

## **PROYECTO FINAL DE INGENIERÍA**

# **VETLENS: DETECCIÓN DE ENFERMEDADES DE PIEL EN PERROS UTILIZANDO VISIÓN ARTIFICIAL EN ARGENTINA 2023**

**Gamietea, Julián – LU1113344**

Ingeniería Informática

**Siciliano, Franco – LU1109579**

Ingeniería Informática

Tutor:

**Dos Santos, Maximiliano, UADE**

**30 de Octubre de 2023**

# **UADE**

**UNIVERSIDAD ARGENTINA DE LA EMPRESA  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS EXACTAS**

## **Agradecimientos**

En primer lugar, agradecer a nuestro tutor Maximiliano Dos Santos, por su continuo apoyo durante todo el desarrollo del Proyecto Final de Ingeniería. Sin su guía constante, este trabajo no hubiera sido posible.

Asimismo, queremos extender nuestra gratitud a Ignacio Gamietea, Victoria Garfi y Valeria Mele, quienes generosamente contribuyeron con sus conocimientos y esfuerzos a este trabajo. Sus valiosas aportaciones en materia veterinaria enriquecieron significativamente los resultados y la calidad de este.

Por último, queremos agradecer a amigos, familia y demás personas que brindaron apoyo incondicionalmente a lo largo del proyecto.

## Resumen

Hoy en día, según indican encuestas, el 75% de los argentinos convive con una mascota. En el 81% de los casos son los perros los escogidos como compañía (Infobae 2022). Estos animales padecen de enfermedades de piel al igual que las personas, y en muchos casos se dificulta llegar a un diagnóstico por problemas que van desde veterinarios no especializados en dermatología hasta consultas que son ineficientes. Gracias al avance de la inteligencia artificial en los últimos años, la misma se convirtió en una herramienta de gran utilidad en el campo de la medicina, tanto en animales como en humanos. En el presente trabajo se utiliza esta tecnología para crear una herramienta capaz de clasificar una imagen de una lesión de piel de un perro dentro de tres enfermedades de piel posibles: Dermatitis Pirotraumática, Dermatofitosis y Miasis. Para lograrlo se desarrolló un modelo de Deep Learning que utiliza una Red Neuronal Convolucional para la clasificación de imágenes con un 88% de exactitud sobre un total de 57 imágenes de prueba, el cual fue entrenado con datos de recolección manual. Asimismo, se desarrolló una aplicación móvil para dispositivos Android que permite a los usuarios obtener un diagnóstico a partir de una imagen de la lesión y también eficientizar las consultas veterinarias.

*Palabras clave: deep learning, machine learning, red neuronal convolucional, perros, enfermedades de piel, visión artificial*

## Abstract

In today's context, according to surveys, 75% of Argentinians coexist with a pet, with dogs being chosen as companions in 81% of cases (Infobae 2022). These animals suffer from skin diseases, just like humans, and in many cases, reaching a diagnosis is complicated due to issues ranging from veterinarians lacking specialization in dermatology to inefficient consultations. Thanks to the advancement of artificial intelligence in recent years, it has become an invaluable tool in the field of medicine, both for animals and humans. In the present work, this technology is employed to create a tool capable of classifying an image of a dog's skin lesion into three possible skin diseases: Pyotraumatic Dermatitis, Dermatophytosis, and Myiasis. To achieve this, a Deep Learning model was developed, employing a Convolutional

Neural Network for image classification, with an 88% accuracy rate on a total of 57 test images. This involved manual data collection to train the model. Furthermore, a mobile application for Android devices was developed, allowing users to obtain a diagnosis based on an image of the lesion and streamline veterinary consultations.

**Keywords:** *deep learning, machine learning, convolutional neural network, dogs, skin diseases, computer vision.*

## Contenidos

<b>1. Introducción.....</b>	<b>8</b>
1.1. Objetivos .....	8
1.2. Alcance.....	8
<b>2. Antecedentes.....</b>	<b>10</b>
2.1. Marco teórico .....	10
2.1.1 La piel en perros .....	10
2.1.2 Enfermedades de la piel canina .....	11
2.1.2.1 Dermatofitosis.....	11
2.1.2.2 Dermatitis Piotraumática.....	13
2.1.2.3 Miasis .....	15
2.1.3 Inteligencia artificial y Deep Learning .....	16
2.1.3.1 Red Neuronal Artificial (ANN).....	17
2.1.3.2 Redes Neuronales Convolucionales (CNN).....	20
2.1.4 Evaluación de los modelos .....	22
2.2. Estado del Arte .....	23
2.2.1 Aspectos técnicos.....	23
2.2.2 Análisis de estudios y soluciones disponibles para la detección de enfermedades de la piel de perros con IA .....	24
2.2.3 Consideraciones económicas .....	26
2.2.4 Conclusiones.....	27
2.3. User Research.....	28
2.3.1 Consideraciones sobre la información disponible .....	29
2.3.2 Entrevista a Gamietea, Ignacio .....	29
2.3.3 Entrevista a Garfi, Victoria .....	30
2.3.4 Entrevista a Mele, Valeria.....	31
2.3.5 Encuesta a dueños de perros sobre percepción e incidencia de enfermedades de piel en sus mascotas .....	32
2.3.6 Conclusiones.....	33
<b>3. Descripción de la solución propuesta.....</b>	<b>34</b>
3.1. Análisis funcional.....	35

