero Calixto
Tutor

Roger Enrique Guzmán Avendaño, Msc.
Cotutor

BOGOTÁ D.C, mayo 17 de 2021

AGRADECIMIENTOS

Principalmente agradecemos a Dios por guiarnos y darnos fortaleza, entendimiento y paciencia durante todo este proceso.

Agradecemos profundamente a nuestros padres y hermanas por su ayuda constante, acompañamiento, apoyo y guía, por ser nuestra mayor motivación durante nuestro proceso formativo.

Agradecemos de manera especial a nuestro cotutor y amigo Roger Enrique Guzmán, quién nos brindó sus conocimientos a lo largo de nuestra carrera, quién nos apoyó y guió en la construcción de este proyecto.

Gracias a nuestro tutor Juan Barrero Calixto, quien nos brindó su ayuda, acompañamiento y conocimientos para la finalización de este proyecto.

A cada una de las personas que sumaron su apoyo en la construcción del conjunto de imágenes.

A la Universidad Católica de Colombia, a nuestros profesores y compañeros que fueron parte fundamental para la construcción de nuestra vida profesional.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	12
INTRODUCCIÓN	14
1. GENERALIDADES.....	16
1.1. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.....	16
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.2.1. Descripción del problema.....	17
1.2.2. Formulación del problema.....	19
1.3. OBJETIVOS	20
1.3.1. Objetivo general	20
1.3.2. Objetivos específicos	20
1.4. JUSTIFICACIÓN	21
1.5. DELIMITACIONES.....	23
1.5.1. Limitaciones	23
1.5.2. Alcance.....	23
2. MARCO DE REFERENCIA.....	24
2.1. MARCO CONCEPTUAL	24
2.1.1. Conjunto de datos	24
2.1.2. Reconocimiento facial	25
2.1.3. Extracción de características	26
2.1.4. Medidas de similaridad	26
2.1.5. Preprocesamiento de imágenes	27
2.1.6. Imagen digital	27
2.1.7. Formato de imagen	28
2.1.8. Caja delimitadora	29
2.1.9. Puntos de referencia	30
2.2. MARCO TEÓRICO	31
2.2.1. Recuperación de imágenes basadas en contenido.....	31
2.2.2. Eigenfaces.....	32
2.2.3. LBPH	32
2.2.4. Análisis de componentes principales	33
2.2.5. Distancia de Manhattan	33

2.2.6.	Distancia Euclidiana.....	34
2.3.	ESTADO DEL ARTE	35
3.	METODOLOGÍA	39
3.1.	Fase Offline	39
3.2.	Fase Online	40
4.	DISEÑO METODOLÓGICO	42
4.1.	Conjunto de imágenes	42
4.2.	Preprocesamiento	45
4.3.	Extracción de características	46
4.3.1.	Eigenfaces.....	46
4.3.2.	LBPH	50
4.4.	Base de datos de imágenes de características	54
4.5.	Medidas de similaridad	56
4.6.	Ranking de imágenes recuperadas	56
4.7.	Métricas de desempeño	57
5.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	60
5.1.	Construcción conjunto de datos.....	60
5.2.	Diseño de la estrategia metodológica	62
5.3.	Desarrollo del modelo computacional	64
5.4.	Evaluación del rendimiento del modelo computacional	75
6.	CONCLUSIONES	78
7.	RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	79
8.	BIBLIOGRAFÍA	80
9.	ANEXOS	83

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Estadísticas perros y gatos en hogares colombianos	18
Ilustración 2 Uso de internet y redes sociales en Colombia	22
Ilustración 3 Conjunto de datos de imágenes	24
Ilustración 4 Reconocimiento facial	25
Ilustración 5 Extracción de características.....	26
Ilustración 6 Imagen digital	28
Ilustración 7 Formato de imagen	29
Ilustración 8 Caja delimitadora.....	30
Ilustración 9 Puntos de referencia	31
Ilustración 10 Eigenfaces en mascotas	32
Ilustración 11 Metodología Recuperación de imágenes	39
Ilustración 12 Ejemplo de imágenes solicitadas	42
Ilustración 13 Estructura del conjunto de imágenes	43
Ilustración 14 Ejemplo de carpetas por cada sujeto	44
Ilustración 15 Ejemplos de imágenes recolectadas.....	44
Ilustración 16 Imágenes resultado del preprocesamiento	46
Ilustración 17 Representación de una imagen en matriz.....	47
Ilustración 18 Representación de los vectores de M imágenes en una matriz.	47
Ilustración 19 Imagen promedio de las caras	48
Ilustración 20 Ejemplo de tres componentes principales.....	50
Ilustración 21 Imagen original y en escala de grises	51
Ilustración 22 Representación de matriz de píxeles	51
Ilustración 23 Valores binarios en matriz de píxeles	52
Ilustración 24 Valores decimales en matriz de píxeles.....	52
Ilustración 25 Resultado LBP.....	53
Ilustración 26 Imagen LBP con grillas.....	53
Ilustración 27 Concatenación de histogramas	54
Ilustración 28 Ejemplo de resultados de Eigenfaces	54
Ilustración 29 Ejemplo de resultados de LBP	55
Ilustración 30 Archivo histogramas de características.....	55
Ilustración 31 Representación de la estructura de medidas de similitud	56
Ilustración 32 Ranking de imágenes recuperadas.....	57
Ilustración 33 Resultado construcción del conjunto de imágenes fase offline	60
Ilustración 34 Resultado construcción del conjunto de imágenes fase online	61
Ilustración 35 Resultados del diseño de la estrategia metodológica.....	62
Ilustración 36 Diagrama de flujo del preprocesamiento.....	65
Ilustración 37 Diagrama de flujo 1 - LBPH.....	67
Ilustración 38 Diagrama de flujo 2 - LBPH.....	68
Ilustración 39 Diagrama de flujo - Eigenfaces	70
Ilustración 40 Diagrama de flujo – Medidas de similitud	72
Ilustración 41 Diagrama de flujo – Ranking de imágenes	74
Ilustración 42 Mean Average Precision – Eigenfaces Gatos.....	75
Ilustración 43 Mean Average Precision - Perros	76
Ilustración 44 Mean Average Precision –LBPH Gatos	76

Ilustración 45 Mean Average Precision –LBPH Gatos 77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Resultados de Eigenfaces aplicado al conjunto de imágenes de gatos	58
Tabla 2 Resultados de Eigenfaces aplicado al conjunto de imágenes de perros	59
Tabla 3 Resultados de LBPH aplicado al conjunto de imágenes de gatos	59
Tabla 4 Resultados de LBPH aplicado al conjunto de imágenes de perros	59

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Distancia de Manhattan	34
Ecuación 2 Distancia Euclidiana	34
Ecuación 3 Imagen promedio	48
Ecuación 4 Nuevo conjunto de vectores	48
Ecuación 5 Matriz de imágenes	49
Ecuación 6 Matriz de covarianza	49
Ecuación 7 Matriz de covarianza reducida	49
Ecuación 8 Cálculo de eigenvalores y eigenvectores – Paso 1	49
Ecuación 9 Cálculo de eigenvalores y eigenvectores – Paso 2	49
Ecuación 10 Eigenvalores y eigenvectores	50
Ecuación 11 Vector de características	50
Ecuación 12 Combinación lineal	50

RESUMEN

Este proyecto presenta el desarrollo de un experimento de recuperación de imágenes basadas en contenido (CBIR, por sus siglas en inglés), utilizando imágenes de mascotas, con el fin de apoyar el proceso de búsqueda manual de perros y gatos perdidos en bases de datos que contienen una gran cantidad de imágenes, como se observa actualmente en redes sociales y páginas especializadas en la recopilación de imágenes de estas mascotas. La automatización de estas búsquedas angustiantes y dispendiosas permite que los dueños de los animales de compañía, ahorren tiempo y dinero, además de tener mayor alcance utilizando una imagen de consulta en un sistema de recuperación. El uso de técnicas de reconocimiento facial como Eigenfaces y LBPH junto con medidas de similitud como la distancia de Manhattan y la distancia Euclidiana dentro del experimento realizado, permiten la obtención de un ranking de imágenes recuperadas las cuales pueden ser relevantes para la consulta de un usuario.

Para el desarrollo de este experimento se plantea una metodología que está sustentada en el estado del arte y que cuenta con dos fases: offline y online; en la fase offline se creó un conjunto de imágenes de perros y gatos que posteriormente fueron procesadas a través de técnicas de detección facial, después se realizó la extracción de características de las imágenes usando Eigenfaces y LBPH para la construcción de la base de datos de imágenes de características. En la fase online, se estableció un conjunto de imágenes de consulta que fueron procesadas para posteriormente calcular el ranking de similitud con las imágenes de la etapa offline, mostrando como resultado las imágenes con mayor aproximación a las características de la consultada.

Por último, en la evaluación del experimento, se reflejan bajos resultados debido a la calidad y cantidad de las imágenes recolectadas. Aun así, se evidenció que la mejor técnica de reconocimiento facial es LBPH en conjunto con la medida de similitud, distancia de Manhattan, donde demuestra obtener una precisión del 20.99%, un valor de recall del 13.39% y un valor para F1-score del 16.08%.

Palabras clave: recuperación de imágenes, reconocimiento facial, eigenfaces, LBPH, medidas de similitud

ABSTRACT

This project presents the development of a content-based image retrieval (CBIR) experiment using pet images to support the process of manually searching for lost dogs and cats in databases containing a large number of images, as currently observed in social networks and pages specialized in the collection of images of these pets. The automation of these distressing and time-consuming searches allows pet owners to save time and money, in addition to having greater reach by using a query image in a retrieval system. The use of facial recognition techniques such as Eigenfaces and LBPH together with similarity measures such as Manhattan distance and Euclidean distance within the experiment, allow obtaining a ranking of retrieved images that may be relevant to a user's query.

For the development of this experiment, a methodology is proposed that is supported by the state of the art and has two phases: offline and online; in the offline phase a set of images of dogs and cats were created and then processed through face detection techniques, then the extraction of features from the images was performed using Eigenfaces and LBPH for the construction of the database of feature images. In the online phase, a set of query images was established and processed to subsequently calculate the similarity ranking with the images from the offline stage, showing as a result the images with the closest approximation to the features of the queried one.

Finally, in the evaluation of the experiment, low results are reflected due to the quality and quantity of the images collected. Even so, it was evidenced that the best face recognition technique is LBPH in combination with the similarity measure, Manhattan distance, where it shows an accuracy of 20.99%, a recall value of 13.39%, and a value for F1-score of 16.08%.

Keywords: image retrieval, facial recognition, eigenfaces, LBPH, similarity measures

INTRODUCCIÓN

El perro ha tenido un origen evolutivo desde su antecesor el lobo que se remonta hace 100.000 años atrás. ¹ Probablemente el primer animal en ser domesticado fue el perro gracias a su capacidad de adaptación y de convivencia con las personas al momento de retirarlo de su manada, generando una gran influencia positiva en la salud y bienestar de los seres humanos. Por otro lado, la relación de los humanos con los gatos se cree empezó con los egipcios, quienes los adoran convirtiéndolos incluso en una especie divina para de esta manera inmortalizarse a través de arte, música y literatura. ²

Hoy en día las mascotas como los perros y los gatos han sido de vital importancia para los seres humanos, ya que estos proporcionan un acompañamiento en la mayor parte de hogares, lo que lleva a considerarlos como un miembro más de la familia. Diversas investigaciones indican que, los animales de compañía brindan múltiples beneficios en la vida de los seres humanos como son la salud, la interacción con otras personas, el desarrollo infantil, el crecimiento de los espacios afectivos, entre otros. Todos estos beneficios se encuentran dentro de los siguientes aspectos: psicológicos, fisiológicos, terapéuticos, psicosociales y económicos. ³

En efecto, la pérdida de una mascota trae sentimientos desalentadores para las familias, recurriendo así a diferentes métodos para encontrarlos, donde se evidencia la importancia de compartir imágenes de sus rostros con el fin de que puedan ser identificados por personas ajenas. En ocasiones estos métodos no son los más eficaces ya que son manuales, requieren de números pasos⁴, tiempo, esfuerzo y en muchas ocasiones un costo económico por ayuda de terceros⁵ e implementación de material como posters por parte de las personas que se encuentren realizando dicha búsqueda.

¹ COMUNICACIÓN ENTRE PERROS DOMESTICOS (CANIS FAMILIARIS) Y HOMBRES. Revista Latinoamericana de Psicología. [en línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rtps/v39n2/v39n2a12.pdf>.

² La influencia de las mascotas en la vida humana. Revista Colombiana de Ciencia Pecuarias [en línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rccp/v20n3/v20n3a16.pdf>

³ Olarte Alejandra, Díaz Marcos. Animales de compañía, personalidad humana y los beneficios percibidos por los custodios. 2016. PSIENCIA. Revista Latinoamericana de Ciencia Psicológica, 8,. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3331/333147069001.pdf>

⁴ <https://www.laika.com.uy/blog/post/tips-para-encontrar-a-tu-perro-perdido>

⁵ <https://clabki.com/>

Por lo anterior, en el presente documento se realizó el diseño, desarrollo e implementación de una estrategia metodológica que inicia mediante la investigación del estado del arte, con el fin de exponer un experimento para la automatización del proceso de búsqueda de mascotas perdidas, utilizando técnicas de reconocimiento facial y recuperación de imágenes. Este proyecto de investigación tecnológica se basa únicamente en el desarrollo de un experimento orientado a las ciencias de la computación. No se realiza el desarrollo de un sistema de información.

1. GENERALIDADES

1.1. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de grado pertenece a la línea de investigación en Software Inteligente y Convergencia Tecnológica - GISIC, semillero SMART.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1. Descripción del problema

La presencia de las mascotas para la vida de los seres humanos ha sido de vital importancia, ya que brindan diversión y alegría, mejoran la salud de sus dueños tanto física como mentalmente, hacen que sus dueños aumenten las interacciones sociales, entre otras, convirtiéndolos así en un miembro más de la familia.⁶

En muchos países del mundo, se ha incrementado la tenencia de animales de compañía como lo son los perros y los gatos, lo que permite considerarlos como un miembro importante de la familia. Por ejemplo, según lo mencionado por Myriam Acero Aguilar, la Asociación Americana de Productos para Mascotas (2016), informó que “Estados Unidos es el país con mayor población de estas mascotas en el mundo. Para finales del 2015 el 44 % de los hogares tenía al menos un perro (54.4 millones de hogares) y el 35 % tenía al menos un gato (42.9 millones de hogares), lo cual corresponde al 51.3% de la población humana.”⁷

En Colombia, también existen varios factores que han permitido el incremento de perros y gatos en los hogares, como lo son llenar espacios afectivos, el aumento de las capacidades económicas de las clases sociales para responsabilizarse de los gastos adicionales y, por último, el desplazamiento que han sufrido poblaciones campesinas desde zonas rurales a zonas urbanas, lo que conlleva a la migración de la cultura de tenencia de estos animales.⁸ Según un estudio de la firma consultora Kantar Worldpanel, 3,5 millones de hogares colombianos cuentan con animales de compañía, de los cuales el 67% tiene

⁶ Lo bueno de tener una mascota en casa. Revista Semana. [en línea]. Disponible en: <https://www.semana.com/vida-moderna/articulo/beneficios-de-tener-una-mascota/489599/>

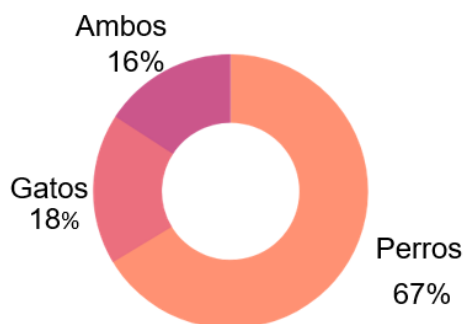
⁷ Acero Aguilar, Myriam (2019). Esa relación tan especial con los perros y con los gatos: la familia multiespecie y sus metáforas. *Tabula Rasa*, 32, 157-179. [en línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/tara/n32/1794-2489-tara-32-157.pdf>

⁸ La influencia de las mascotas en la vida humana. Revista Colombiana de Ciencia Pecuarias [en línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rccp/v20n3/v20n3a16.pdf>

perros, el 18% tiene gatos y el 16% tienen ambos como se muestra en la ilustración 1.⁹

Ilustración 1 Estadísticas perros y gatos en hogares colombianos

Perros y gatos en hogares colombianos



Fuente: Los autores

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, la pérdida de una mascota para un hogar familiar puede ser de mucha angustia, generando tristeza y desesperación por encontrarlo por su consideración como miembro de la familia. CLABKI, realizó un estudio en 2016 donde se analizaron 3.524 publicaciones en Facebook del grupo Animalitos Perdidos en Colombia, indicando que los perros componen el 89% de mascotas perdidas en Colombia y los gatos el 11%.¹⁰ Actualmente se hace uso de diferentes herramientas para su búsqueda, como: las redes sociales (Instagram, Facebook, Twitter), sistemas de búsqueda (Black2Gether, Appnimal, Clabki), carteles distribuidos por diferentes barrios de las ciudades, fundaciones que replican la información, entre otros medios. Aunque estas herramientas ayudan a encontrarlos, son búsquedas manuales y tediosas en las cuales se invierte mucho tiempo sin saber si los resultados serán los esperados.¹¹

⁹¿Cómo es el colombiano de la nueva canasta familiar? El Espectador. [en línea]. Disponible en: <https://www.elespectador.com/noticias/economia/como-es-el-colombiano-de-la-nueva-canasta-familiar/>

¹⁰¿Por qué hacemos lo que hacemos en Clabki? [en línea]. Disponible en: <https://medium.com/comunidad-clabki/por-que-hacemos-lo-que-hacemos-en-clabki-estadisticas-perros-perdidos-acee0afa70a2>

¹¹Encontrar una Mascota Perdida. [en línea]. Disponible en: <https://www.aspcanyc.org/recursos-para-personas-que-hablan-espanol/encontrar-una-mascota-perdida>

Cuando una mascota se pierde, su familia recurre a la publicación de fotos de su rostro, ya que esto permite el reconocimiento de la mascota por parte de otra persona. El rostro es uno de los primeros estímulos que reciben los seres humanos al nacer, siendo este el objeto visual de mayor significación para una persona. Es por esto por lo que, la cara es la clave más distintiva y ampliamente usada para determinar la identidad de una persona (Bruce & Young, 1986).¹²

Mediante la inteligencia artificial y el reconocimiento facial en humanos se ha logrado múltiples aplicaciones para la mejora en ciertos aspectos de la vida cotidiana de las personas como lo es la localización de personas perdidas, agilidad en pagos en supermercados o en procesos dentro de aeropuertos, desbloquear las funciones de un dispositivo móvil, seguridad, vigilancia, nuevas características en redes sociales, entre otros.¹³ Por esto, se hace importante el aplicar reconocedores faciales humanos para lograr la identificación facial de mascotas y de esta manera facilitar su búsqueda sin tener que recurrir a medios tradicionales.¹⁴

1.2.2. Formulación del problema

A partir del problema planteado anteriormente, a continuación, se propone la pregunta de investigación:

¿Cómo apoyar el proceso de búsqueda de perros y gatos en bases de datos de imágenes, a través de técnicas de recuperación de imágenes basadas en contenido y aprendizaje profundo?