3.2.	Arquitectura de la solución.....	41
3.2.1	Arquitectura conceptual.....	41
3.2.2	Arquitectura productiva .....	42
3.3.	Lógica de negocio .....	44
3.3.1	Modelo de aprendizaje automático .....	44
3.3.1.1	Selección del modelo .....	45
3.3.1.2	Rendimiento de los diferentes modelos .....	46
3.3.1.3	EfficientNetB2 .....	50
3.3.1.4	Arquitectura del Modelo Final .....	52
3.3.1.5	Entrenamiento del modelo .....	53
3.3.2	Servicio de detección .....	58
3.4.	Presentación.....	60
3.5.	Persistencia.....	63
3.6.	Identidad de Marca.....	65
<b>4.</b>	<b>Metodología de Desarrollo.....</b>	<b>67</b>
<b>5.</b>	<b>Pruebas realizadas.....</b>	<b>68</b>
<b>6.</b>	<b>Análisis económico.....</b>	<b>70</b>
6.1.	Cruz de Porter.....	70
6.2.	Modelo de negocio .....	72
6.2.1	BMC .....	72
6.2.1.1	Propuesta de valor.....	73
6.2.1.2	Segmentos del consumidor .....	74
6.2.1.3	Relaciones con el cliente.....	75
6.2.1.4	Canales .....	76
6.2.1.5	Socios Clave.....	76
6.2.1.6	Actividades Clave .....	77
6.2.1.7	Recursos Clave.....	77
6.2.1.8	Costo de estructura.....	77
6.2.1.9	Fuente de Ingresos .....	78
6.2.2	Sistema de suscripciones y planes .....	78
6.3.	Análisis económico y financiero .....	80

6.3.1	Análisis de costos .....	81
6.3.1.1	Costos iniciales .....	82
6.3.1.2	Costos productivos .....	82
6.3.2	Viabilidad financiera.....	82
6.3.2.1	Escenarios .....	83
6.3.2.2	VAN.....	84
6.3.2.3	TIR .....	85
6.3.2.4	Pay Back .....	85
<b>7.</b>	<b>Discusión.....</b>	<b>85</b>
<b>8.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>86</b>
<b>9.</b>	<b>Bibliografía.....</b>	<b>88</b>
<b>10.</b>	<b>Índice de Figuras .....</b>	<b>94</b>
<b>11.</b>	<b>Índice de Tablas .....</b>	<b>98</b>
ANEXO A.	Glosario.....	101
ANEXO B.	Resultados encuesta .....	103
ANEXO C.	Entrevistas.....	105
ANEXO D.	Gráficos de resultados en modelos evaluados .....	109
ANEXO E.	Flujo de fondos y evolución de usuarios .....	111
ANEXO F.	Rendimiento de la familia de modelos EfficientNet .....	113
ANEXO G.	Términos y Condiciones de uso de VetLens .....	114

## 1. Introducción

En la presente sección se detallarán cuáles son los objetivos que se pretenden cumplir con el desarrollo del presente proyecto y también cuál es el alcance de este.

### 1.1. Objetivos

Brindar una herramienta a los profesionales y estudiantes de la salud canina, y a los dueños de perros que permita detectar enfermedades de piel en este animal en Argentina año 2023. Para lograrlo se plantean como objetivos específicos:

- Obtener imágenes representativas de las diversas enfermedades a detectar para realizar el entrenamiento inicial del modelo de Deep Learning.
- Entrenar el modelo de aprendizaje para la detección de enfermedades de piel.
- Agilizar el proceso de consulta veterinaria, recolectando la información necesaria previo a la consulta.
- Reducir el abanico de posibilidades a la hora de diagnosticar enfermedades del tipo.
- Proponer al veterinario posibles tratamientos presuntivos avalados por profesionales.

### 1.2. Alcance

Para lograr los objetivos definidos en la sección previa, se define como entregable del proyecto una aplicación para dispositivos móviles Android que cuenta con las siguientes funcionalidades:

- Para Usuarios No Veterinarios (UNV):
  - Posibilidad de tomar una foto a la zona afectada del animal.

- Detección de tres enfermedades de piel en perros utilizando visión artificial.
- Cuestionario en el cual el usuario responderá preguntas claves sobre su mascota que permitirán recopilar la información pertinente a una reseña, anamnesis y motivo de consulta, el cual se pondrá a disposición a través de un código QR que un Veterinario o Estudiante podrá consultar.
- Indicar la afección, si aplica, y la confiabilidad porcentual del diagnóstico.
- Orientación al usuario para que la foto sea útil a los efectos de realizar el diagnóstico por visión computacional.
- Para Veterinarios (VET):
  - Todas las funcionalidades que aplican al UNV.
  - Posibilidad de escanear un código QR relacionado a un diagnóstico que realizó un UNV.
  - Posibilidad de validar un diagnóstico específico, es decir, el veterinario indicará si el diagnóstico realizado por VetLens es correcto o, en caso contrario, indicará cual es el diagnóstico correcto.
  - Posibilidad de ver un listado de los tratamientos presuntivos aplicables al caso en cuestión.
  - Control de matrícula a la hora del registro.
- Para Estudiantes (EST):
  - Todas las funcionalidades que aplican al UNV.

- Posibilidad de escanear un código QR relacionado a un diagnóstico que realizó un UNV.
- Posibilidad de ver un listado de los tratamientos presuntivos aplicables al caso en cuestión.
- Registro con un certificado de alumno regular que certifique que el usuario se encuentra estudiando veterinaria o carreras afines.

Se encuentran fuera del alcance del proyecto las siguientes funcionalidades:

- Detección de enfermedades de ojos, como también de oídos. Únicamente están dentro del alcance enfermedades de piel.
- Control automatizado de la matrícula del VET, el mismo se hará manualmente.
- Control automatizado de certificados de alumno regular de un EST, el mismo se hará manualmente.
- Compartir diagnósticos entre veterinarios.
- Suscribirse a los planes de suscripción ofrecidos por VetLens.

Las funcionalidades serán incluidas en futuras versiones de la aplicación.

## **2. Antecedentes**

En la presente sección se detallan cuatro secciones: El marco teórico, Estado del Arte y User Research.

### **2.1. Marco teórico**

En la presente sección, en primer lugar, se detalla brevemente cómo está conformada la piel de los canes, luego se describen las distintas enfermedades a diagnosticar y, por último, se definen los conceptos más importantes sobre Deep Learning.

#### **2.1.1 La piel en perros**

*“La piel o integumento (derivado del latín, tejido), es un órgano dinámico que representa el sistema orgánico más extenso y visible del cuerpo, es una barrera anatómica y fisiológica entre el animal y su medio; es un órgano de estimulación táctil y de comunicación”* (Castellanos et al. 2005). Está compuesta por tres capas (Lowell 2008):

- Epidermis: es la capa que se encuentra en contacto con el exterior, sus requerimientos nutritivos son aportados por la dermis subyacente.
- Dermis: ubicada debajo de la epidermis, más gruesa que esta última, aloja vasos sanguíneos, folículos pilosos, glándulas sudoríparas y nervios.
- Hipodermis: compuesta por grasa principalmente, es la capa más profunda de la piel y representa el asiento de unas pocas enfermedades.

Es importante aclarar que no toda enfermedad que se manifieste en la piel es propiamente de la piel. Esto hace referencia a que existen enfermedades provenientes de otros órganos del animal que se externalizan en la piel, como también están las enfermedades propias de la piel, y es dentro de esta última categoría que fueron seleccionadas algunas para su estudio.

## **2.1.2 Enfermedades de la piel canina**

### **2.1.2.1 Dermatitis**

La dermatitis, también llamada tiña, es una enfermedad de la piel causada por una infección micótica superficial de las estructuras cutáneas queratinizadas por organismos fúngicos (Moriello 2019). Estos organismos fúngicos son llamados dermatofitos y como se describió, utilizan la queratina (proteína rica en azufre que se encuentra en la epidermis) para su alimentación.

Son tres los géneros de los hongos que producen esta afección en la piel, ellos son: Epidermophyton, Trichophyton y Microsporum, este último es el más característico en perros y sobre el cual se basará el estudio (Iowa State University 2005).

*“Las lesiones dermatofíticas se caracterizan por tener zonas de alopecia, descamación, costras, eritema y prurito, que se presentan en grados diversos. Ocasionalmente, los dermatofitos mueren en el centro de la lesión y esta área se resuelve, dejando una lesión con forma de anillo. En los animales, este patrón es relativamente poco frecuente. El pelo de la región afectada suele ser frágil y quebrarse cerca de la superficie de la piel, dando a menudo una apariencia de "rasurado" a la lesión”* (Iowa State University 2005). En general los animales más pequeños son los más afectados, siendo comunes las afecciones asintomáticas en los adultos (Iowa State University 2005).

*“La clásica lesión de *Microsporum canis* (tiña en perros), es un parche circular que puede tener un diámetro de 1 a 4 cm; pueden aparecer en cualquier lugar del cuerpo, pero se presentan principalmente en la cabeza, orejas, cola y patas delanteras”* (Cabeza 2021). Este hongo tiene más presencia en las zonas indicadas debido a qué, cómo se definió anteriormente, se alimenta de tejidos queratinizados. En la figura 1, puede observarse una lesión por dermatofitosis.