¹² Memoria de rostros y reconocimiento emocional: generalidades teóricas, bases neurales y patologías asociadas. [en línea]. Disponible en: http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-64442014000100004

¹³ 4 Casos de aplicación del reconocimiento facial. Neuromarketing [En línea]. Disponible en: <https://neuromarketing.la/2017/12/aplicacion-del-reconocimiento-facial/>

¹⁴ El reconocimiento facial para mascotas perdidas. [En línea]. Disponible en: <https://okdiario.com/mascotas/reconocimiento-facial-mascotas-perdidas-4988089>

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Implementar un modelo computacional para la identificación facial de perros y gatos mediante técnicas de recuperación de imágenes basadas en contenido y aprendizaje profundo.

1.3.2. Objetivos específicos

- Construir un conjunto de datos de imágenes de perros y gatos para su procesamiento y extracción de características utilizando diferentes fuentes de recolección.
- Diseñar una estrategia metodológica para la identificación de perros y gatos en fotos a partir de técnicas de recuperación de imágenes y aprendizaje profundo.
- Desarrollar un modelo computacional para la identificación de perros y gatos en fotos a partir del entrenamiento de los algoritmos seleccionados.
- Evaluar el rendimiento del modelo computacional propuesto para su implementación, utilizando las métricas de desempeño precisión en k, recall en k, F1- Score en k y MAP en k.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Debido a la era de las redes sociales y el uso significativo que han tenido durante los últimos años, los usuarios buscan compartir sus vivencias y experiencias, así como también leer y visualizar las de otros.¹⁵ Gracias a la importancia de las mascotas como los perros y los gatos para las personas, estas redes se han convertido en una de las fuentes más importantes para compartir los momentos que comparten las personas con sus mascotas a través de imágenes y videos.¹⁶ Adicionalmente, existen múltiples fundaciones de mascotas que divulgan imágenes de perros y gatos en sus plataformas web¹⁷. Lo anterior, ha permitido que los usuarios de internet generen interés en realizar búsquedas de imágenes para múltiples propósitos como: adopciones¹⁸, búsqueda de mascotas perdidas o simplemente por diversión.

La evolución y el alcance del internet actualmente se ha potencializado de tal manera que ha revolucionado muchos aspectos en la vida cotidiana de las personas como la comunicación. Según un estudio realizado por Hootsuite y Branch en 2021, en Colombia el porcentaje de crecimiento de usuarios de internet respecto al año 2020 fue del 4.0%, lo que suma 1.3 millones de nuevos usuarios de internet. Adicionalmente, hoy en día estos usuarios representan el 68.0% del total de la población donde el 76,4% está activo en diferentes redes sociales como: Facebook, Instagram, Youtube y Whatsapp, como se evidencia en la ilustración 2 ¹⁹

¹⁵ Importancia de las Redes Sociales en la actualidad. [en línea]. Disponible en: <https://kiwimbi.com/importancia-redes-sociales-actualidad/>

¹⁶ Mascotas en redes sociales. [en línea] Disponible en: <https://www.epsilontec.com/mascotas-redes-sociales-conectar/>

¹⁷ Instituto de Protección y Bienestar Animal. [en línea]. Disponible en: <https://app.ciudadano4patas.com/adopciones/>

¹⁸ En redes sociales le buscan hogar a perros y gatos. El tiempo. [en línea]. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-14937737>

¹⁹ <https://branch.com.co/marketing-digital/estadisticas-de-la-situacion-digital-de-colombia-en-el-2020-2021/#:~:text=Resumen%20general%20del%20uso%20de,3%20millones%20de%20nuevos%20usuarios.>

Ilustración 2 Uso de internet y redes sociales en Colombia



Fuente: Estadísticas de la situación digital de Colombia en el 2020-2021. [En línea] Disponible en: < [Lo anterior hace importante la utilización de técnicas de recuperación de imágenes, con el fin de automatizar los distintos procesos de búsqueda manuales. De esta manera se aprovecha el crecimiento exponente del internet y las comunicaciones a través de las redes sociales las cuales tienen más alcance y difusión entre los usuarios.](https://branch.com.co/marketing-digital/estadisticas-de-la-situacion-digital-de-colombia-en-el-2020-2021/#:~:text=En%20relaci%C3%B3n%20a%20las%20redes,de%20perfiles%20o%20cuentas%20nuevas.> ></p></div><div data-bbox=)

Este experimento está dirigido a las familias y personas que deseen agilizar los procesos de búsqueda actuales que llevan a cabo con sus mascotas, ya que es una tarea compleja, angustiante y llena de incertidumbre. Adicionalmente puede contribuir a la disminución de contaminación y deterioro del medio ambiente, al generar la menor cantidad de papel posible para la impresión de pósteres en la calle.

1.5. DELIMITACIONES

1.5.1. Limitaciones

En este experimento se tomaron en cuenta únicamente imágenes de perros y gatos en las cuales se visualice su rostro de frente y de perfil; estas imágenes recolectadas, en su mayor parte, fueron suministradas por personas cercanas las cuales también proporcionaron el nombre y la raza de su mascota. Se contemplan solamente las razas facilitadas por las personas con el fin de etiquetar las carpetas e imágenes de cada sujeto. No se solicitó un nivel de iluminación específico para las imágenes.

1.5.2. Alcance

Este trabajo se orienta en el desarrollo de un experimento para la recuperación de imágenes basada en contenido de perros y gatos utilizando técnicas de reconocimiento facial y el análisis de los resultados de las diferentes técnicas implementadas. No se realizó el ciclo de vida del software en el presente trabajo.

El experimento se desarrolló bajo el lenguaje de programación Python en su versión 3.7, haciendo uso del servicio de entorno gratuito en la nube Google Colaboratory y Google Drive para el almacenamiento de los resultados de cada proceso dentro del experimento, durante el periodo académico de segundo semestre del 2020.

2. MARCO DE REFERENCIA

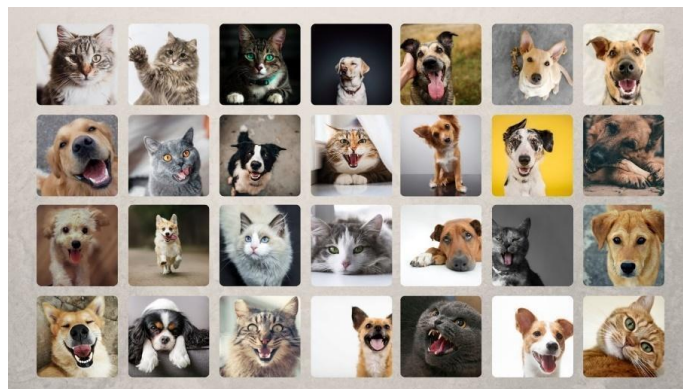
2.1. MARCO CONCEPTUAL

2.1.1. Conjunto de datos

Un conjunto de datos es el lugar donde almacena la información que se necesita para realizar algún análisis requerido. El origen de esta información puede ser de varias fuentes, pero por lo general son del mismo tipo de datos, los tipos de datos pueden ser estructurados y no estructurados.²⁰

Entre los distintos tipos de conjuntos de datos existentes, la base de datos de imágenes es crucial para facilitar operaciones como la organización, reconocimiento y almacenamiento de figuras digitales que están situadas en una ubicación centralizada a la que se puede acceder para diferentes propósitos. A lo largo del tiempo las bases de datos de imágenes han sido aplicadas en la medicina, multimedia, astronomía, botánica, entre otras.²¹ En la ilustración 3 se observa un ejemplo de un conjunto de datos de imágenes.

Ilustración 3 Conjunto de datos de imágenes



Fuente: Los autores

²⁰What is a data set?. [en línea]. Disponible en:
<https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/zosbasics/com.ibm.zos.zconcepts/zconc_datasetintro.htm>

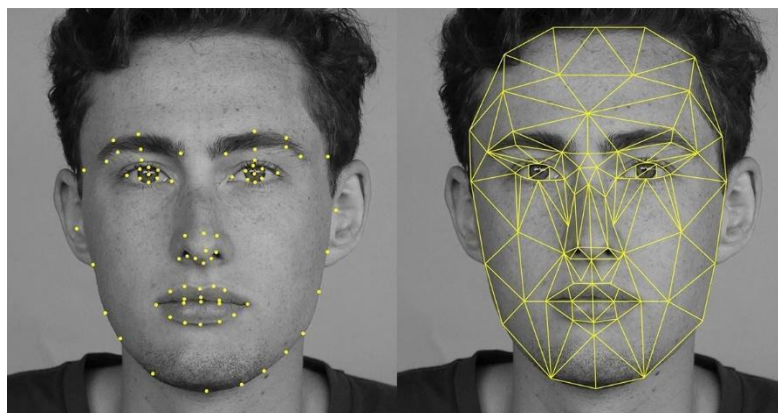
²¹.Stanchev. Peter L. General Image Database Model. 1999. Institute of Mathematics and Computer Science, Bulgarian Academy of Sciences. [En línea]. Disponible en: < <https://paws.kettering.edu/~pstanche/Visual99.pdf> >

2.1.2. Reconocimiento facial

Analiza las características biométricas del rostro para identificar sus diferentes regiones como cejas, ojos, nariz, boca, entre otras. La extracción de la información relativa a estas características está actualmente ligada a sofisticados procesos matemáticos y algoritmos de coincidencia que aportan estándares de fiabilidad y seguridad, lo que ha propulsado el avance a la tecnología de reconocimiento facial en diversos mercados como se evidencia en la ilustración 4.²²

Generalmente los procesos de reconocimiento facial son utilizados como método de seguridad para autorizar el acceso a un sistema, plataforma o servicio y se llevan a cabo mediante un dispositivo que disponga de tecnologías fotográficas que logran generar imágenes en las que se pueden codificar patrones físicos como rasgos característicos encontrados en un individuo y que permiten automatizar los procesos de identificación. Esta información se almacena en una base de datos ubicada en un ecosistema de servidores y posteriormente, se realiza un proceso de comparación entre las imágenes entrantes, con las imágenes que han sido previamente archivadas con el fin de validar la coincidencia de los datos biométricos de quien está solicitando un acceso o autorización.²³

Ilustración 4 Reconocimiento facial



Fuente: Los Autores

²² Reconocimiento facial. [en línea]. Disponible en: <https://www.ecured.cu/Reconocimiento_facial>

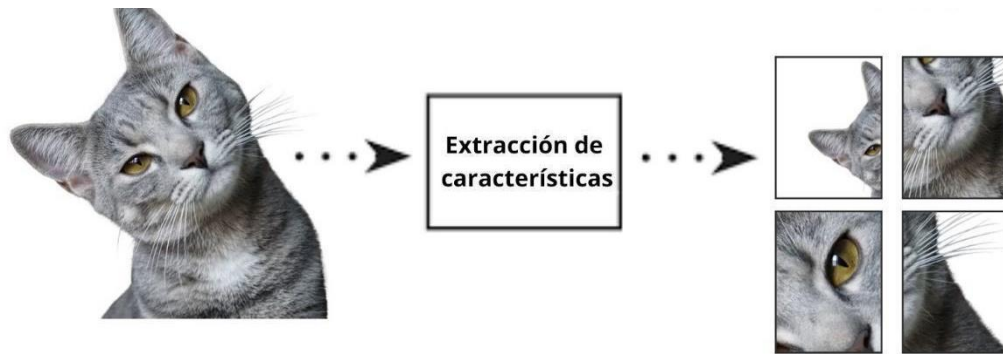
²³ Electronic Identification. Cómo funciona el reconocimiento facial y su seguridad. [En línea]. Disponible en: <<https://www.electronicid.eu/es/blog/post/como-funciona-reconocimiento-facial/es>>

2.1.3. Extracción de características

Por un lado, la extracción de características se refiere al proceso de extraer algunas medidas numéricas de los datos en bruto de los patrones (representación inicial). Por otro lado, se define también como el proceso de formar un conjunto de características partiendo de los datos de entrada como se muestra en la ilustración 5.

La extracción de características puede evitar el problema de la dimensionalidad, mejorar la tasa de generalización y reducir los requisitos computacionales del clasificador.²⁴

Ilustración 5 Extracción de características



Fuente: Los Autores

2.1.4. Medidas de similitud

Una métrica es una función que calcula la distancia entre dos elementos y que por tanto se utiliza para medir cuán diferentes son. Existen varias métricas para medir la distancia entre dos elementos como: distancia de

²⁴ Capítulo 1.-Redes Neuronales y Reconocimiento de Patrones. [en línea]. Disponible en: https://gredos.usal.es/bitstream/handle/10366/21694/DIA_Rednes_neuronales.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Manhattan, distancia Euclídea, distancia de Minkowski, distancia de Canberra, entre otros.²⁵

2.1.5. Preprocesamiento de imágenes

Para poder obtener la imagen original al conjunto de parámetros e información extraída de la misma, es necesario pasar por distintas etapas de procesamiento y filtrado donde se analiza la imagen y se adecua para cierta aplicación específica. Esto implica que el resultado del procesamiento depende fuertemente del problema que se esté abordando.

El procesamiento y análisis de imágenes se ha desarrollado en respuesta a tres de los más grandes problemas concernientes a imágenes:

- La digitalización y codificación de imágenes que facilite la transmisión, representación y almacenamiento de las mismas.
- Mejora y restauración de una imagen para interpretar más fácilmente su contenido.
- Descripción y segmentación de imágenes para aplicaciones de visión robótica o visión artificial.

Todos aquellos algoritmos de procesamiento de imágenes destinados a resaltar, agudizar y/o contrastar determinados aspectos de la imagen, y también aquellos que ayudan a eliminar efectos no deseados sobre ellas, como toda clase de ruido (aditivo, sustractivo, multiplicativo, etc.), se denominan técnicas de mejora de la imagen.²⁶

2.1.6. Imagen digital

Se puede considerar como imagen a la representación visual o gráfica de algo con el fin de transmitir o comunicar una información en específico, algunas de las representaciones que se pueden considerar son el dibujo, la pintura, la fotografía, entre otras. La imagen también puede ser representada

²⁵Inteligencia artificial avanzada. [en línea]. Disponible en: [https://www.exabyteinformatica.com/uoc/Inteligencia_artificial/Inteligencia_artificial_avanzada/Inteligencia_artificial_avanzada_\(Modulo_1\).pdf](https://www.exabyteinformatica.com/uoc/Inteligencia_artificial/Inteligencia_artificial_avanzada/Inteligencia_artificial_avanzada_(Modulo_1).pdf)

²⁶PROCESAMIENTO DE IMÁGENES. [en línea]. Disponible en: http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/12112/fichero/Documento_por_capitulos%252F3_Cap%C3%ADtulo_3.pdf

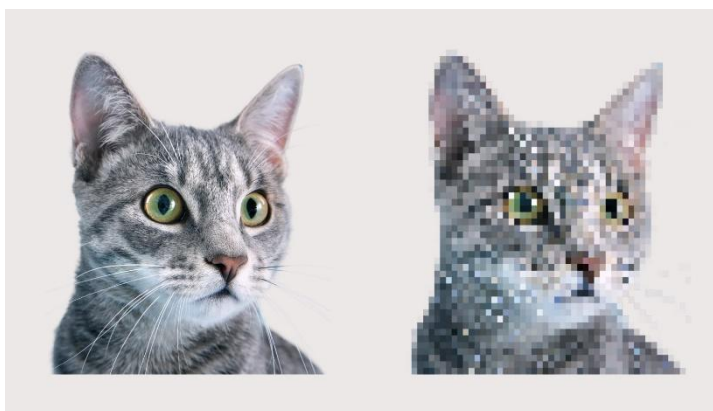
de manera bidimensional que se estructura a partir de una matriz numérica binaria. Las imágenes digitales se pueden clasificar en dos grupos, imágenes compuestas a través de mapa de bit e imágenes vectoriales.²⁷

Las imágenes en mapa de bits están formadas a partir de una cuadrícula de puntos denominados píxeles que se organizan en una matriz o rejilla, a cada uno de esos puntos se le atribuye un color que es representado por un valor numérico, entre mayor sea la cantidad de píxeles, mayor calidad tendrá la imagen.

Las imágenes vectoriales, se fundamentan a partir de ejes geométricos como segmentos, polígonos, arcos, entre otros. Estos pueden definir el color, la forma y la posición en la que se encuentra la imagen o sus componentes.

Cada uno de estos grupos cumple con una funcionalidad dependiendo los requerimientos, si es para fotografías o imágenes con mucho detalle, lo más conveniente es utilizar bitmaps, si por el contrario el objetivo es crear logotipos o ilustraciones para la web, los vectores dan mejores resultados.²⁸

Ilustración 6 Imagen digital



Fuente: Los Autores

2.1.7. Formato de imagen

La imagen tiene una gran variedad de formatos en los que puede ser representada y almacenada según el propósito, a cada formato se le atribuye

²⁷ Cuartoinformática. La imagen digital. [En línea]. Disponible en: < <http://cuartoinformatica.tecn julio.com/la-imagen-digital/>>

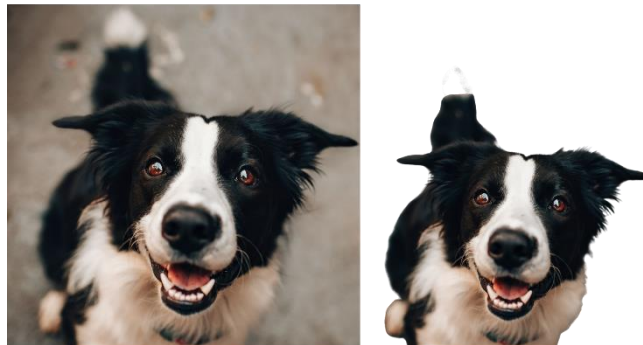
²⁸ Albalplazadesigner. Diferencias entre imagen de mapa de bits e imagen vectorial. [En línea]. Disponible en: < <https://www.albalplazadesigner.com/diferencias-entre-imagen-de-mapa-bits-e-imagen-vectorial/>>

una extensión que va a representar a la imagen en un entorno digital, entre los tipos de formatos más relevantes que existen, se pueden mencionar:

jpg- jpeg: generalmente es utilizado para archivos fotográficos, sin embargo, al comprimir archivos con este formato, se obtiene una pérdida significativa de la calidad de la imagen como consecuencia de la reducción de su peso. La diferencia entre estos dos formatos es que cada uno está designado para ser utilizado en un sistema operativo diferente, es decir, para sistemas MAC o Linux, las imágenes se guardan con extensión JPGE y para sistemas Windows se guarda como JPG.

png: esta extensión sin pérdida (portable network graphics) es utilizada principalmente para incluir transparencias en las imágenes, a diferencia de formatos como JPG-JPEG, este soporta transparencias, mientras que los otros siempre incluyen imágenes con fondos solidos de color. Es ideal para guardar imágenes de mayor calidad ya que este formato no representa una pérdida o una distorsión de sus colores ni de su nitidez, generalmente es utilizado para la logotipos o imágenes con texto que incluyan un fondo transparente.