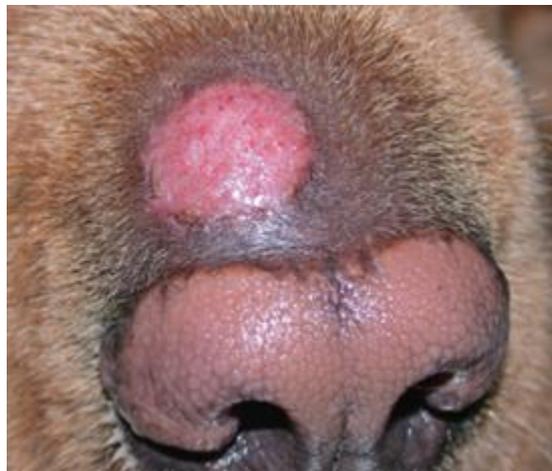


Figura 1: Lesión en la nariz del perro. Imagen: F. Albanese (Moriello 2019).

Para el diagnóstico de esta infección se pueden utilizar:

- Lámpara de Wood: muchas cepas del *Microsporum canis* presentan fluorescencia verde ante la estimulación de ciertas longitudes de onda

de luz ultravioleta. Con esta lámpara se puede examinar el pelaje y hallar los hongos.

- Examen microscópico de muestras de piel o pelo en hidróxido de potasio (KOH) que permite ver las estructuras reproductivas del hongo.
- Cultivo en portaobjetos: *“El cultivo de hongos se considera el “estándar de oro” para el diagnóstico”* (Romero Núñez y González Guzmán 2015). Permite brindar un diagnóstico más definitivo, consiste en usar muestras de piel o pelo removido que son colocados en un medio con indicador de pH, el cual se tiñe de color rojo a medida que los dermatofitos van creciendo, que puede producirse también por otros factores que el profesional debe analizar en detenimiento.

(Iowa State University 2005)

Hay múltiples opciones en lo referido a tratamientos, lo principal es aislar al can debido a que es contagiosa a otros huéspedes susceptibles, incluso a humanos, por contacto y contaminación del ambiente. Por estos motivos se deben eliminar pelos, escamas de piel y desinfectar correctamente todos los espacios del animal. *“Si bien los animales suelen presentar infecciones autolimitantes que se resuelven dentro de algunos meses, el tratamiento puede acelerar la recuperación, disminuir la propagación de las lesiones en el animal y disminuir el riesgo de transmisión. Este puede incluir cremas antimicóticas de uso tópico o champús, y/o antimicóticos sistémicos”* (Iowa State University 2005).

### **2.1.2.2 Dermatitis Piotraumática**

*“La dermatitis piotraumática (dermatitis húmeda aguda, “hot spot”) consiste en una zona localizada de inflamación aguda y exudación de la piel, que recibe el traumatismo continuo del lamido, rascado o frotado”* (Harvey y Mckeever 2001).

Se trata de un pioderma, como científicamente se le conoce a la presencia de pus en la piel, de superficie o también conocido como “pseudopioderma” ya que la infección juega un papel secundario, donde hay un proceso inflamatorio de la epidermis en el que solo

existe un crecimiento de gérmenes sobre ésta, pero sin infección (Ortega, Acosta Hernández y Ferrer Quintana 2013).

Generalmente es causada por alergias, en especial a la picadura de pulga, aunque también podría estar asociada a otitis. En el caso de la alergia a pulgas, por lo general, se ubica en la zona lateral del muslo. Se trata de lesiones autoinfligidas por el prurito, bien delimitadas sin lesiones satelitales. Es una lesión húmeda, dolorosa, exudativa y eritematosa. Es muy común en razas de pelaje denso y largo (Balasz Mayanz 2012). La zona de la afección puede presentar alopecia o adelgazamiento del pelo y excoriaciones debidas al lamido o rascado. De alta incidencia en regiones con tiempo cálido y húmedo (Harvey y McKeever 2001). En la figura 2, puede observarse una lesión por dermatitis piodérmica



Figura 2: Mancha bien delimitada y húmeda, eritematosa y alopécica sobre la región dorsal (Harvey y McKeever 2001).

Comúnmente el diagnóstico se basa sobre el aspecto clínico de las lesiones y una anamnesis del animal. Se puede hacer análisis para detectar número y tipo de bacterias presentes como también una biopsia cutánea (Harvey y McKeever 2001).

Por último, en cuanto al tratamiento, se debe eliminar el pelo alrededor del área lesionada limpiándola con antiséptico, en algunos casos es necesario sedar al animal si sufre de

dolores, aplicar cremas que combinen antibiótico con corticoide, como también, colocar collar isabelino hasta que cure la lesión (Rejas López 2003).

### 2.1.2.3 Miasis

“*La miasis es la infestación de tejidos sanos o necróticos del cuerpo vivo con larvas de dípteros*” (Samour 2016). Suele desarrollarse en partes del cuerpo del animal que se encuentren constantemente húmedas y dependiendo la ubicación de esta se puede clasificar en cutánea, oftalmológica, auricular y genital (Rabasqueira 2021).

Es una enfermedad que manifiesta presencia de larvas en una herida abierta, también conocida como “bichera”. Los huevos eclosionan en un lapso de uno a tres días. Al cabo de dos semanas, las larvas crecen y comienzan a producir una enzima salival que digiere la piel del perro, penetrándola y causando heridas más profundas, en ciertos casos provocando infecciones que llevan al shock del can (Campmany 2023). A continuación, en la figura 3, puede observarse una lesión de Miasis.



Figura 3: Miasis en un perro (Campmany 2023).

Las heridas provocan prurito y olor a pútrido lo cual sirve de atracción para la ovoposición, resultando en una infestación masiva que puede terminar en un proceso séptico y en la muerte del hospedador. En ocasiones puede causar letargo, fiebre y adenopatías (Rabasqueira 2021).

En cuanto al tratamiento, se debe rasurar el pelo y desinfectar la zona para que las bacterias no contaminen la herida, para luego proseguir con la extracción de las larvas

evitando su ruptura y posteriormente aplicar antibiótico tópico local no tóxico junto con spray insecticida.

### 2.1.3 Inteligencia artificial y Deep Learning

La inteligencia artificial o IA es un área de estudio de las ciencias e ingeniería que tiene por objetivo crear agentes inteligentes que tengan la capacidad de razonar y pensar como un ser humano. La IA abarca una gran cantidad de campos de estudio secundarios que van desde conceptos generales como aprendizaje y percepción hasta problemas más específicos, como escritura de poesía o jugar al ajedrez, entre muchos otros (Russell y Norvig 2010).

Dentro de todos los campos de estudio, el más relevante para el presente trabajo es el Deep Learning.

Deep Learning es un área de investigación dentro de la IA cuya base fundamental son las redes neuronales (James et al. 2022).

Dentro de esta área de investigación se pueden encontrar múltiples tipos de redes neuronales, algunas especializadas para ciertos problemas, como las redes neuronales convolucionales o las redes neuronales recurrentes. Las redes neuronales convolucionales se utilizan principalmente para tareas relacionadas a la clasificación de imágenes, mientras que las redes neuronales recurrentes están orientadas a problemas en donde es importante la secuencia de los elementos de entrada, por ejemplo, a la hora de traducir un texto, el orden de las palabras es de gran importancia (James et al. 2022). De estos dos tipos de redes neuronales, la más relevante para el presente desarrollo son las redes neuronales convolucionales cuyo funcionamiento será explicado en detalle en la sección 2.1.3.2.

Respecto al entrenamiento de las redes neuronales o los modelos de aprendizaje automático (de aquí en adelante, el término aprendizaje automático y Machine Learning serán utilizados de forma indistinta) es necesario entender previamente los dos términos que a continuación se detallan:

- **Overfitting:** se refiere al fenómeno ocurrido cuando un modelo se ajusta perfectamente a un conjunto de datos particular, lo que hace que el

modelo sea malo a la hora de generalizar (IBM 2023a). El mismo está memorizando lo que debe responder, por ende, al estar frente a un dato nuevo y desconocido, el modelo responderá de forma incorrecta.

- Underfitting: al contrario del *overfitting*, este fenómeno ocurre cuando un modelo no puede generalizar sobre los datos, dado que estos no son suficientes o no son de calidad, evitando que el modelo aprenda. De esta forma el modelo dará respuestas erróneas (IBM 2023b).

### 2.1.3.1 Red Neuronal Artificial (ANN)

Una red neuronal artificial está inspirada en el funcionamiento del cerebro humano. La misma se compone de, como indica su nombre, una “red” de “neuronas”. Se podría pensar a las neuronas como un simple contenedor de un valor numérico, a partir de aquí el término neurona y unidad se usarán de forma indistinta.

Una red neuronal moderna toma como valor de entrada un vector con  $p$  variables  $x = (x_1, x_2, \dots, x_p)$  y devuelve como resultado un vector con  $n$  variables  $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ , en donde  $n$  representa el número de clases en las que se puede clasificar el resultado (James et al. 2022).

Una red neuronal está formada por una serie de capas:

- Capa de entrada: capa en donde se encuentran las *unidades* (del inglés *units*) iniciales, cuyos valores se obtienen del vector  $x = (x_1, x_2, \dots, x_p)$ .
- Capas ocultas: una serie de unidades ocultas, como indica su nombre. El número de capas ocultas puede elegirse arbitrariamente. Las unidades de esta sección no son ni valores de entrada ni de salida para la red (Nielsen 2015).