Ilustración 7 Formato de imagen



Fuente: Los Autores

2.1.8. Caja delimitadora

Mejor conocida como bounding box por su traducción al inglés, son rectángulos imaginarios que tienen como objetivo referenciar la detección de objetos en el procesamiento de imágenes, delimitando el objeto de interés dentro de estos recuadros, para que de esta manera se pueda facilitar la automatización de la selección de imágenes según los requerimientos.

Los cuadros delimitadores son utilizados en diferentes áreas para entrenar algoritmos que tengan la capacidad de identificar patrones, sin embargo, es importante aclarar que no siempre los cuadros delimitadores realizan

predicciones con un 100% de precisión ya que, para lograrlo, se requiere de una gran cantidad de bounding boxes, incluyendo otros sistemas o técnicas.

Ilustración 8 Caja delimitadora



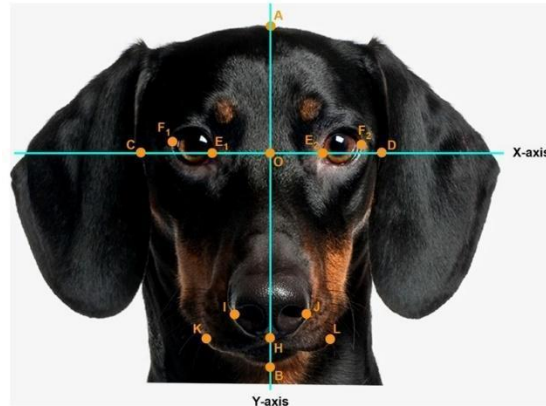
Fuente: Los Autores

2.1.9. Puntos de referencia

La detección de puntos de referencia facial (landmarks por traducción al inglés) es una herramienta que facilita el reconocimiento instantáneo de un rostro o de animales. Tanto en los seres humanos como en los animales, se pueden encontrar puntos de referencia imaginarios que generalmente se sitúan en el rostro para que de esta manera se puedan identificar gracias a la ubicación y el ángulo en que se encuentran de los componentes que hacen parte de la estructura facial: ojos, nariz, boca, cejas, oídos, entre otros.

Este proceso de reconocimiento facial a partir de puntos de referencia es utilizado actualmente en diferentes campos y aplicativos que facilitan los procesos o protocolos de seguridad en diferentes sistemas u organizaciones, permitiendo la identificación efectiva de una persona o de un animal.

Ilustración 9 Puntos de referencia



Fuente: Baby schema in human and animal faces induces cuteness perception and gaze allocation in children. [En línea]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/figure/Facial-landmark-example-portrait-of-an-adult-dog-Head-length-AB-fixed-600-pixels_fig1_262378766>

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Recuperación de imágenes basadas en contenido

La recuperación de imágenes basadas en contenido (CBIR por sus siglas en inglés) es una técnica de recuperación de imágenes también conocida como consulta por contenido de imagen (QBIC por sus siglas en inglés), que permite recuperar imágenes en una gran base de datos, que son similares en su contenido como formas, colores, texturas, entre otros, a una imagen de consulta.

La metodología que utiliza CBIR es la de aplicar técnicas de visión por computadora donde se extraen características tanto a las imágenes que están en la base de datos como las imágenes de entrada o consulta y posteriormente, se utilizan métricas de similitud para observar qué tanto coinciden las características de las imágenes y obtener resultados visualmente similares.²⁹

²⁹Subramanian, Dr. Manoharan & Sathappan, Sathappan. (2015). An Efficient Content Based Image Retrieval using Advanced Filter Approaches. International Arab Journal of Information Technology. 12.[en línea]. Disponible en:

2.2.2. Eigenfaces

Es una técnica de reconocimiento facial que surgió de la investigación realizada por Sirovich y Kirby (1987) para la búsqueda de representaciones de baja dimensionalidad en imágenes de rostros humanos. Años después, Turk y Pentlad (1991) continuaron con el desarrollo de la investigación donde implementaron un sistema de reconocimiento facial automatizado.

Eigenfaces, utiliza conceptos de álgebra lineal y una técnica de reducción de dimensionalidad llamada Análisis de Componentes Principales para el reconocimiento de rostros. El enfoque de esta técnica es el de encontrar representaciones de un conjunto de imágenes de rostros, mediante características básicas (*eigenfaces*) que permitan la reconstrucción del conjunto de imágenes de rostros original.³⁰

Ilustración 10 Eigenfaces en mascotas



Fuente: BIORAMBLE. PCA – PART 5: EIGENPETS. [En línea]. Disponible en: < <https://bioramble.wordpress.com/2015/09/01/pca-part-5-eigenpets/>>

2.2.3. LBPH

El histograma de patrones binarios locales (LBPH por sus siglas en inglés), es un algoritmo utilizado para el reconocimiento facial descrito por primera

https://www.researchgate.net/publication/280580905_An_Efficient_Content_Based_Image_Retrieval_using_Advanced_Filter_Approaches

³⁰ Julián, F., Reyes, M., Sánchez, A.L., & Ríos, C. RECONOCIMIENTO FACIAL POR EL MÉTODO DE EIGENFACES. 2017. México. Instituto Tecnológico de Oaxaca. [en línea]. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/RECONOCIMIENTO-FACIAL-POR-EL-M%C3%89TODO-DE-EIGENFACES-Juli%C3%A1n-Reyes/35f458d08052b8226f278f8b9ce5513a6fc3f33b>

vez en 1994, que permite describir las características locales de las imágenes a través de un análisis de textura bidimensional.³¹

La idea básica de LBPH es etiquetar los píxeles de una imagen donde se toma en cuenta la distribución de los 8 vecinos, tomando los resultados en número binarios. El píxel central es comparado con cada uno de sus vecinos de acuerdo con su valor de intensidad, donde se asigna un 0 en caso de que el píxel central sea mayor que el píxel que se está comparando y un 1 en el caso contrario. De esta manera, se divide la imagen en diferentes regiones con el fin de calcular el histograma de cada una y, por último, hacer una concatenación para obtener el histograma final.³²

2.2.4. Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales (PCA por sus siglas en inglés), es una técnica estadística utilizada para reducción de dimensionalidad en grandes conjuntos de datos, de manera que se eliminen las variables o la información menos importante, dejando solo las variables que mejor describen a todo el conjunto de datos. Para realizar dicha reducción de dimensionalidad, PCA utiliza dos técnicas, donde la primera es eliminar por completo ciertas variables y la segunda es realizar extracción de características.³³

2.2.5. Distancia de Manhattan

La distancia de Manhattan también conocida como la norma L_1 toma la suma de los valores absolutos de las diferencias de un par de puntos en un plano, representada por la siguiente fórmula³⁴:

³¹A Comprehensive Guide to Facial Recognition Algorithms – Part 1. [en línea]. Disponible en: <https://www.baseapp.com/computer-vision/a-comprehensive-guide-to-facial-recognition-algorithms/>

³²RECONOCIMIENTO FACIAL BASADO EN EIGENFACES, LBPH Y FISHERFACES EN LA BEAGLEBOARD-xM. [en línea]. Disponible en: http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_40/recursos/05_v25_30/revista_26/01052016/21.pdf

³³Comprende Principal Component Analysis. [en línea]. Disponible en: <https://www.aprendemachinellearning.com/comprende-principal-component-analysis/>

³⁴Distance Metrics. [en línea]. Disponible en: <https://numerics.mathdotnet.com/Distance.html>

Ecuación 1 Distancia de Manhattan

$$\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|$$

Es comúnmente utilizada para determinar la distancia que se puede recorrer desde un punto para llegar a otro, dentro de una cuadrícula o grilla. Los movimientos permitidos serán de Norte a Sur, de Sur a Norte, de Oeste a Este y de Este a Oeste. Desde este punto de vista no está permitido el desplazamiento diagonal.³⁵

2.2.6. Distancia Euclidiana

También conocida como la norma L_2 , es la distancia más sencilla de calcular y se define como la raíz cuadrada de la suma de las diferencias de un par de puntos en un plano y se representan mediante la siguiente fórmula.

Ecuación 2 Distancia Euclidiana

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$$

³⁵ESTUDIO DE LA MÉTRICA DE MANHATTAN. SEGMENTOS, RECTAS, RAYOS, CIRCUNFERENCIAS Y ALGUNOS LUGARES GEOMÉTRICOS EN LA GEOMETRÍA DEL TAXISTA. [en línea]. Disponible en: <http://repositorio.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/2188/TE-16178.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

2.3. ESTADO DEL ARTE

Para la investigación del estado del arte se utilizaron las bases de datos académicas Scopus, ProQuest, ScienceDirect y el motor de búsqueda Google Scholar; donde se evidencia que las técnicas más utilizadas en sistemas CBIR para identificación facial son eigenfaces y LBPH. Por otro lado, las métricas de similaridad más utilizadas son la distancia de Manhattan y la distancia Euclidiana.

Los autores Thierry Pinheiro Moreira, Mauricio Lisboa Perez, Rafael de Oliveira Werneck y Eduardo Valle en el año 2017, implementaron los reconocedores faciales humanos Eigenfaces, Fisherfaces, LBPH y el Método Disperso para aplicarlo en el reconocimiento facial de perros. Adicionalmente, utilizaron las redes neuronales convolucionales BARK y WOOF, con el fin de contrastar los resultados de los diferentes métodos aplicados utilizando los conjuntos de imágenes de rostros de perros llamados Flickr-dog y Snoopybook donde se demuestra que los reconocedores faciales obtuvieron una exactitud de hasta el 60.5 % y las redes neuronales convolucionales hasta el 89.4% ³⁶

En el 2015, los autores MSc. Carlos H. Esparza Franco, Ing. Christian Tarazona Ospina, Ing. Esdras E. Sanabria Cuevas, MSc. Daniel A. Velazco Capacho, realizaron un experimento en el que se implementó un sistema de detección facial de personas utilizando procesamiento de imágenes, en el cual se aplicaron las técnicas eigenfaces, fisherfaces e histogramas binarios locales para obtener las características de las imágenes, donde a su vez se aplicaron las técnicas de análisis de componentes principales y análisis discriminante lineal para reducción de dimensionalidad. La técnica que obtuvo el mejor resultado fue eigenfaces puesto que presentó el menor porcentaje de error respecto a las demás técnicas utilizadas. ³⁷

A través de un experimento propuesto por los autores Mohini. P. Sardey y G. K. Kharate, se realizó una comparación de tres técnicas para extracción de

³⁶ Moreira, T.P., Perez, M.L., Werneck, R. *et al.* Where is my puppy? Retrieving lost dogs by facial features. *Multimed Tools Appl* **76**, 15325–15340 (2017). Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11042-016-3824-1>

³⁷ RECONOCIMIENTO FACIAL BASADO EN EIGENFACES, LBHP Y FISHERFACES EN LA BEAGLEBOARD-xM. [en línea]. Disponible en: http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_40/recursos/05_v25_30/revista_26/01052016/21.pdf

características de imágenes: eigenfaces, histograma de color y punto de coincidencia, utilizadas en las recuperaciones de imágenes basadas en contenido en un conjunto de imágenes de caras, vehículos, animales y flores, con el fin de identificar la mejor técnica para recuperar las imágenes que se encuentran en la base de datos a partir de una imagen de consulta. El mejor resultado lo obtuvo la técnica de eigenfaces puesto que fue el que obtuvo el menor tiempo medio de recuperación.³⁸

En el artículo del autor Mrs .M. D. Malkauthekar, realizó un experimento el cual consiste en comparar la distancia Manhattan (norma L1) y las distancia Ecludiana (norma L2) de en un problema de reconocimiento facial de personas usando la técnica de reducción de dimensionalidad PCA (por sus siglas en inglés). En este experimento se utiliza una muestra del conjunto de datos de imágenes llamado FERET, el cual contiene nueve (9) imágenes de rostros por tres (3) sujetos en diferentes ángulos y expresiones para un total de 27 imágenes. Los resultados de la comparación indican que la distancia de Manhattan entrega mejores resultados con un total de 11 imágenes reconocidas de 27, lo cual corresponde al 40,74% respecto a la distancia Euclidiana, el cual reconoció un total de 8 imágenes lo cual corresponde al 29.69%.³⁹

En este artículo del año 2016, se realizaron dos experimentos para comparar los métodos de reconocimiento facial, análisis de componentes principales (PCA, por sus siglas en inglés), análisis discriminante lineal (LDA, por sus siglas en inglés), y los histogramas de patrones binarios locales (LBPH, por sus siglas en inglés) para el reconocimiento facial de animales salvajes en imágenes. El objetivo del primer experimento se enfoca en demostrar la precisión de cada uno de los métodos mencionados anteriormente; por otro lado, en el segundo experimento se evalúa el tiempo total de ejecución del proceso de reconocimiento de animales. Para ambos experimentos se utilizó un total de 300 imágenes de 5 animales diferentes. Los resultados de los experimentos indican que LBPH tiene una tasa de reconocimiento

³⁸Sardey, Mohini & Kharate, Gajanan. (2015). A Comparative Analysis of Retrieval Techniques In Content Based Image Retrieval. Computer Science & Information Technology. 5. [en línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/281312197_A_Comparative_Analysis_of_Retrieval_Techniques_In_Content_Based_Image_Retrieval

³⁹ Malkauthekar, M.D. 2013. Analysis of euclidean distance and manhattan distance measure in face recognition. Third International Conference on Computational Intelligence and Information. [En línea]. Disponible en: <https://www-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/1776432839/FE37A7220B404188PQ/1?accountid=45660>

del 88% superando a los demás métodos cuando se utilizan conjuntos de prueba pequeños; por otro lado, cuando se aumenta el número de imágenes de pruebas y se disminuye el número de imágenes de entrenamiento, PCA resulta tener el mayor rendimiento.⁴⁰

En este experimento realizado en el año 2012, se utilizó el algoritmo de reducción de dimensionalidad llamado análisis de componentes principales (PCA), el cual se basó en un enfoque de eigenfaces con el fin de describir la variación entre imágenes de rostros de personas a partir de un conjunto pequeño de características significativas. Las imágenes de los rostros fueron tomadas del conjunto de datos de imágenes ORL, donde se utilizaron 190 imágenes de 38 personas (5 por cada persona) para el conjunto de entrenamiento y 40 imágenes de diferentes individuos (2 desconocidos y 38 conocidos) para el conjunto de prueba. Los resultados de este experimento indican que basta obtener el 10% de las eigen-caras para así obtener los mayores eigenvalores para el reconocimiento de los rostros. Adicionalmente, se demuestra que el algoritmo propuesto obtiene los mismos resultados independientemente de si se utilizan los 20 primeros o los 190 componentes principales. Por último, la métrica de similitud que obtuvo una mejor tasa de reconocimiento fue la distancia de Manhattan utilizando 5 y 10 componentes principales.⁴¹

En el capítulo 4 Similarity Measures and Performance Evaluation del libro Content-Based Image Retrieval: Ideas, Influences, and Current Trends, se describen las principales métricas de similitud y de evaluación de rendimiento para los sistemas de recuperación de imágenes basadas en contenido. Las métricas de similitud permiten determinar qué tanto dos imágenes coinciden entre sí; por otro lado, una vez se desarrolla el sistema de recuperación, es necesario evaluar el rendimiento del mismo en términos de los resultados obtenidos en respuesta a las búsquedas realizadas.

⁴⁰P. Kamencay, T. Trnovszky, M. Benco, R. Hudec, P. Sykora and A. Satnik. 2016. Accurate wild animal recognition using PCA, LDA and LBPH. [En línea]. Disponible en: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7512036>>

⁴¹ Marijeta Slavković, Dubravka Jevtić. 2012. Face Recognition Using Eigenface Approach*. [En línea]. Disponible en: <<http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/1451-4869/2012/1451-48691201121S.pdf>>

En un sistema de recuperación de imágenes basadas en contenido (CBIR por sus siglas en inglés), se calculan las similitudes visuales entre las imágenes de una base de datos y una imagen de consulta, utilizando métricas de similaridad (también conocidas como medidas de distancia o similitud). La elección de estas métricas es de suma importancia, ya que pueden afectar la precisión del método o el algoritmo de recuperación de imágenes. Estas métricas deben ser discriminatorias para así diferenciar fácilmente diferentes objetos del mundo real; además, no deben de exagerar el ruido que se presente en las imágenes como la variación de la iluminación y la oclusión.

Entre las métricas de similaridad más utilizadas para la recuperación de imágenes se encuentran: la distancia de Minkowski (conocida como la norma L_p), la distancia de Manhattan (también llamada norma L_1), la distancia Euclidiana (también conocida como la norma L_2), entre otras.