- Capa de salida: es la capa que contiene las unidades de salida, cuyo valor será utilizado para el vector  $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ .

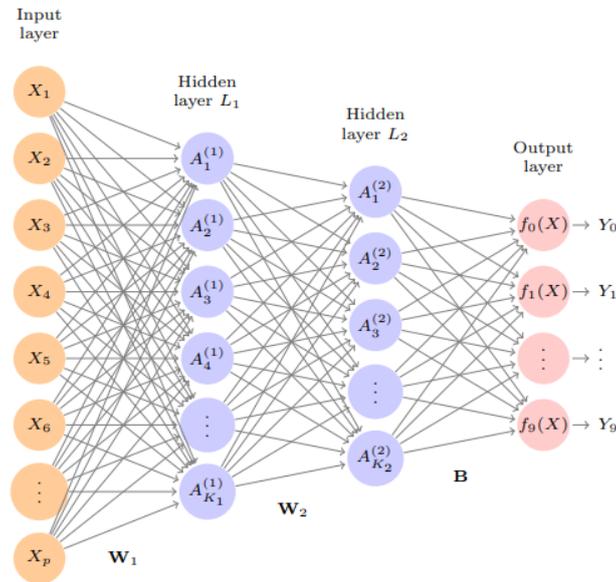


Figura 4: Representación de una red neuronal con múltiples capas ocultas (James et al. 2022).

Como se aprecia en la Figura 4 el valor de salida de una unidad sirve como valor de entrada para las unidades de la siguiente capa. Es importante aclarar que cada unidad produce un único valor de salida y este es usado por todas las unidades de la capa siguiente (Nielsen 2015).

Cada unidad de la Figura 4 cuenta con un nivel de *activación*. Esto representa el valor numérico de dicha unidad, es decir, el valor que esta almacena y que dependerá de la *función de activación*.

Cada flecha de la Figura 4 cuenta con un *peso* (del inglés *weight*) y cada unidad cuenta con un *sesgo* (del inglés *bias*). Los *pesos* son números reales que representan la importancia de una entrada determinada y su valor de salida, es decir, cuán fuerte es la relación entre dos unidades. El *sesgo* permite establecer el valor límite a partir del cual se puede activar una unidad, es decir, si el número de *activación* de una unidad es menor al valor del *sesgo*, no habrá *activación* (Nielsen 2015). Estos valores inicialmente son arbitrarios, y serán ajustados a medida que se mejore la red a través de su entrenamiento.

En las capas ocultas mencionadas anteriormente, se producen las *activaciones* (del inglés *activations*), estas determinarán a su vez las *activaciones* de las capas siguientes. La matriz de activación de todas las unidades de una capa  $a^{(L)}$ , donde  $L$  es la capa de la activación, se puede calcular a partir de la siguiente notación matricial  $a^{(L)} = g(Wa^{(L-1)} + b)$ , en donde  $g(x)$  representa una *función de activación*,  $W$  representa la matriz de todos los *pesos* de las flechas que unen ambas capas,  $b$  representa la matriz de todos los *sesgos* y  $a^{(L-1)}$  representa la matriz de todas las *activaciones* de la capa anterior.

Una *función de activación* es una función no lineal que se aplica para normalizar los valores de activación. En las redes neuronales modernas se suele elegir la función *ReLU* (1) (del inglés *rectified linear unit*) como función de activación.

$$g(z) = (z)_+ = \begin{cases} 0, & z < 0 \\ z, & z \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

(James et al. 2022)

El proceso de aprendizaje de una red neuronal consiste en la aplicación de algoritmos estocásticos de descenso de gradiente, algoritmos de retropropagación y el posterior ajuste de los pesos y sesgos. Antes de explicar que son estos algoritmos se debe entender el concepto de *función de costo* (del inglés *cost function*).

Una *función de costo* determina que tan buenos son los resultados producidos por la red, mientras menor sea el resultado de la función, mejores serán los resultados. Matemáticamente hablando, esto se refiere a cualquier función que permita calcular la diferencia entre los resultados obtenidos y los deseados. Una función de costo muy utilizada es el error cuadrático medio (2), que se calcula como el cuadrado de la diferencia entre el valor real obtenido y el valor esperado:

$$C(W, b) \equiv \frac{1}{2n} \sum_x \|y(x) - a\|^2 \quad (2)$$

En esta ecuación (2)  $C$  representa la función de costo,  $W$  representa la matriz de todos los pesos de la red,  $b$  representa todos los sesgos,  $n$  representa el número total de valores de entrada,  $a$  representa el vector de todas las activaciones de las unidades de la capa de salida e  $y(x)$  representa el valor esperado para todos los valores de entrada  $x$  (Nielsen 2015).

El objetivo será reducir el resultado de la función de costo al nivel más bajo posible. Es aquí donde entran los algoritmos mencionados previamente. En resumidas palabras los algoritmos estocásticos de descenso de gradiente permitirán determinar cuál es la magnitud del cambio de un parámetro (peso o sesgo), es decir, el valor en el que hay que reducir o aumentar un peso o sesgo particular para producir una reducción del costo final. Por otra parte, los algoritmos de retropropagación permitirán determinar la velocidad del cambio de costo al alterar un determinado peso o sesgo, es decir, cuán fuerte es el efecto que tiene el cambio de un peso o sesgo determinados sobre el costo final (Nielsen 2015). Como consecuencia de la aplicación de estos algoritmos se obtienen los valores con los que se logra ajustar el modelo para llegar a resultados más acertados.

### 2.1.3.2 Redes Neuronales Convolucionales (CNN)

Las redes neuronales convolucionales son un tipo de ANN que se utiliza principalmente para resolver problemas de clasificación de imágenes. Este tipo de redes buscan imitar hasta cierto punto la forma en que los seres humanos clasifican las imágenes, a través del reconocimiento de patrones o características específicas de la imagen que distinguen diferentes objetos o partes de la misma (James et al. 2022).

Este tipo de red identifica características de bajo nivel de la imagen de entrada, como pueden ser pequeños bordes o parches de colores, las cuales son combinadas para formar características de mayor nivel, como orejas, ojos y similares (James et al. 2022).

Para ello la red neuronal convolucional utiliza dos tipos de capas ocultas especializadas: las capas de convolución y las capas de reducción.

Las *capas de convolución* son capas compuestas de una serie de filtros (también llamados *kernels*) que permiten determinar si una característica determinada está presente en

una imagen. Para ello estas capas utilizan una operación matemática conocida como *convolución*.

La operación de convolución consiste en multiplicar una serie de elementos de una matriz y luego sumarlos, un proceso que no se describirá en detalle. Lo más importante es el resultado de la convolución, si la matriz de una porción de la imagen es similar a la matriz del filtro de convolución, entonces su valor en la imagen generada será grande, en el caso contrario, su valor será pequeño (James et al. 2022). El resultado de esta capa será una nueva imagen que será distinta para cada filtro que se haya aplicado, este proceso puede verse en la figura 5. Estas imágenes generadas son análogas a las unidades de las capas ocultas de un ANN no convolucional.

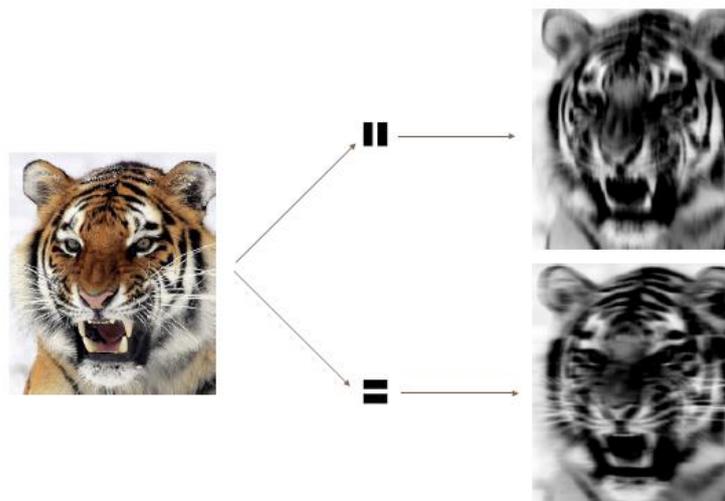


Figura 5: Aplicación de dos filtros convolucionales. El primero resalta las rayas verticales del tigre, mientras que el segundo resalta las rayas horizontales (James et al. 2022).

Las *capas de reducción* son capas que permiten condensar una imagen grande en una más pequeña, a este proceso se lo llama *pooling*. Mas allá de que existen diversas formas de realizarlo, la principal característica de esta técnica es que permite reducir el tamaño de la imagen y lograr que no se pierdan los valores relevantes, lo cual permite realizar cálculos con mayor rapidez. Un tipo común de *pooling* es *max pooling* que consiste en utilizar un nuevo

*Kernel* que toma una región de la imagen de entrada y guarda el valor más alto de los píxeles de cada bloque de píxeles de dicha imagen en una nueva imagen generada.

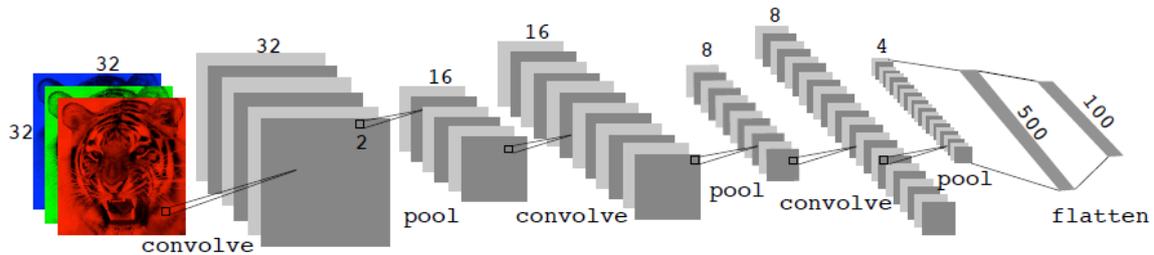


Figura 6: Ejemplo de una arquitectura usual de una CNN. En esta arquitectura, cada capa de reducción reduce el tamaño de la imagen en un factor de 2 en ambas dimensiones (ancho y alto) (James et al. 2022).