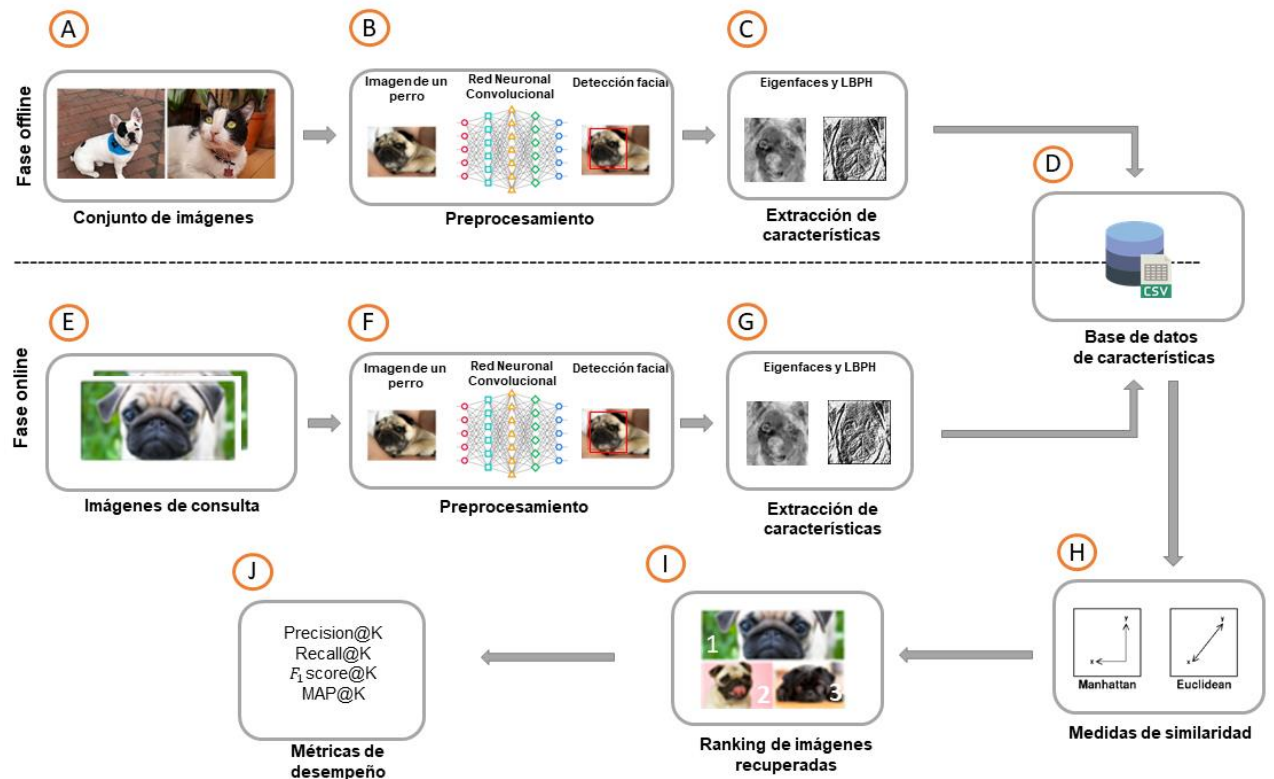
Para la evaluación de la efectividad de un sistema de recuperación de imágenes, se utilizan diferentes métodos los cuales son tomados directamente de la técnica de recuperación de documentos como lo son precision y recall, los cuales tienen un rango de resultados entre 0.0 y 1; adicionalmente, existe otro método que está enfocado en la comparación del usuario, es decir que, los resultados obtenidos por el sistema se entregan al usuario quién se encarga de determinar el rendimiento según los resultados más relevantes para la consulta.⁴²

⁴²Datta, Ritendra; Joshi, Dhirai; Li, Jia; Wang, James Z. 2008. [En línea]. Image retrieval: Ideas, influences, and trends of the new age Disponible en: <
<https://www-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/scholarly-journals/image-retrieval-ideas-influences-trends-new-age/docview/195186972/se-2?accountid=45660>>

3. METODOLOGÍA

El experimento de recuperación de imágenes de rostros de perros y gatos cuenta con una fase *offline* y una fase *online*, las cuales se componen de una serie de etapas. Estas fases comparten las etapas de preprocesamiento y extracción de características como se muestra en los incisos B, C, F y G de la ilustración 11.

Ilustración 11 Metodología Recuperación de imágenes



Fuente: Los autores

3.1. Fase Offline

A. Conjunto de imágenes

En esta primera etapa, se construye un conjunto de datos de imágenes de perros y gatos como se muestra en el inciso A de la ilustración 11, en formatos .PNG, .JPG y .JPEG, las cuales fueron recopiladas a través de internet, con el conjunto

de imágenes llamado Flickr-dog Dataset ⁴³ e imágenes compartidas por distintas personas que cuentan con estas mascotas.

B. Preprocesamiento

Las imágenes recolectadas en la etapa anterior se redimensionan a un tamaño de 700 x 700 px y se convierten en formato .JPG. Posteriormente, se utiliza una red neuronal convolucional pre entrenada para la identificación facial de las mascotas de estas imágenes. Por último, el rostro de la mascota es recortado generando así una nueva imagen, tal y como se evidencia en el inciso B de la ilustración 11.

C. Extracción de características

En esta etapa, se extraen las características de las imágenes de los rostros de las mascotas, utilizando técnicas para el reconocimiento facial como lo son Eigenfaces y LBPH (histograma de patrones binarios locales, por sus siglas en inglés) como se evidencia en el inciso C de la ilustración 11.

D. Base de datos de imágenes de características

En esta etapa, una vez extraídas las características de las imágenes, se obtiene un conjunto de imágenes en las cuales están contenidas todas las características principales que representan las imágenes originales en el inciso D de la ilustración 11.

3.2. Fase Online

E. Conjunto de imágenes de consulta

En esta etapa del experimento, ingresa una imagen de consulta como se evidencia en el inciso E de la ilustración 11, la cual cuenta con el mismo procedimiento de preprocesamiento y extracción de características explicados

⁴³Flickr-dog Dataset. [en línea]. Disponible en: <http://www.recod.ic.unicamp.br/~rwerneck/datasets/flickr-dog/>

en la sección de la fase offline, tal y como se muestra en los incisos F y G respectivamente.

F. Medidas de similitud

Como se evidencia en el inciso H de la ilustración 11, se aplican medidas de similitud como la distancia de Manhattan y la distancia Euclidiana, para determinar la diferencia que existe entre los píxeles de las imágenes de la base de datos de características y las imágenes de consulta.

G. Ranking de imágenes recuperadas

En esta etapa, se muestran un conjunto de imágenes recuperadas, las cuales son clasificadas de acuerdo con los resultados obtenidos en la etapa anterior desde la imagen que tiene más similitud con la imagen de consulta, hasta la menor, tal y como se muestra en el inciso I de la ilustración 11.

H. Métricas de desempeño

Como se muestra en el inciso J de la ilustración x, se utilizan las métricas de desempeño precisión, recall, F1-score y MAP para evaluar el porcentaje de desempeño del algoritmo implementado.

4. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1. Conjunto de imágenes

En esta etapa se realizó la recolección de imágenes de perros y gatos para así identificar su rostro y utilizarlo posteriormente para el desarrollo del experimento. Las imágenes de perros y gatos se recolectaron a través de dos fuentes, la primera fue un conjunto de imágenes llamado “Flickr-dog Dataset”, el cual contiene 374 fotos de 42 (clases) rostros de perros de dos razas (Huskys y Pugs). Para la segunda fuente, se solicitaron fotos a familias y personas que tuvieran mascotas en sus hogares (perros y gatos). Cada foto fue solicitada desde tres ángulos diferentes: lateral izquierdo, de frente y lateral derecho; sin ninguna restricción en cuanto a tamaño, entorno, iluminación y extensión de la imagen, como se muestra en la ilustración 12. Adicionalmente, se solicitaron datos de las mascotas como el nombre y la raza para el etiquetado de las respectivas imágenes.

Ilustración 12 Ejemplo de imágenes solicitadas

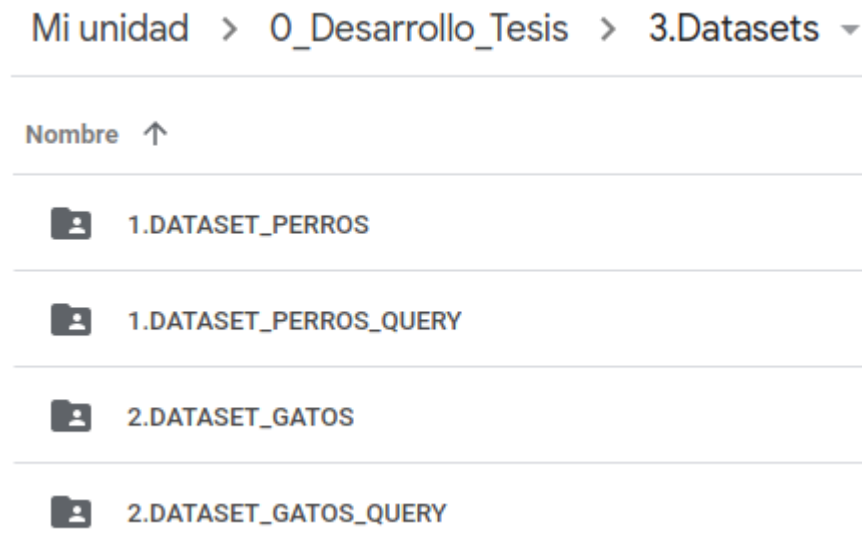


Fuente: Los autores

El conjunto de imágenes se almacenó en Google Drive dentro de una carpeta global llamada “*Datasets*”, en esta carpeta se encuentran segmentados cada uno de los

conjuntos de imágenes que se utilizaron para el desarrollo del experimento, los cuales son: *dataset perros*, *dataset perros query*, *dataset gatos* y *dataset query gatos*, tal y como se evidencia en la ilustración 13.











Ilustración 13 Estructura del conjunto de imágenes



Fuente: Los autores

Dentro de las carpetas Dataset perros y Dataset gatos, se encuentran subcarpetas que contienen las fotos de cada una de las mascotas en distintas posiciones donde se puede evidenciar su rostro, estas subcarpetas se etiquetan de acuerdo con el nombre de la mascota y su respectiva raza como se evidencia en la ilustración 14 y 15.

Ilustración 14 Ejemplo de carpetas por cada sujeto

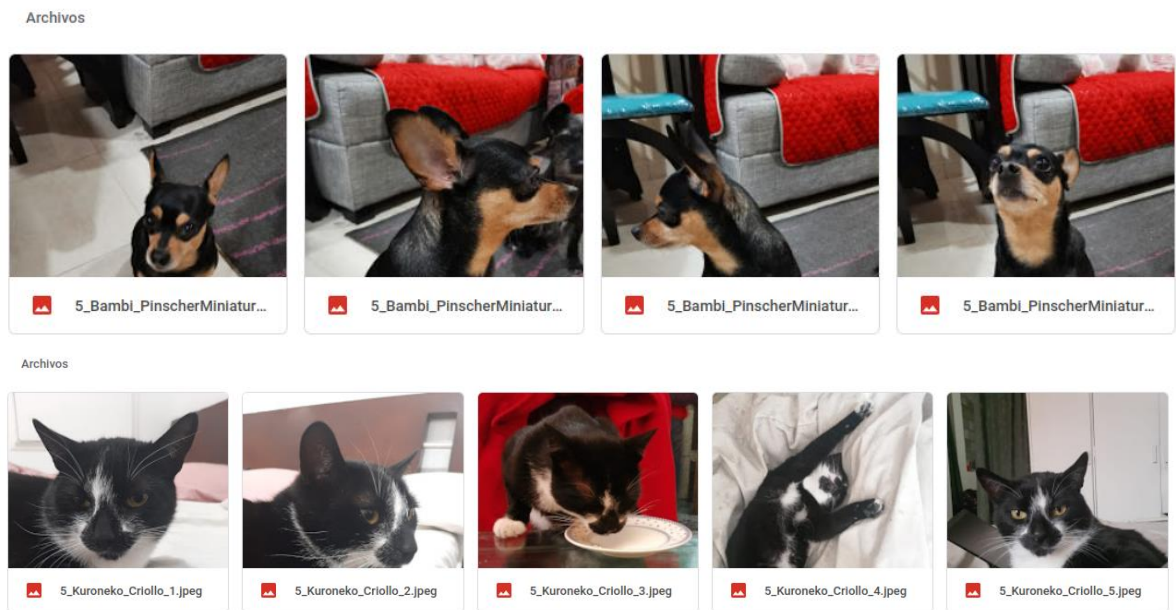
Nombre ↑	Nombre ↑
 1_Afrika_Husky	 1_Cat_Persa
 2_AmericanBully_Yoko	 2_Celestina_Criollo
 3_Bandit_Pug	 3_Lola_Criollo
 4_Apolo_Husky	 4_Kira_Criollo
 5_Bambi_PinscherMiniatura	 5_Kuroneko_Criollo

(a) Perros

(b) Gatos

Fuente: Los autores

Ilustración 15 Ejemplos de imágenes recolectadas



Fuente: Los autores

4.2. Preprocesamiento

A las imágenes obtenidas en el conjunto de datos, se les aplica un redimensionamiento de 700 x 700 px para que de esta manera puedan pasar por la red neuronal convolucional pre-entrenada. Posteriormente, se realiza un intercambio de canales BGR a RGB para así utilizar la librería OpenCV y obtener una correcta lectura de la imagen. Seguido a esto, se convierten cada una de las imágenes RGB a escala de grises con el fin de utilizar la librería Dlib, la cual contiene la red neuronal convolucional que realiza la detección de los rostros de los perros y los gatos. Los resultados obtenidos una vez se realiza el preprocesamiento, se distribuyen en tres carpetas como sigue:

- Rostros detectados

En esta carpeta se almacenan las imágenes que fueron detectadas por la red neuronal convolucional pre-entrenada. Estas imágenes como se muestra en la ilustración 16 figura a, tienen un cuadro delimitador, lo que indica en qué parte de la imagen se encontró la cara del perro o del gato.

- Rostros no detectados:

En esta carpeta están almacenadas todas las imágenes que a pesar de pasar por la red neuronal, no fue posible detectar ningún rostro de las mascotas dentro de la imagen, como se evidencia en la ilustración 16 figura b.

- Rostro redimensionado:

Como se muestra en la ilustración 16 figura c, una vez los rostros son detectados, se realiza un recorte del cuadro delimitador el cual contiene el rostro y se redimensiona a 180 x 180 px.

- Manuales:

Por último, en esta carpeta se almacenan las imágenes a las cuales se les realizó el proceso de recorte y redimensionamiento manualmente, ya que, la red neuronal no fue capaz de detectar los rostros de estas mascotas, como se evidencia en la figura de la ilustración 16.

Ilustración 16 Imágenes resultado del preprocesamiento



(a) Detectado **(b)** No detectado **(c)** Redimensionado **(d)** Manuales

Fuente: Los autores

4.3. Extracción de características

Con los resultados obtenidos en la etapa de preprocesamiento, se realiza la extracción de características tanto de las imágenes que se encuentran en la base de datos (fase offline), como las imágenes de consulta de la fase online. Para la extracción de características de las imágenes, se hace uso de dos técnicas muy utilizadas para el reconocimiento facial, eigenfaces y LBPH, las cuales se describen a continuación.

4.3.1. Eigenfaces

Esta técnica de reconocimiento facial utiliza el método de reducción de dimensionalidad PCA para representar un conjunto de vectores, es decir, las imágenes de caras de perros y gatos que se calcula como sigue:

1. Se consideran un conjunto de m imágenes las cuales se representan como una matriz de dimensión $N \times N$, como se evidencia en la ilustración 17.

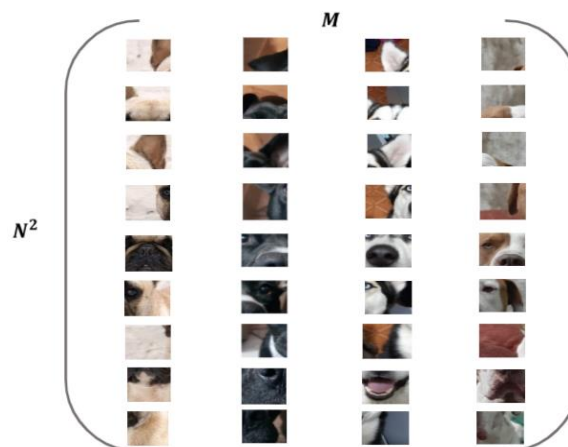
Ilustración 17 Representación de una imagen en matriz



Fuente: Los autores

2. Como se muestra en la ilustración 18, cada una de las imágenes se convierten en un vector de dimensión N^2 las cuales se concatenan para así formar una matriz de $N^2 \times M$; donde M es la cantidad de imágenes y N^2 el número de píxeles de cada imagen.

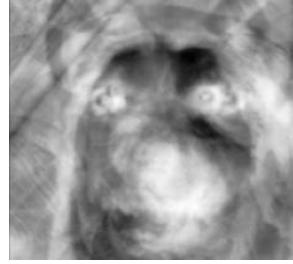
Ilustración 18 Representación de los vectores de M imágenes en una matriz.



Fuente: Los autores

3. Se realiza el cálculo de la imagen promedio de los vectores de imágenes como se evidencian en la ilustración 19 mediante el cálculo de la ecuación 3.

Ilustración 19 Imagen promedio de las caras



Fuente: Los autores

Ecuación 3 Imagen promedio

$$\psi = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i$$

Una vez se obtiene la imagen promedio, esta se resta de cada uno de los vectores de imágenes como se define en la ecuación 4 para así obtener un nuevo conjunto de vectores los cuales conforman la matriz A.

Ecuación 4 Nuevo conjunto de vectores

$$a_i = x_i - \psi$$

4. Se calcula la matriz de covarianza de la matriz de imágenes A (ecuación 5) de dimensión $M \times N^2$. Esta matriz de covarianza se calcula multiplicando la matriz A transpuesta por A, como se muestra en la ecuación 6. Esta operación da como resultado una nueva matriz de dimensiones $N^2 \times N^2$ lo cual no es computacionalmente eficiente para calcular. Por lo que, se calcula la matriz de covarianza reducida como se muestra en la ecuación 7 donde se multiplica la matriz A por su transpuesta y de esta manera obtenemos una matriz de dimensión $M \times M$ que contiene M eigenvectores de dimensión M.

Ecuación 5 Matriz de imágenes

$$A = [a_1, a_2, a_3 \dots a_m]$$

Ecuación 6 Matriz de covarianza

$$Cov = A^T A$$

Ecuación 7 Matriz de covarianza reducida

$$C' = AA^T$$

5. En este paso, se calculan los eigenvalores y eigenvectores de la matriz de covarianza con las ecuaciones 8 y 9 donde se obtiene el vector y los valores característicos de la matriz. En la ecuación 9 se multiplica la matriz A a cada lado de la igualdad dando como resultado la ecuación 10 donde U_i es la representación de la multiplicación entre la matriz A y los eigenvectores.

Ecuación 8 Cálculo de eigenvalores y eigenvectores – Paso 1

$$A^T A \vec{v}_i = \lambda_i \vec{v}_i$$

Ecuación 9 Cálculo de eigenvalores y eigenvectores – Paso 2

$$AA^T \vec{v}_i = \lambda_i A \vec{v}_i$$

Ecuación 10 Eigenvalores y eigenvectores

$$u_i = A \vec{v}_i$$

$$C' u_i = \lambda_i u_i$$

6. Por último, se escogen los componentes principales más importantes teniendo en cuenta que el número de componentes debe ser menor o igual al número de imágenes, obteniendo así el vector de características como se muestra en la ecuación 11, que contiene los vectores propios de los componentes que decidimos mantener. En la figura 37 podemos ver un ejemplo de 3 componentes principales. Posterior a esto aplicamos una combinación lineal de los eigenvectores multiplicando cada uno de sus coeficientes como se muestra en la ecuación 12, donde: W_j son los pesos que describen la contribución de cada eigenvector en representación de la imagen de entrada y U_j son los eigenvectores.

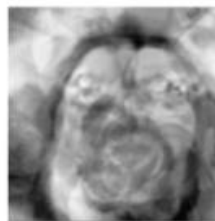
Ecuación 11 Vector de características

$$x_i = [w_1^i \ w_2^i \ w_3^i \ w_k^i]$$

Ecuación 12 Combinación lineal

$$a_m = \sum_{j=1}^k W_j U_j$$

Ilustración 20 Ejemplo de tres componentes principales



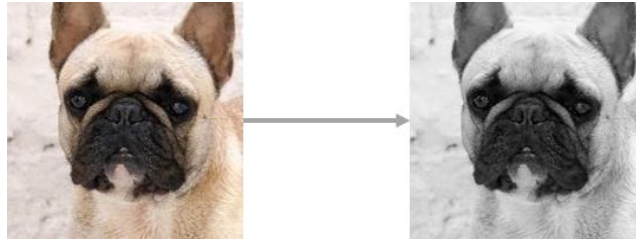
Fuente: Los Autores

4.3.2. LBPH

Es una técnica altamente usada para el reconocimiento facial, visión por computador y representación de texturas. Para la extracción de características de una imagen, esta técnica toma cada uno de los píxeles de la imagen teniendo en cuenta la distribución de sus adyacentes. El algoritmo de LPB trabaja con imágenes de un único canal, en el presente trabajo las imágenes se convierten previamente en escala de grises como se evidencia

en la ilustración 21. A continuación, se mencionan los parámetros necesarios y los pasos para el cálculo de LBPH.

Ilustración 21 Imagen original y en escala de grises



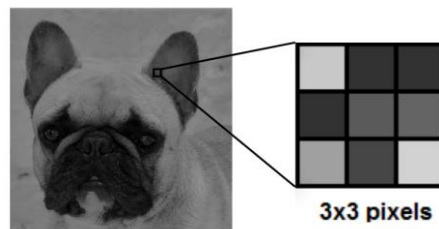
Fuente: los autores

Parámetros:

- **Vecinos:** La cantidad de vecinos del píxel que se van a tomar
- **Radio:** Define el radio que tiene a partir del píxel a evaluar o píxel central con sus píxeles vecinos
- **Grillas X:** Cantidad de grillas en X que se van a aplicar
- **Grillas Y:** Cantidad de grillas en Y que se van a aplicar

1. Se selecciona un píxel de la imagen en escala de grises con sus adyacentes, en este caso se toma una región de 3x3 píxeles donde el píxel central tiene 8 vecinos, el cual será el eje central de análisis y el que se encarga de recorrer la imagen iterativamente, tal y como se evidencia en la ilustración 22.

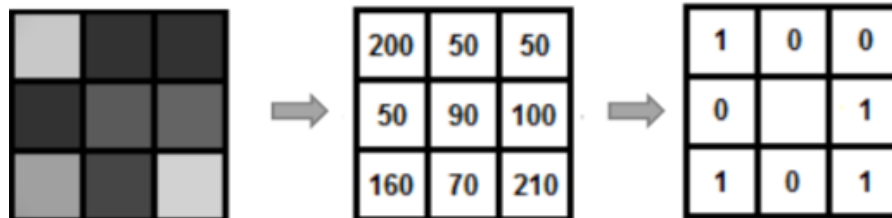
Ilustración 22 Representación de matriz de píxeles



Fuente: los autores

- El píxel central es comparado con sus adyacentes, en caso de que algún adyacente sea mayor o igual al píxel central, se asigna el valor de 1 en la posición del píxel, de lo contrario se asigna un valor de 0 a dicha posición como se muestra en la ilustración x.

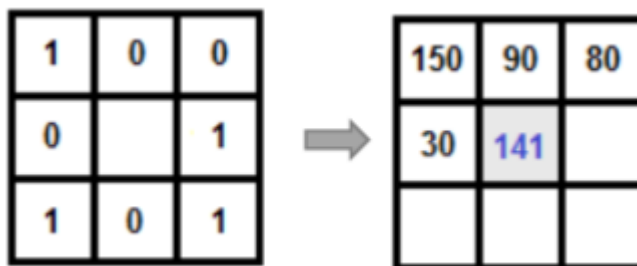
Ilustración 23 Valores binarios en matriz de píxeles



Fuente: los autores

- Una vez se haya calculado la matriz de dimensión 3x3 en valores binarios, sin tener en cuenta el valor del umbral, se concatenan cada uno de estos valores en sentido de las manecillas del reloj. Posteriormente el valor binario obtenido se transforma en su equivalente decimal para así establecer el nuevo valor central de la matriz como se muestra en la ilustración 24.

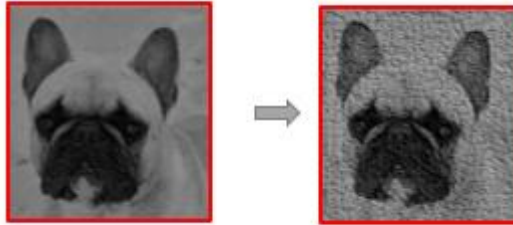
Ilustración 24 Valores decimales en matriz de píxeles



Fuente: los autores

Los pasos mencionados anteriormente se realizan para cada uno de los píxeles que contienen las imágenes, de esta manera se obtiene la representación de la imagen original en LBP tal y como se evidencia en la ilustración 25.

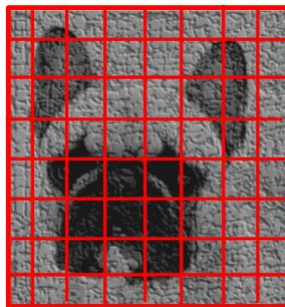
Ilustración 25 Resultado LBP



Fuente: los autores

4. Con el resultado de LBP, se extraen cada uno de los histogramas necesarios haciendo uso de los parámetros *Grillas x* y *Grillas y*, esto con el fin de dividir la imagen en cuadrículas como se puede observar en la ilustración 26.

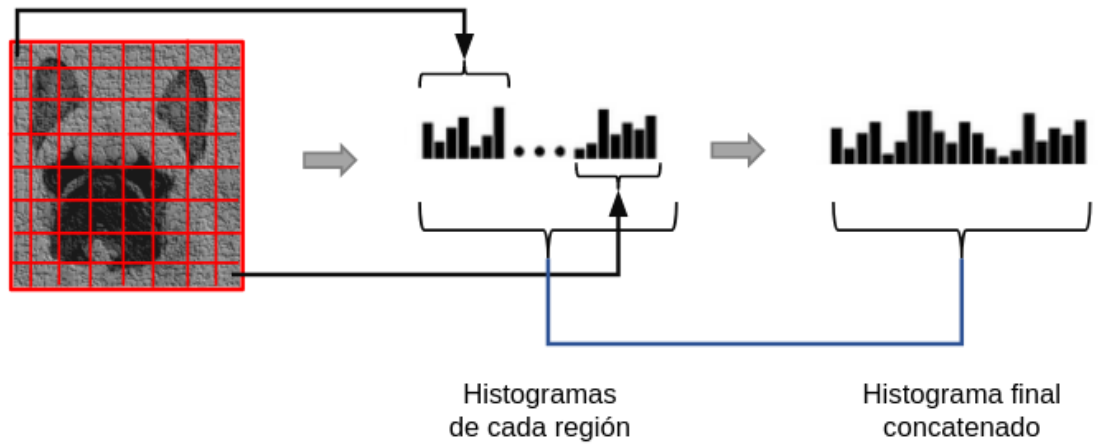
Ilustración 26 Imagen LBP con grillas



Fuente: los autores

5. Los histogramas son calculados por cada región que es segmentada por las grillas en *x* y *y*, donde posteriormente se concatenan para así obtener un solo histograma que representa la imagen como se muestra en la ilustración 27.

Ilustración 27 Concatenación de histogramas



Fuente: Los Autores

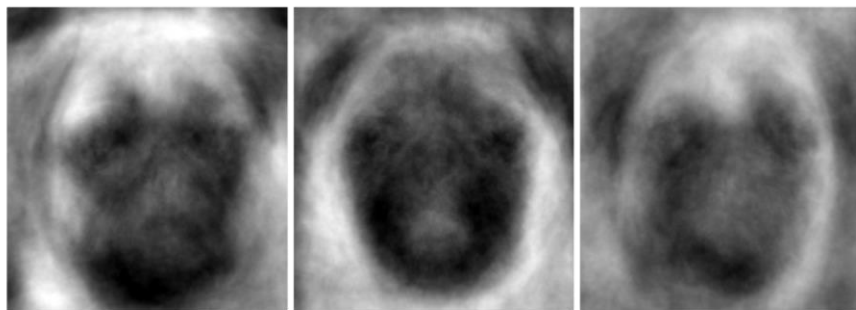
4.4. Base de datos de imágenes de características

Una vez se realiza la extracción de características de las imágenes con las técnicas eigenfaces y LBPH en las fases, online y offline, los resultados obtenidos se segmentan en dos carpetas de la siguiente manera:

- Resultados extracción de características

En esta carpeta se almacenan cada una de las imágenes resultado por sujeto (tanto de gatos como de perros) de las técnicas eigenfaces y LBPH en ambas fases, online y offline como se evidencia en las ilustraciones 28 y 29 respectivamente.

Ilustración 28 Ejemplo de resultados de Eigenfaces



Fuente: Los Autores

Ilustración 29 Ejemplo de resultados de LBP



Fuente: Los Autores

- Resultados histogramas

Los histogramas son la representación gráfica de las imágenes resultado, los valores de estos histogramas son tomados junto con las rutas de cada una de las imágenes con el fin de obtener las características que le pertenecen a cada una de estas. En la ilustración 30, se observa la estructura de este archivo, el cual se guarda en formato .CSV.

Ilustración 30 Archivo histogramas de características

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	4.Resultados_ext_caracteristicas/LBPH_Perros/1...	1468.0	40.0	200.0	262.0	20.0	2.0	188.0	385.0	166.0	185.0	24.0	733.0	9.0	2.0	27.0	
1	4.Resultados_ext_caracteristicas/LBPH_Perros/1...	2694.0	240.0	415.0	262.0	239.0	70.0	195.0	340.0	233.0	211.0	74.0	356.0	52.0	65.0	44.0	
2	4.Resultados_ext_caracteristicas/LBPH_Perros/1...	2442.0	228.0	256.0	233.0	229.0	45.0	219.0	296.0	379.0	225.0	61.0	300.0	59.0	37.0	69.0	
3	4.Resultados_ext_caracteristicas/LBPH_Perros/1...	2434.0	241.0	277.0	222.0	209.0	56.0	213.0	266.0	322.0	234.0	58.0	337.0	50.0	35.0	36.0	
4	4.Resultados_ext_caracteristicas/LBPH_Perros/1...	2160.0	127.0	577.0	237.0	109.0	17.0	279.0	241.0	187.0	146.0	51.0	296.0	28.0	23.0	29.0	
...
540	4.Resultados_ext_caracteristicas/LBPH_Perros/9...	2057.0	160.0	168.0	170.0	153.0	45.0	168.0	294.0	330.0	214.0	57.0	365.0	51.0	37.0	62.0	
541	4.Resultados_ext_caracteristicas/LBPH_Perros/9...	2168.0	185.0	299.0	157.0	208.0	63.0	179.0	195.0	214.0	135.0	50.0	274.0	51.0	28.0	44.0	
542	4.Resultados_ext_caracteristicas/LBPH_Perros/9...	2241.0	212.0	324.0	287.0	192.0	48.0	300.0	336.0	318.0	245.0	84.0	331.0	49.0	45.0	63.0	
543	4.Resultados_ext_caracteristicas/LBPH_Perros/9...	2262.0	239.0	516.0	256.0	167.0	65.0	193.0	291.0	218.0	199.0	57.0	346.0	32.0	35.0	45.0	
544	4.Resultados_ext_caracteristicas/LBPH_Perros/9...	2306.0	187.0	352.0	143.0	144.0	34.0	129.0	197.0	274.0	176.0	54.0	363.0	28.0	32.0	38.0	

545 rows x 257 columns

Fuente: los autores

4.5. Medidas de similitud

Para calcular la distancia de los valores de las características entre los archivos de consulta y los archivos de la base de datos, se utilizaron la distancia de Manhattan y la distancia Euclidiana.

La estructura del archivo de medidas de similitud, se muestra en la ilustración 31, donde en la primera columna se almacenan las rutas de cada una de las imágenes de consulta, en la segunda columna se encuentra los nombres de los sujetos de consulta junto con su respectiva raza, la tercera columna corresponde a la ruta de cada una de las imágenes que conforman el conjunto de imágenes, en la cuarta columna se encuentran los nombres y las razas de los sujetos del conjunto de imágenes y por último, en la quinta columna se almacena el valor de la distancia entre las imágenes comparadas.

Ilustración 31 Representación de la estructura de medidas de similitud

	0	1	2	3	4
0	# Ruta Query	# Sujetos Query	# Ruta Dataset	# Sujetos Dataset	# Valor Distancia Euclidiana
1	4.Resultados_ext_caracteristicas/Eigen_Perros_...	32_Duke_Pug	4.Resultados_ext_caracteristicas/Eigen_Perros/...	13_Dakota_Husky	28575
2	4.Resultados_ext_caracteristicas/Eigen_Perros_...	32_Duke_Pug	4.Resultados_ext_caracteristicas/Eigen_Perros/...	13_Dakota_Husky	35115
3	4.Resultados_ext_caracteristicas/Eigen_Perros_...	32_Duke_Pug	4.Resultados_ext_caracteristicas/Eigen_Perros/...	13_Dakota_Husky	32020
4	4.Resultados_ext_caracteristicas/Eigen_Perros_...	32_Duke_Pug	4.Resultados_ext_caracteristicas/Eigen_Perros/...	13_Dakota_Husky	31215
...
541	4.Resultados_ext_caracteristicas/Eigen_Perros_...	32_Duke_Pug	4.Resultados_ext_caracteristicas/Eigen_Perros/...	98_Yago_Mixto	10490
542	4.Resultados_ext_caracteristicas/Eigen_Perros_...	32_Duke_Pug	4.Resultados_ext_caracteristicas/Eigen_Perros/...	98_Yago_Mixto	33298
543	4.Resultados_ext_caracteristicas/Eigen_Perros_...	32_Duke_Pug	4.Resultados_ext_caracteristicas/Eigen_Perros/...	98_Yago_Mixto	61588
544	4.Resultados_ext_caracteristicas/Eigen_Perros_...	32_Duke_Pug	4.Resultados_ext_caracteristicas/Eigen_Perros/...	98_Yago_Mixto	43389
545	4.Resultados_ext_caracteristicas/Eigen_Perros_...	32_Duke_Pug	4.Resultados_ext_caracteristicas/Eigen_Perros/...	98_Yago_Mixto	46207

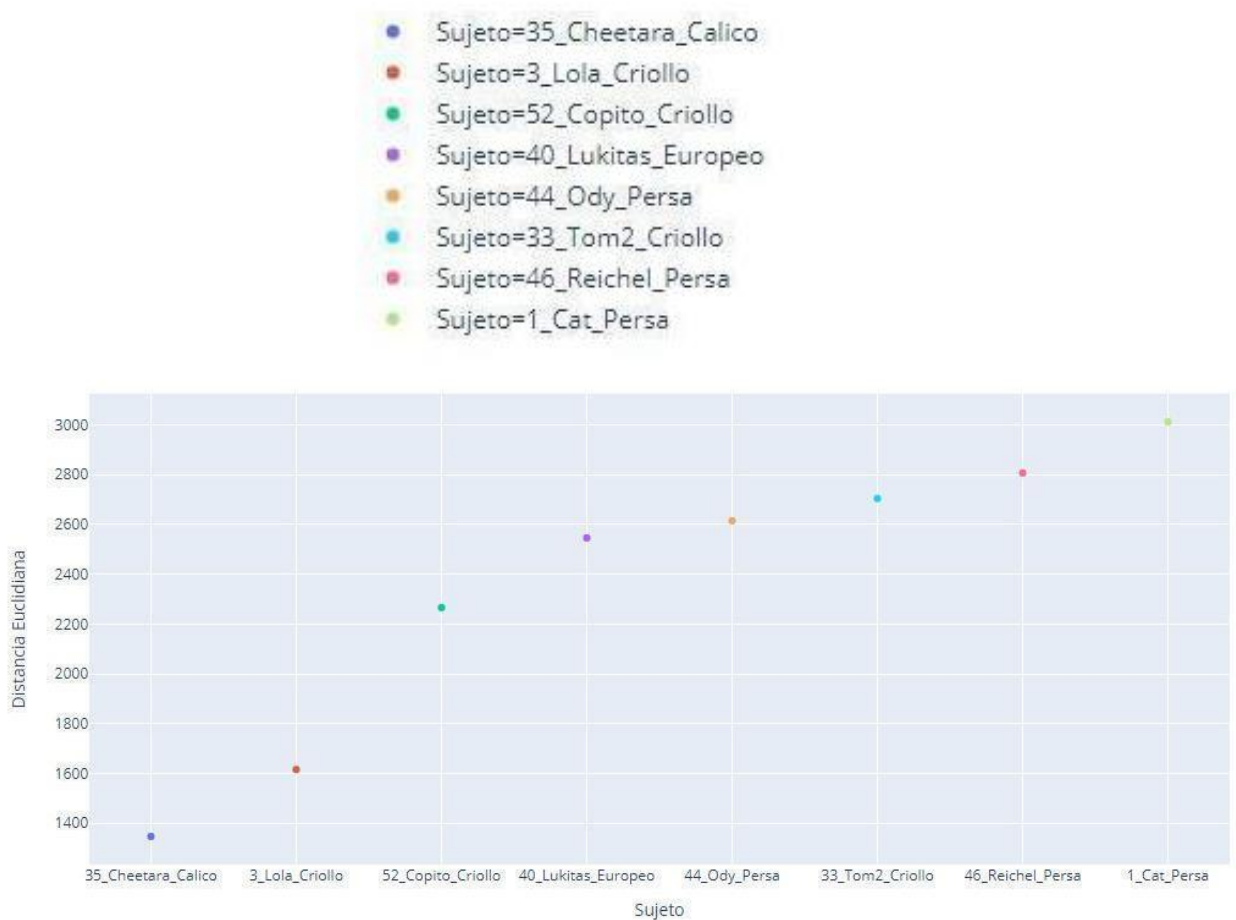
546 rows × 5 columns

Fuente: los autores

4.6. Ranking de imágenes recuperadas

En esta etapa se realizó un ranking de 3 imágenes por cada imagen de consulta como se evidencia en la ilustración 32, debido a que este número corresponde a la menor cantidad de imágenes que se obtuvieron por cada sujeto dentro del conjunto de imágenes. Una vez se calcularon las medidas de similitud, estos valores se ordenan ascendientemente, ya que mientras más pequeña sea la distancia entre dos imágenes, mayor será la similitud entre estas dos. Los resultados de este ordenamiento se almacenaron en un archivo .CSV ya que, son insumos importantes para el cálculo de las métricas de desempeño.

Ilustración 32 Ranking de imágenes recuperadas



Fuente: los autores

4.7. Métricas de desempeño

En esta etapa, se realizó la medición del desempeño del modelo propuesto. Para esto, se utilizaron las métricas *precision at K*, *recall at K* y *F1-score at k* para cada imagen del conjunto de imágenes y, *Average Precision at k* junto con *Mean Average Precision at K* para cada una de las técnicas de reconocimiento facial utilizadas. Los resultados que se obtuvieron una vez realizado el ranking de las imágenes recuperadas, se muestran a continuación.

Tabla 1 Resultados de Eigenfaces aplicado al conjunto de imágenes de gatos

Técnica	EIGENFACES GATOS					
	Distancia Manhattan			Distancia Euclidiana		
K-Componentes	Precision at 3	Recall at 3	F1 Score at 3	Precision at 3	Recall at 3	F1 Score at 3
K2	3.70%	1.64%	2.14%	2.47%	0.71%	1.08%
K3	4.94%	2.84%	3.45%	2.47%	0.71%	1.08%
K5	6.17%	2.36%	3.24%	6.17%	2.36%	3.24%
K20	8.64%	3.93%	5.16%	8.64%	3.93%	5.16%
K50	4.94%	2.44%	3.14%	4.94%	2.44%	3.14%
K545	3.70%	1.02%	1.56%	3.70%	1.02%	1.56%

Fuente: Los Autores

Tabla 2 Resultados de Eigenfaces aplicado al conjunto de imágenes de perros

Técnica	EIGENFACES PERROS					
	Distancia Manhattan			Distancia Euclidiana		
K-Componentes	Precision at 3	Recall at 3	F1 Score at 3	Precision at 3	Recall at 3	F1 Score at 3
K2	3.81%	1.22%	1.79%	3.33%	1.15%	1.67%
K3	3.81%	1.22%	1.79%	2.86%	1.23%	1.67%
K5	2.38%	1.19%	1.52%	3.33%	1.32%	1.80%
K20	2.86%	1.30%	1.75%	2.86%	1.19%	1.63%
K50	3.33%	1.80%	2.27%	4.29%	2.15%	2.72%
K545	1.90%	0.62%	0.92%	1.90%	0.90%	1.19%

Fuente: Los Autores

Tabla 3 Resultados de LBPH aplicado al conjunto de imágenes de gatos

Técnica	LBPH Gatos		
	Precision at 3	Recall at 3	F1 Score at 3
Distancia Manhattan	20.99%	13.39%	16.08%
Distancia Euclidiana	16.05%	10.38%	12.42%

Fuente: Los Autores

Tabla 4 Resultados de LBPH aplicado al conjunto de imágenes de perros

Técnica	LBPH PERROS		
	Precision at 3	Recall at 3	F1 Score at 3
Distancia Manhattan	16.67%	6.17%	8.68%
Distancia Euclidiana	11.9%	4.77%	6.56%

Fuente: Los Autores

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Construcción conjunto de datos

Como resultado de la creación del conjunto de datos de imágenes en la fase offline del experimento, se obtuvieron un total de 642 imágenes de perros y un total de 350 imágenes de gatos.

Una vez finalizada la etapa de preprocesamiento, se realizó una limpieza al conjunto de imágenes obtenidas, en el cual se eliminaron imágenes que no aportaban al proceso. Adicionalmente, no se tuvieron en cuenta los sujetos que contaban con 1,2 o 3 imágenes. Como resultado, el conjunto de imágenes para la fase offline se conformó por un total de 545 imágenes correspondientes a 70 perros y 151 imágenes que corresponden a un total de 27 gatos como se muestra en la ilustración 33.

Ilustración 33 Resultado construcción del conjunto de imágenes fase offline

Nombre carpeta	Número de sujetos	Cantidad de imágenes
DATASET_PERROS	70	545
DATASET_GATOS	27	151

Fuente: Los Autores

De manera similar al conjunto de imágenes de la fase offline, en el conjunto de imágenes de consulta previo a la realización del preprocesamiento, se obtuvieron 104 imágenes de perros y 116 imágenes de gatos. Al realizar el respectivo preprocesamiento a estas imágenes, como resultado final se contaron con 70 imágenes en el caso de los perros y 27 en el caso de los gatos, tal y como se evidencia en la ilustración 34.

Ilustración 34 Resultado construcción del conjunto de imágenes fase online

Nombre carpeta	Número de sujetos	Cantidad de imágenes
DATASET_PERROS_QUERY	70	70
DATASET_GATOS_QUERY	27	27

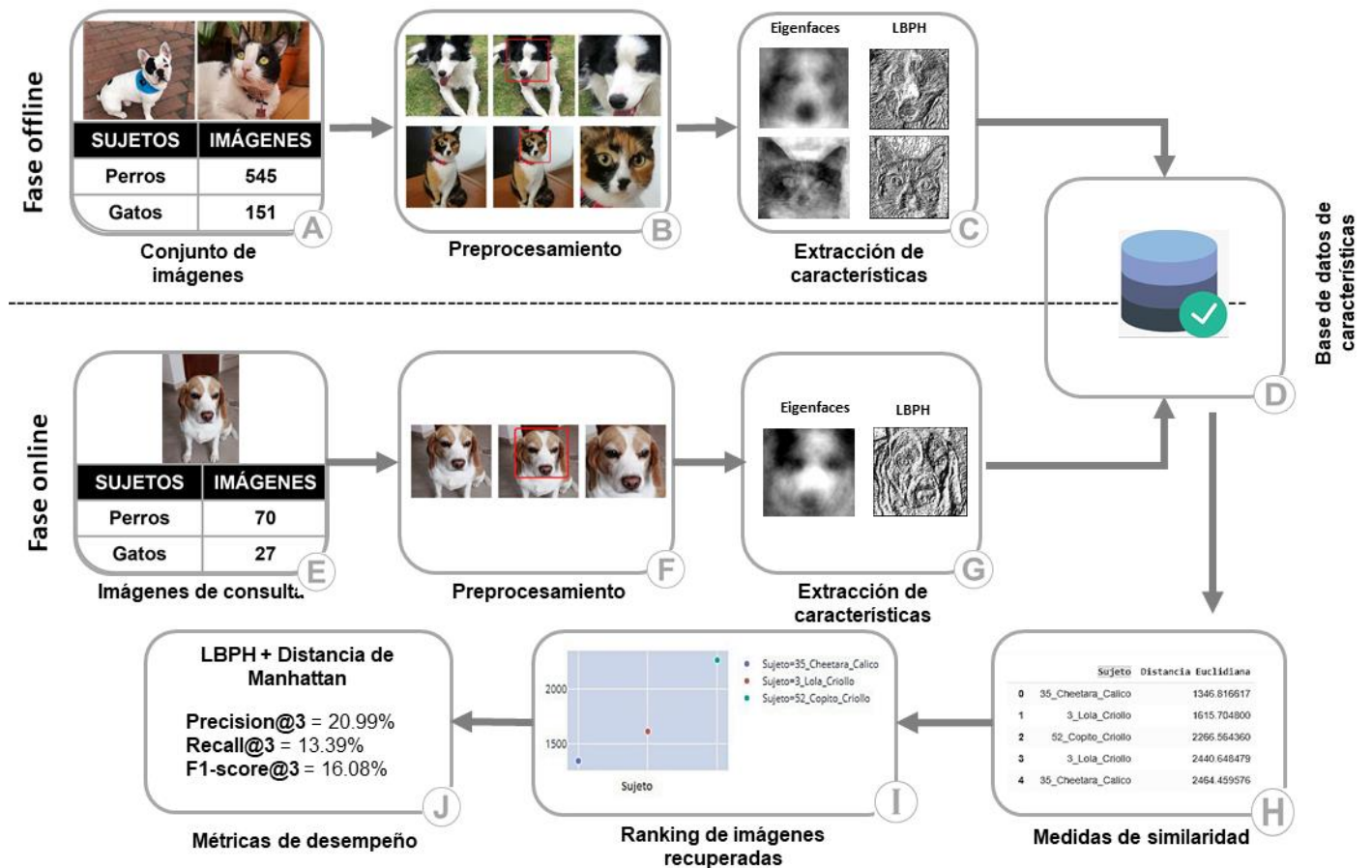
Fuente: Los Autores

Las imágenes obtenidas para la construcción del conjunto de imágenes contaban con diferentes extensiones como .JPEG, .JPG y .PNG las cuales fueron transformadas al formato .JPG. Si bien, no existe una diferencia entre los formatos .JPEG y .JPG en cuanto a la compresión de las imágenes, el formato .PNG se descartó ya que, este tipo de imágenes son idealmente utilizadas para trabajar con textos, logotipos y transparencias, lo que hace que los archivos sean mucho más pesados respecto a los .JPG. Este último formato es más liviano y utilizado especialmente para imágenes fotográficas.

5.2. Diseño de la estrategia metodológica

A continuación, en la ilustración 35, se evidencian los resultados obtenidos en cada una de las etapas del diseño de la estrategia metodológica:

Ilustración 35 Resultados del diseño de la estrategia metodológica



Fuente: Los Autores

Una vez finalizada la investigación del estado del arte para el presente proyecto, se diseñó una estrategia metodológica la cual está conformada por dos fases: offline y online con once etapas la cual fue aplicada para la recuperación de imágenes de perros y gatos, donde en total se recolectaron 545 y 151 imágenes respectivamente para el conjunto de imágenes como se evidencia en el inciso A de la ilustración 35.

En el inciso B de la ilustración 35 se realizó el preprocesamiento de las imágenes correspondientes a cada uno de los conjuntos de imágenes, las cuales fueron redimensionadas a 180 x 180 px. En la tercera etapa se realizó la extracción de características de las imágenes con LBPH y Eigenfaces, el cual se utilizaron para el conjunto de imágenes de perros y gatos como se evidencia en el inciso C de la ilustración 35. Una vez ejecutada esta etapa los resultados de los histogramas se almacenan en la base de datos de características la cual se encuentra en Google Drive.

Para la fase online se realizan las mismas etapas de preprocesamiento, extracción de características y almacenamiento de la base de datos de características pero en este caso para el conjunto de imágenes de consulta, en el cual se obtuvieron un total de 70 imágenes para perros y 27 imágenes para gatos como se evidencia en el inciso E de la ilustración 35.

En el inciso D, se encuentran los archivos .CSV con las características de las imágenes una vez pasaron por las dos técnicas de extracción de características utilizadas. Estos archivos generados tanto para la fase offline como para la online, son utilizados en la etapa del inciso H para así calcular la similaridad entre las imágenes utilizando la distancia euclidiana y la distancia de manhattan, donde esta última obtuvo mejores resultados con todas las técnicas planteadas. En el inciso I, se realizó el ranking de las imágenes recuperadas organizando ascendentemente los valores obtenidos en la etapa anterior para así obtener un top 3 de imágenes más parecidas a las de consulta.

Por último, se realizó la evaluación del rendimiento del modelo por cada una de las técnicas utilizadas, es decir, se evaluaron las técnicas eigenfaces y LBPH junto con cada medida de similaridad tanto para el conjunto de imágenes de perros como el de gatos. Los resultados demuestran que la mejor técnica de reconocimiento facial es LBPH y la mejor medida de similaridad es la distancia de manhattan como se observa en el inciso J de la ilustración 35.

5.3. Desarrollo del modelo computacional

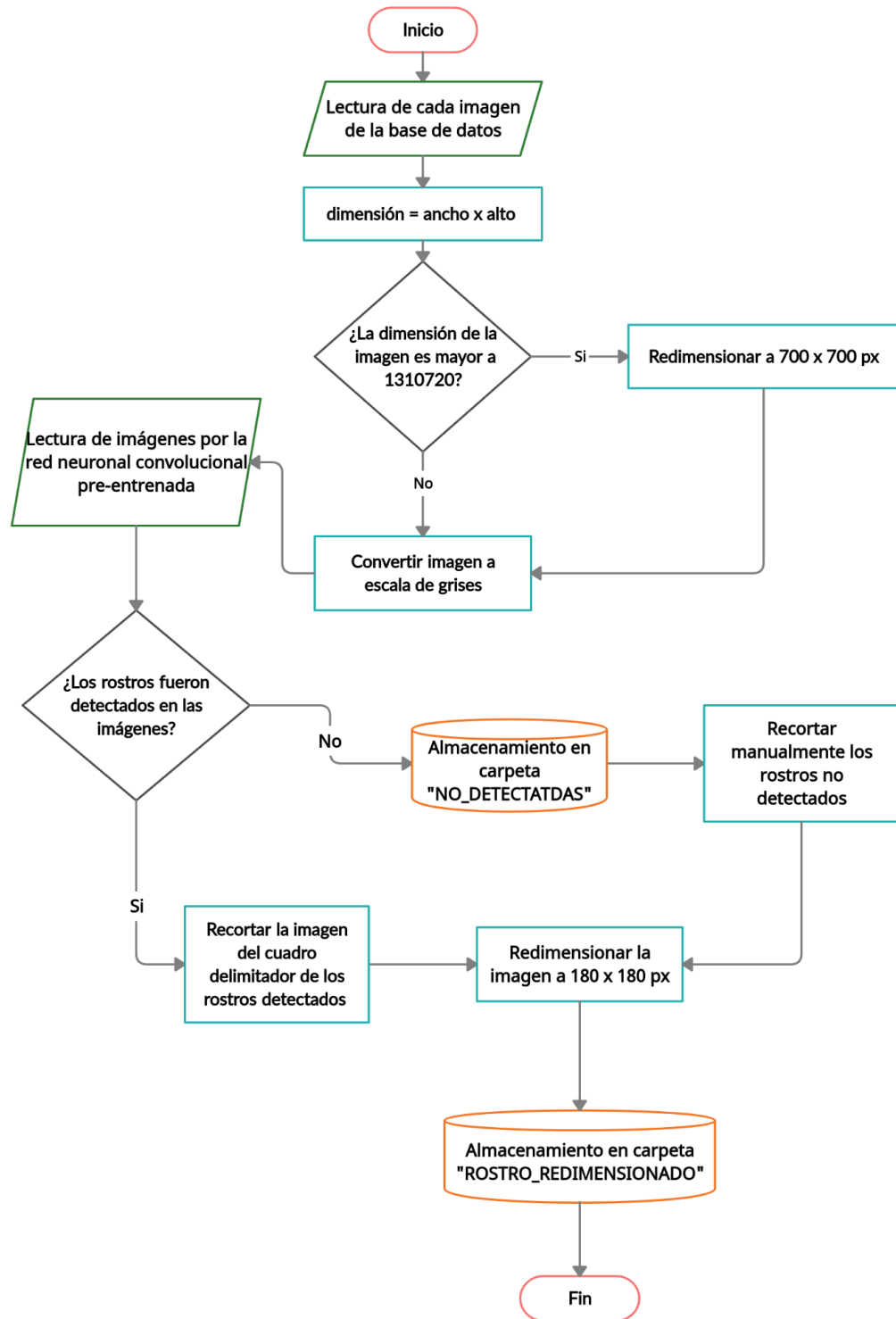
A continuación, se presentan los diagramas de flujo correspondientes a cada una de las etapas que se desarrollaron en la metodología.

En el diagrama de flujo de la etapa de preprocesamiento que se muestra en la ilustración 36, se realizó la normalización de las imágenes, donde se inicia con un proceso de redimensión de aquellas imágenes que superan un ancho y alto de 700 x 700 px, para posteriormente ser procesadas por la red neuronal convolucional pre-entrenada que se encarga de la identificación facial de las mascotas; de este paso obtenemos un cuadro delimitador, el cual señala la parte facial reconocida y la cual se procede a recortar para luego ser redimensionada a 180 x 180 px, guardandola finalmente en formato .JPG.

Las librerías utilizadas en la etapa de preprocesamiento son las siguientes:

- `from google.colab import drive`
Esta librería se usa para activar y conectar Colab con Google Drive en entorno de ejecución con un código de autorización, permitiendo la lectura, escritura y transferencia de archivos.
- `import cv2`
Esta librería se usa para la lectura, modificación y escritura de imágenes.
- `import numpy`
Esta librería se utiliza especialmente para crear vectores y matrices grandes multidimensionales.
- `import os`
Esta librería se utiliza para el manejo de archivos y directorios almacenados en Drive.
- `import dlib`
La librería `dlib` escrita en C++, permite utilizar la clase `cnn_face_detection_model_v1` junto con el modelo pre-entrenado `DogHeadDetector.dat` para el reconocimiento facial tanto de gatos como de perros.

Ilustración 36 Diagrama de flujo del preprocesamiento



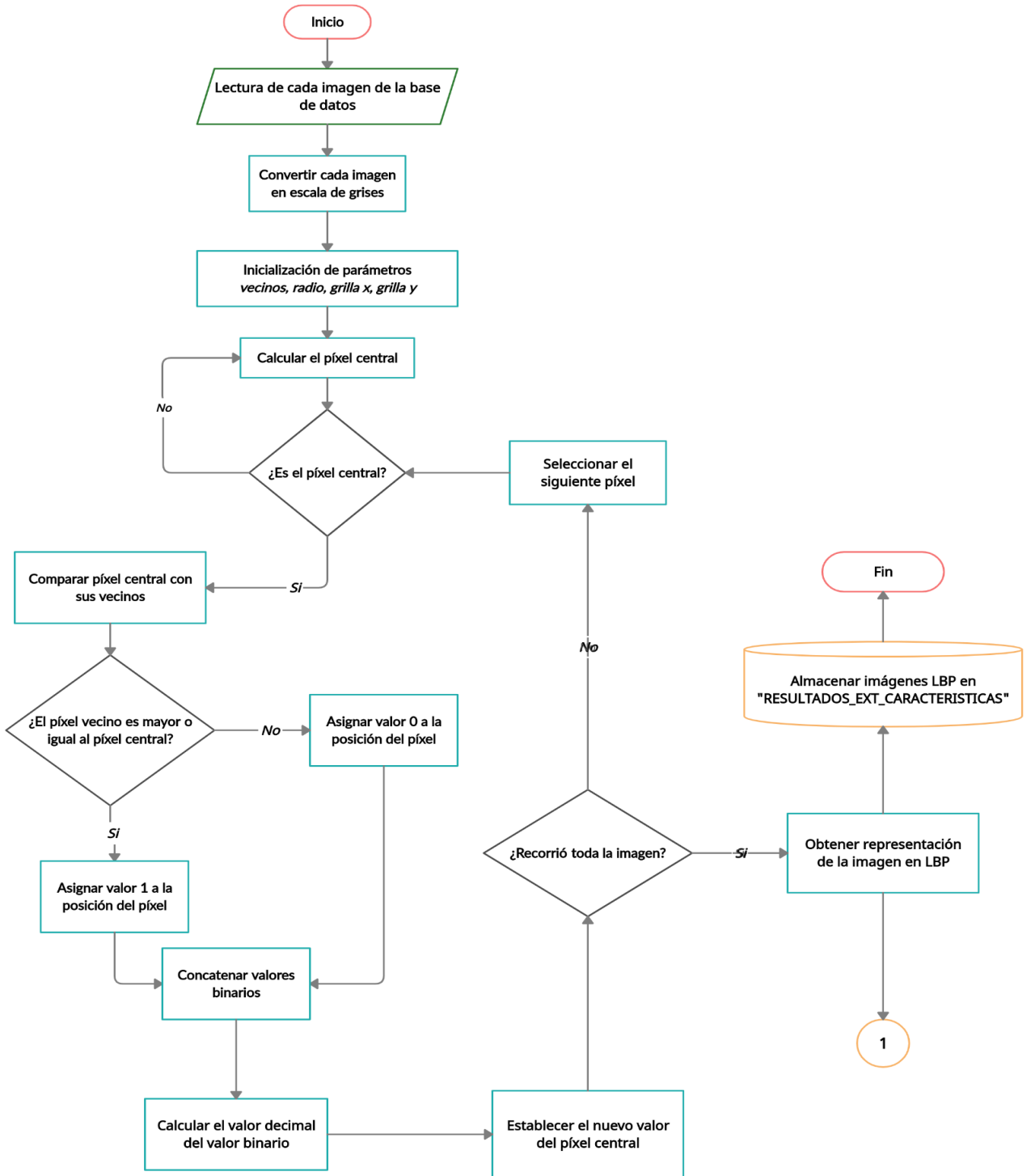
Fuente: Los Autores

Los diagramas de las ilustraciones 37 y 38 corresponden a la etapa de extracción de características con la técnica LBPH, en donde en la primera ilustración se evidencia la realización de una serie de cálculos dentro de una imagen, es decir, píxel a píxel, teniendo en cuenta el píxel central de la imagen y los parámetros *radio* y *vecinos*. De lo anterior, se obtiene una imagen LBP la cual se almacena en extensión .JPG. En la segunda ilustración se evidencia la conversión de las imágenes digitales almacenadas en histogramas. Cabe destacar que estos histogramas toman valores de 0 a 256 ya que estas se encuentran en escala de grises. Por último, estos histogramas son almacenados en archivos de texto plano .CSV por cada una de las imágenes procesadas.

Las librerías utilizadas en la etapa de preprocesamiento son las siguientes:

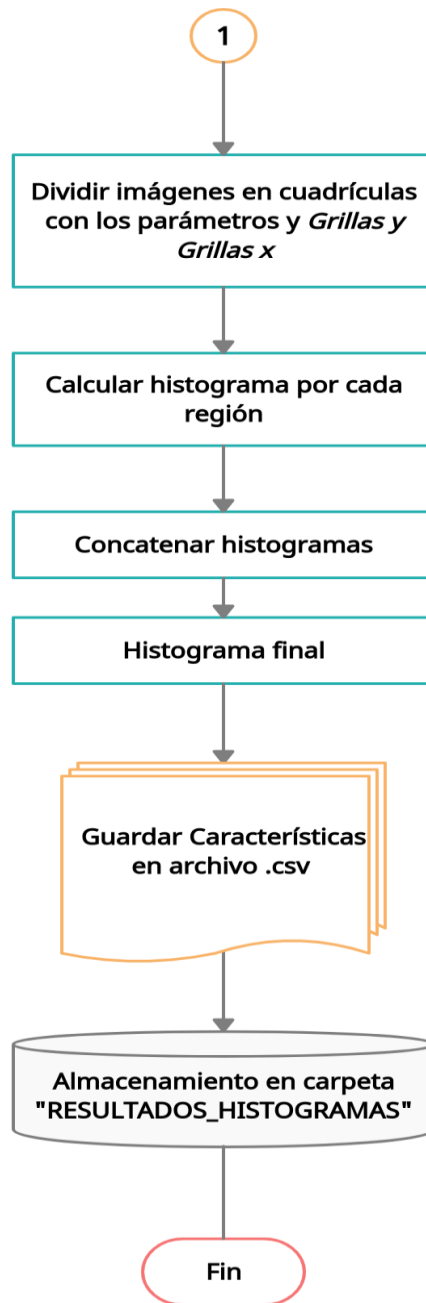
- `from google.colab import drive`
Esta librería se usa para activar y conectar Colab con Google Drive en entorno de ejecución con un código de autorización, permitiendo la lectura, escritura y transferencia de archivos.
- `import cv2`
Esta librería se usa para la lectura, modificación y escritura de imágenes e histogramas.
- `import numpy`
Esta librería se utiliza especialmente para crear vectores y matrices grandes multidimensionales.
- `import os`
Esta librería se utiliza para el manejo de archivos y directorios almacenados en Drive.

Ilustración 37 Diagrama de flujo 1 - LBPH



Fuente: Los Autores

Ilustración 38 Diagrama de flujo 2 - LBPH



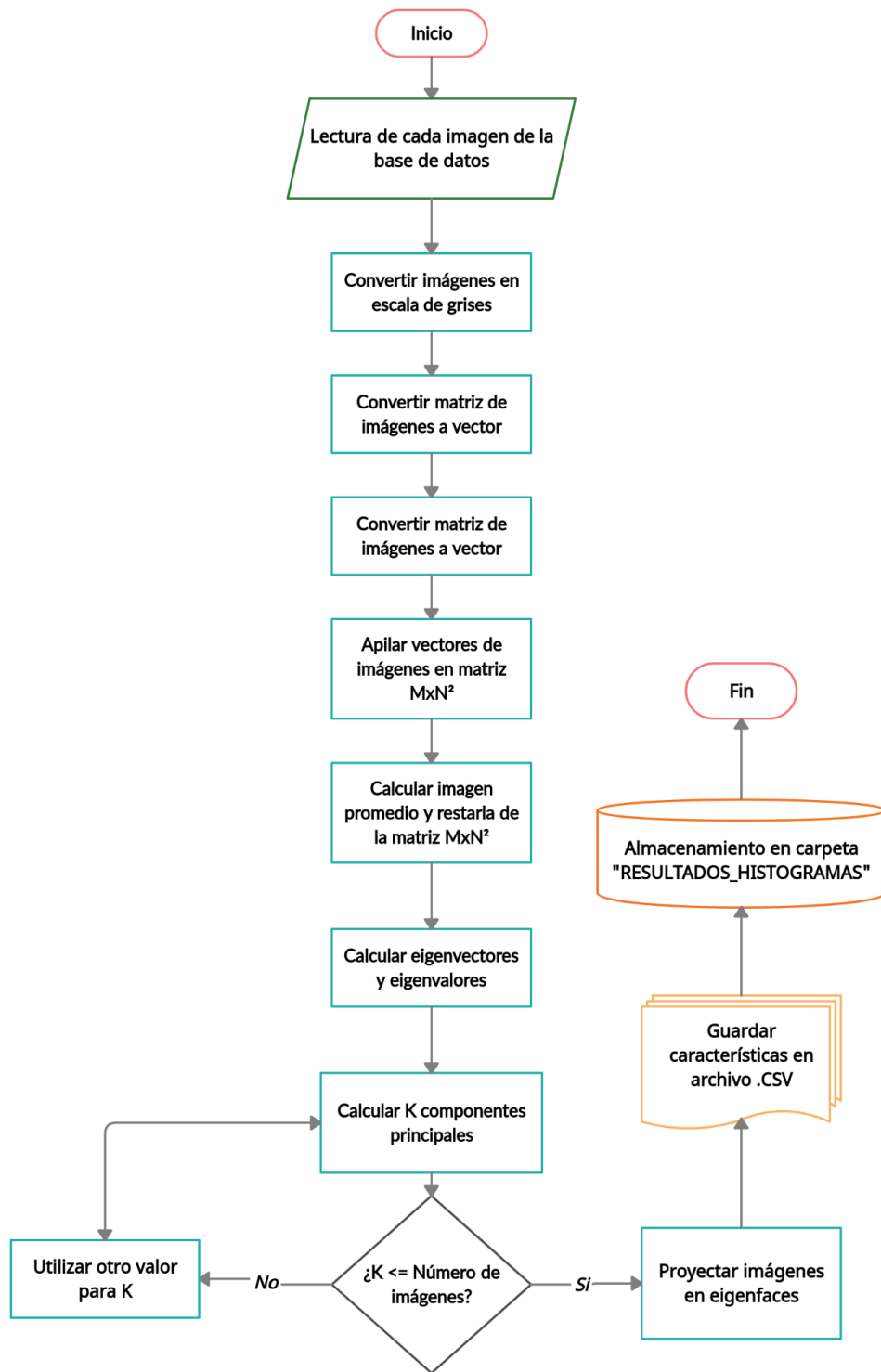
Fuente: Los Autores

Para la técnica de Eigenfaces como se muestra en la ilustración 39, se concatenan cada una de las imágenes en una matriz para luego obtener los vectores propios y valores propios de la matriz de covarianza y de esta manera, realizar un análisis de componentes principales. De lo anterior se obtiene como resultado una imagen eigenfaces y un archivo plano .CSV el cual almacena las características extraídas por esta técnica y se representa a través del histograma final por imagen.

Las librerías utilizadas para el desarrollo de la técnica LBPH son las siguientes:

- `from google.colab import drive`
Esta librería se usa para activar y conectar Colab con Google Drive en entorno de ejecución con un código de autorización, permitiendo la lectura, escritura y transferencia de archivos.
- `import cv2`
Esta librería se usa para la lectura, modificación y escritura de imágenes e histogramas.
- `import numpy`
Esta librería se utiliza especialmente para crear vectores y matrices grandes multidimensionales.
- `import os`
Esta librería se utiliza para el manejo de archivos y directorios almacenados en Drive.
- `from sklearn.decomposition import PCA`
Esta librería se utilizó para la aplicación del análisis de componentes principales (Principal Component Analysis, PCA).
- `import numpy.linalg as linalg`
Esta librería se utilizó para el manejo de las funciones de álgebra lineal.
- `import time`
Esta librería se utilizó para la espera de creación de los archivos en el Drive y una vez realizado esto, el código continúa con normalidad.

Ilustración 39 Diagrama de flujo - Eigenfaces



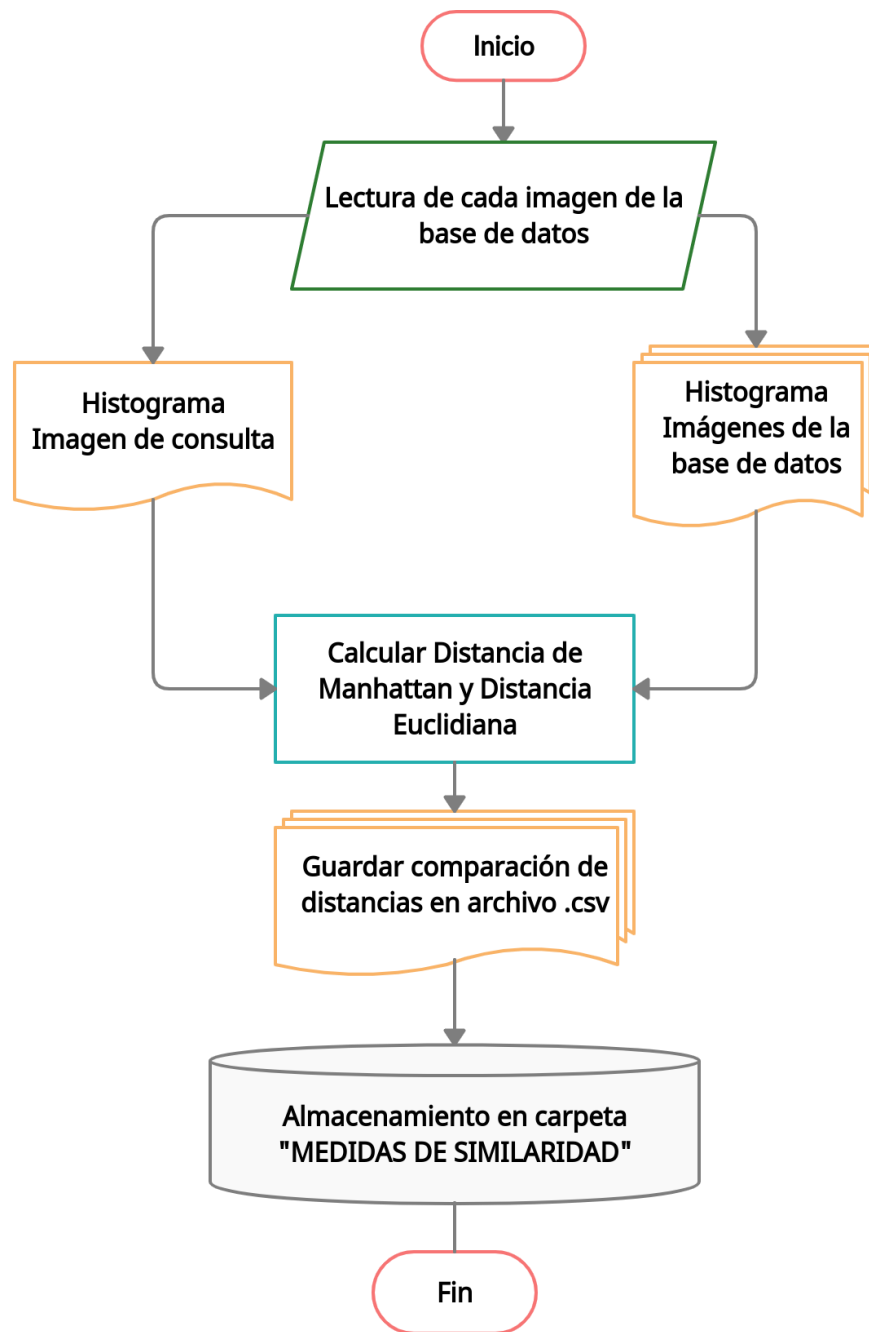
Fuente: Los Autores

Para la etapa de las medidas de similaridad, como se evidencia en la ilustración 40, se realizó la lectura de los archivos de histogramas de las técnicas LBPH y Eigenfaces de las dos fases; las imágenes de consulta y las imágenes de la base de datos. Posterior a ello, se calcula la Distancia de Manhattan y la Distancia Euclideana entre los dos histogramas, obteniendo un valor por cada imagen comparada, estos datos fueron almacenados en un archivo plano con formato .CSV.

Las librerías utilizadas para el desarrollo de las medidas de similaridad, son las siguientes:

- `from google.colab import drive`
Esta librería se usa para activar y conectar Colab con Google Drive en entorno de ejecución con un código de autorización, permitiendo la lectura, escritura y transferencia de archivos.
- `import cv2`
Esta librería se usa para la lectura, modificación y escritura de imágenes e histogramas.
- `import numpy`
Esta librería se utiliza especialmente para crear vectores y matrices grandes multidimensionales.
- `import os`
Esta librería se utiliza para el manejo de archivos y directorios almacenados en Drive.
- `import math`
Esta librería proporciona acceso a las funciones matemáticas logarítmicas y exponenciales como la raíz cuadrada (`sqrt`) y la potencia (`pow`), las cuales fueron fundamentales para el cálculo de las distancias.

Ilustración 40 Diagrama de flujo – Medidas de similitud



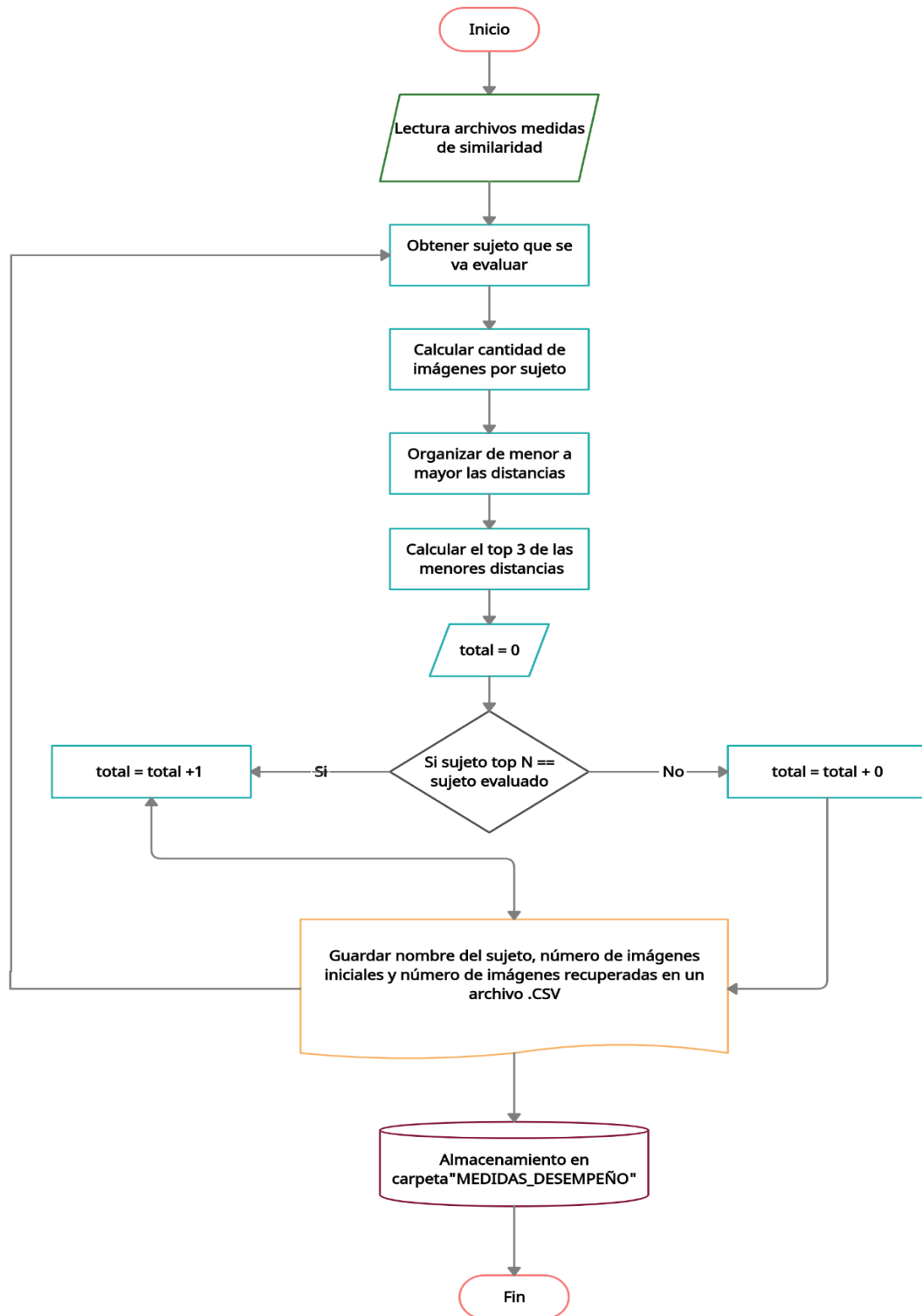
Fuente: Los Autores

En la ilustración 41, se muestra el diagrama de flujo para la etapa del ranking de las imágenes en el cual se realizó la lectura de los archivos planos resultado de la etapa anterior (medidas de similaridad), donde se organizan los valores de menor a mayor. Seguido de esto, se obtuvieron las tres primeras posiciones de los valores ordenados, donde se encuentran los nombres de los sujetos que más similitud tienen con la imagen de consulta.

Las librerías utilizadas en la etapa del ranking de las imágenes recuperadas son las siguientes:

- `from google.colab import drive`
Esta librería se usa para activar y conectar Colab con Google Drive en entorno de ejecución con un código de autorización, permitiendo la lectura, escritura y transferencia de archivos.
- `import cv2`
Esta librería se usa para la lectura, modificación y escritura de imágenes e histogramas.
- `import numpy`
Esta librería se utiliza especialmente para crear vectores y matrices grandes multidimensionales.
- `import os`
Esta librería se utiliza para el manejo de archivos y directorios almacenados en Drive.
- `import pandas`
Esta librería se utiliza para la lectura y manipulación de archivos en formato .CSV, lo que permite organizar los datos y adicionalmente crear nuevos archivos en el mismo formato.

Ilustración 41 Diagrama de flujo – Ranking de imágenes



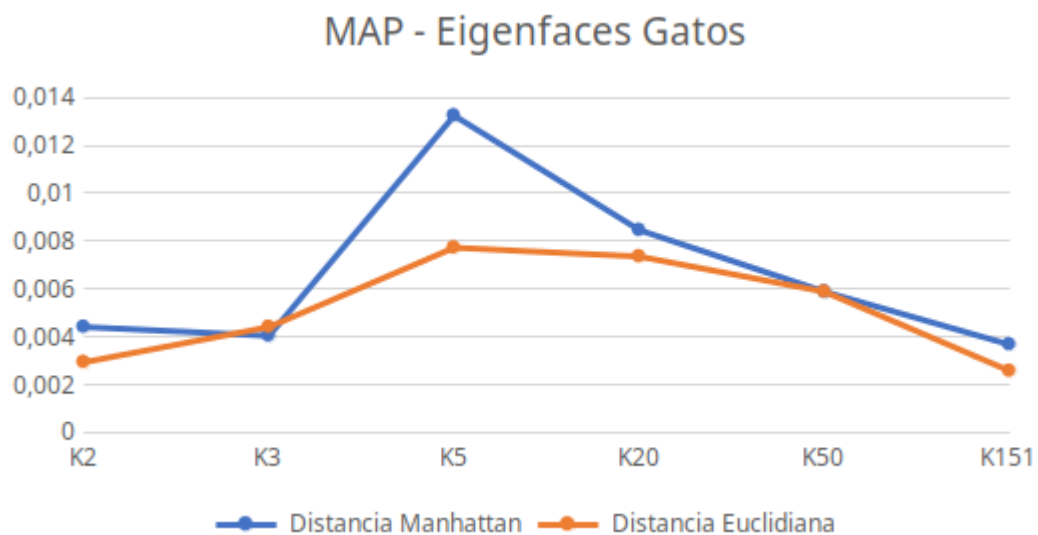
Fuente: Los Autores

5.4. Evaluación del rendimiento del modelo computacional

A continuación, se muestran los resultados de la evaluación del modelo computacional utilizando la métrica de desempeño Mean Average Precision. Para el cálculo de esta métrica, fueron fundamentales los resultados obtenidos en el capítulo 4 sección 4.7, donde se calcularon otras métricas de desempeño como Precisión, Recall y F1-score en un ranking de tres imágenes recuperadas.

Se evidencia en la ilustración 42 que la técnica eigenfaces aplicada al conjunto de imágenes de gatos con la distancia de manhattan tiene un mejor desempeño respecto a la distancia euclidiana. Ambas distancias muestran mejores resultados con 5 componentes principales.

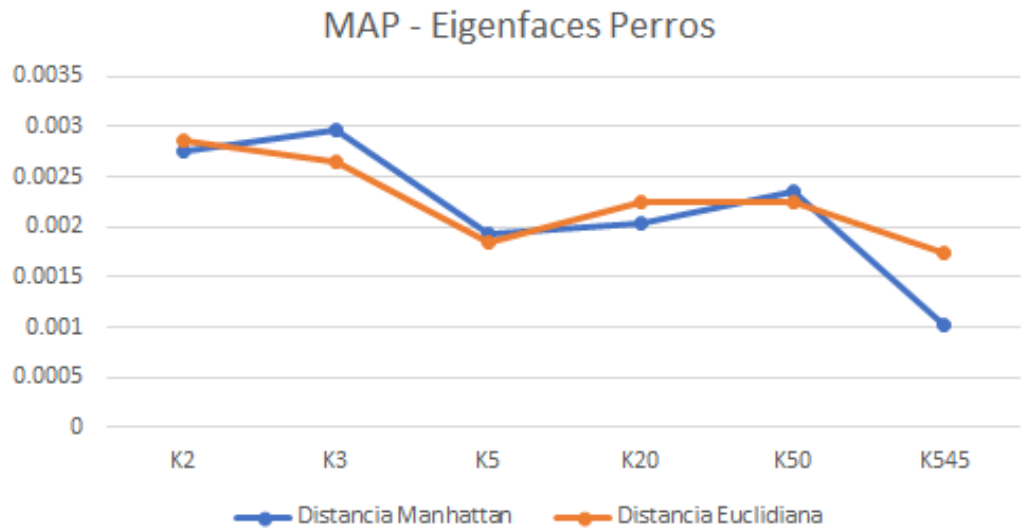
Ilustración 42 Mean Average Precision – Eigenfaces Gatos



Fuente: Los Autores

Se evidencia en la ilustración 43 que los resultados obtenidos en eigenfaces aplicada al conjunto de imágenes de perros, son muy similares con ambas distancias. Manhattan tiene un mejor desempeño con 3 componentes principales.

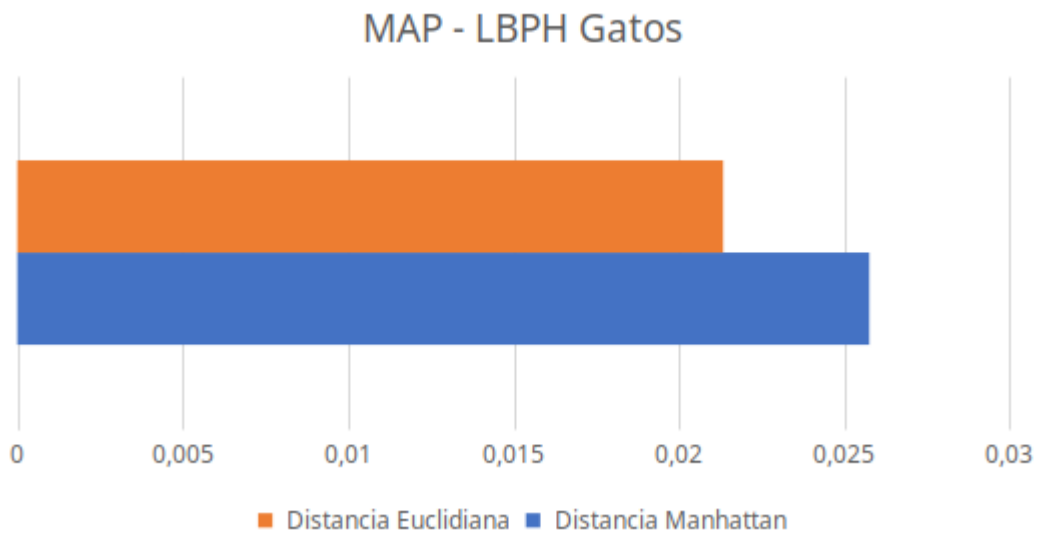
Ilustración 43 Mean Average Precision - Perros



Fuente: Los Autores

Como se evidencia en la ilustración 44, la distancia de manhattan demuestra tener mejores resultados respecto a la distancia euclidiana para la técnica LBPH aplicada en el conjunto de imágenes de gatos.

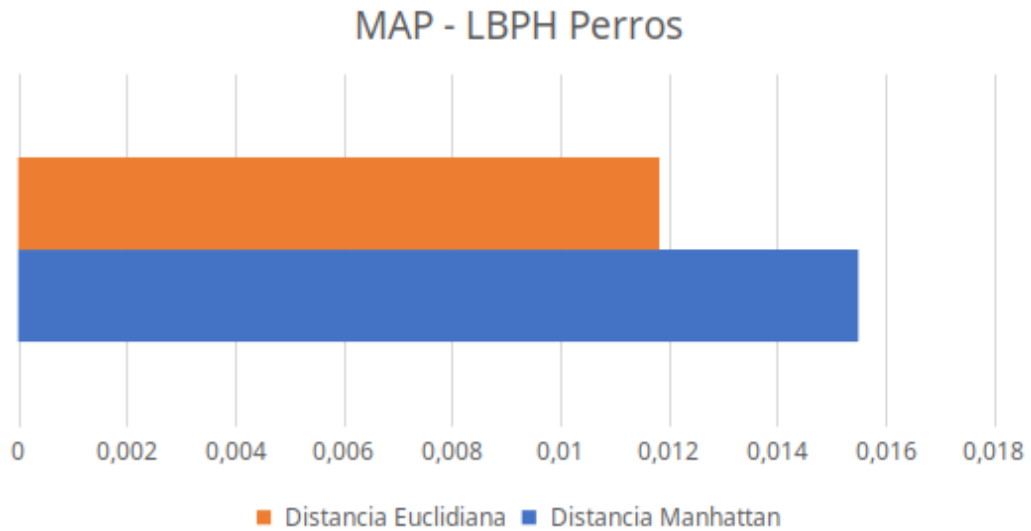
Ilustración 44 Mean Average Precision –LBPH Gatos



Fuente: Los Autores

Como se evidencia en la ilustración 45, la distancia de manhattan demuestra tener mejores resultados respecto a la distancia euclidiana para la técnica LBPH aplicada en el conjunto de imágenes de perros.

Ilustración 45 Mean Average Precision –LBPH Gatos



Fuente: Los Autores

6. CONCLUSIONES

- Se evidencia que el desarrollo de este experimento puede contribuir al proceso de búsqueda de perros y gatos perdidos de manera automática, mediante la recuperación de imágenes basadas en contenido y técnicas de reconocimiento facial como LBPH y Eigenfaces. De esta manera se acortan los tiempos de búsqueda y se aprovecha el uso de imágenes digitales las cuales tienen un gran alcance actualmente.
- De los conjuntos de imágenes contruidos, el que obtuvo mejores resultados fue el de los rostros de gatos debido a la consistencia en la cantidad de imágenes por sujetos.
- Si bien, los resultados obtenidos al hacer la evaluación de las métricas de desempeño fueron muy bajos debido a que la cantidad de imágenes recolectadas no fue suficiente y a que la recuperación de las misma en las dos técnicas para varios sujetos fue de cero, se observa que la mejor técnica de reconocimiento facial aplicada en mascotas es LBPH respecto a Eigenfaces y la mejor medida de similaridad para calcular las distancia entre imágenes de consulta e imágenes de la base de datos, es la distancia de Manhattan.
- Como se evidencia en la Tablas 1 y 2, la técnica eigenfaces aplicada en el conjunto de imágenes de gatos resulta ser mejor respecto al de perros, donde se demuestra tener una precisión del 8.64%, recall de 3.93% y F1-Score del 5.16% con ambas medidas de similaridad y con 20 componentes principales.
- Como se muestra en la Tablas 3 y 4, la técnica LBPH aplicada en el conjunto de imágenes de gatos resulta ser mejor respecto al de perros, donde se demuestra tener una precisión del 20.99%, recall de 13.99% y F1-Score del 16.08% con la distancia de Manhattan.

7. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

- Construir un conjunto de imágenes propio el cual sea consistente en la cantidad de imágenes por sujetos.
- Se recomienda manejar otro tipo de almacenamiento diferente a Google Drive ya que este puede presentar algunos fallos frente al manejo de gran cantidad de archivos e imágenes procesadas con Google Colab.
- Si este experimento se desea hacer en una máquina localmente, se recomienda correr estos procesos con una unidad de procesamiento gráfico debido a la gran cantidad de imágenes.
- Utilizar diferentes técnicas de extracción de características que permitan describir las imágenes por su color, textura y forma.
- En el caso de que no se obtengan varias imágenes de un mismo sujeto, se recomienda la utilización de la técnica *Data Augmentation*, la cual permite obtener diferentes imágenes sintéticas partiendo de la original.

8. BIBLIOGRAFÍA

COMUNICACIÓN ENTRE PERROS DOMÉSTICOS (CANIS FAMILIARIS) Y HOMBRES. Revista Latinoamericana de Psicología. [en línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rlps/v39n2/v39n2a12.pdf>.

La influencia de las mascotas en la vida humana. Revista Colombiana de Ciencia Pecuarias [en línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rccp/v20n3/v20n3a16.pdf>

Lo bueno de tener una mascota en casa. Revista Semana. [en línea]. Disponible en: <https://www.semana.com/vida-moderna/articulo/beneficios-de-tener-una-mascota/489599/>

Esa relación tan especial con los perros y con los gatos: la familia multiespecie y sus metáforas. Tabula Rasa, 32, 157-179. [en línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/tara/n32/1794-2489-tara-32-157.pdf>

La influencia de las mascotas en la vida humana. Revista Colombiana de Ciencia Pecuarias [en línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rccp/v20n3/v20n3a16.pdf>

¿Cómo es el colombiano de la nueva canasta familiar? El Espectador. [en línea]. Disponible en: <https://www.elespectador.com/noticias/economia/como-es-el-colombiano-de-la-nueva-canasta-familiar/>

¿Por qué hacemos lo que hacemos en Clabki? [en línea]. Disponible en: <https://medium.com/comunidad-clabki/por-que-hacemos-lo-que-hacemos-en-clabki-estadisticas-perros-perdidos-acee0afa70a2>

Encontrar una Mascota Perdida. [en línea]. Disponible en: <https://www.aspca.org/nyc/recursos-para-personas-que-hablan-espanol/encontrar-una-mascota-perdida>

Memoria de rostros y reconocimiento emocional: generalidades teóricas, bases neurales y patologías asociadas. [en línea]. Disponible en:

http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-64442014000100004

4 Casos de aplicación del reconocimiento facial. Neuromarketing [En línea]. Disponible en: <https://neuromarketing.la/2017/12/aplicacion-del-reconocimiento-facial/>

El reconocimiento facial para mascotas perdidas. [En línea]. Disponible en: <https://okdiario.com/mascotas/reconocimiento-facial-mascotas-perdidas-4988089>

Instituto de Protección y Bienestar Animal. [en línea]. Disponible en: <https://app.ciudadano4patas.com/adopciones/>

En redes sociales le buscan hogar a perros y gatos. El tiempo. [en línea]. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-14937737>

Subramanian, Dr. Manoharan & Sathappan, Sathappan. (2015). An Efficient Content Based Image Retrieval using Advanced Filter Approaches. International Arab Journal of Information Technology. 12. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/280580905_An_Efficient_Content_Based_Image_Retrieval_using_Advanced_Filter_Approaches

I He, T. (2019). Investigation of Animal Image Retrieval Algorithm Based on Deep Learning. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias*, 29(1), 128+.

Subramanian, Dr. Manoharan & Sathappan, Sathappan. (2015). An Efficient Content Based Image Retrieval using Advanced Filter Approaches. International Arab Journal of Information Technology. 12.[en línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/280580905_An_Efficient_Content_Based_Image_Retrieval_using_Advanced_Filter_Approaches

Julián, F., Reyes, M., Sánchez, A.L., & Ríos, C. RECONOCIMIENTO FACIAL POR EL MÉTODO DE EIGENFACES. 2017. México. Instituto Tecnológico de Oaxaca. [en línea]. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/RECONOCIMIENTO-FACIAL-POR-EL-M%C3%89TODO-DE-EIGENFACES-Juli%C3%A1n-Reyes/35f458d08052b8226f278f8b9ce5513a6fc3f33b>

RECONOCIMIENTO FACIAL BASADO EN EIGENFACES, LBHP Y FISHERFACES EN LA BEAGLEBOARD-xM. REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGIAS DE AVANZADA (RCTA). 2. [en línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/319958509_RECONOCIMIENTO_FACIAL_BASADO_EN_EIGENFACES_LBHP_Y_FISHERFACES_EN_LA_BEAGLEBOARD-xM

A Comprehensive Guide to Facial Recognition Algorithms – Part 1. [en línea]. Disponible en: <https://www.baseapp.com/computer-vision/a-comprehensive-guide-to-facial-recognition-algorithms/>

9. ANEXOS

Anexo A: Código del proyecto

Se realizó la publicación del proyecto en Github. En este repositorio se encuentran los notebooks creados desde Google Colab para cada etapa realizada. Adicionalmente, se encuentra también el conjunto de imágenes utilizado para el desarrollo del experimento.

- Enlace: <https://github.com/mariamerchan/Retrieval>