La red entonces consistirá en una combinación de estas capas, con *kernels* cada vez más complejos, a fin de obtener la mayor cantidad de características posibles de la imagen y lograr una clasificación acertada de la misma. En la figura 6 puede observarse la arquitectura de una CNN.

Cabe mencionar que el proceso de aprendizaje es análogo al de una ANN no convolucional. En este caso, los valores de los filtros son los que ajustan ya que no existe el concepto de pesos como en una ANN no convolucional (James et al. 2022).

### 2.1.4 Evaluación de los modelos

Todo modelo debe ser evaluado tras su entrenamiento, ya que se debe comprobar cuán capaz es este para cumplir con su tarea, es decir, cuán buenas son sus predicciones a partir de datos nuevos.

Para evaluar las redes neuronales se utiliza la función de costos, que fue mencionada en el apartado Redes Neuronales Artificiales (Véase la sección 2.1.3.1).

Además, existen diversas métricas que permiten evaluar el comportamiento del modelo creado, a conocer:

- Sensibilidad: mide cuán bien el modelo logra reconocer las muestras positivas.
- Especificidad: mide cuán bien el modelo logra reconocer muestras negativas.
- Precisión: permite medir cuantas de las clases positivas fueron realmente clasificadas como positivas.
- Exactitud: permite medir cuán bien el modelo predice correctamente tanto las muestras positivas como las negativas.

(Rokach y Maimon 2015)

## 2.2. Estado del Arte

En el último tiempo se ha hecho popular el uso de inteligencia artificial para resolver problemas de múltiples dominios diferentes. Para el presente trabajo son de interés aquellos relacionados al ámbito veterinario y en particular, a las enfermedades de la piel canina más frecuentes. En la siguiente sección se analizarán diversos aspectos técnicos a considerar a la hora de implementar la solución, partiendo de investigaciones y estudios que otros investigadores han realizado sobre el mismo tema o similares. Posteriormente, se realizará una comparación entre la solución propuesta y otras opciones de mercado, que actualmente conforman a la competencia de la solución.

### 2.2.1 Aspectos técnicos

Hoy en día, la tecnología avanza a pasos agigantados, sin embargo, conceptos como Deep Learning, el cuál existe desde la década de 1980 (James et al. 2022), o Machine Learning no son nuevos. Desde que estas herramientas fueron creadas, se han hecho numerosos avances en el área, partiendo desde una simple red neuronal de una única capa oculta hasta redes neuronales más complejas como las que se utilizan hoy en día.

En la actualidad se han realizado múltiples estudios que utilizan Deep Learning y Machine Learning para el diagnóstico de enfermedades, tanto en humanos como en animales.

Un ejemplo de ello puede ser el estudio titulado “*Dog Skin Diseases Detection and Identification Using Convolutional Neural Networks*” (Upadhyay et al. 2023). En este se describe el desarrollo y entrenamiento de una red neuronal convolucional para la detección de enfermedades de piel en perros. Este estudio arrojó resultados alentadores respecto a la aplicación de las redes neuronales convolucionales para la solución de este tipo de problemas ya que permite con una cantidad relativamente baja de datos de entrenamiento lograr un modelo para clasificar las imágenes con un buen nivel de rendimiento y un bajo nivel de error (Upadhyay et al. 2023).

Existen otros estudios interesantes respecto al diagnóstico de enfermedades de piel utilizando Deep Learning, particularmente un caso orientado a la detección de cáncer de piel en personas, utilizando aprendizaje por transferencia. En el paper titulado “*Skin Cancer Disease Detection Using Transfer Learning Technique*” se destaca que, al momento de redactado este documento, existen redes neuronales convolucionales capaces de clasificar lesiones de cáncer de piel con la misma exactitud que un dermatólogo (Rashid et al. 2022). Esto parece ser alentador para la tarea de clasificación de lesiones de piel en perros puesto que las mismas son de naturaleza similar a lesiones humanas. Sin embargo, al igual que en otras áreas de aplicación de redes neuronales, las imágenes que cuentan con la calidad necesaria son escasas (Rashid et al. 2022). En el artículo se utiliza la red neuronal convolucional ya entrenada conocida como MobileNetV2 para lograr clasificar correctamente las lesiones de piel. Los resultados del estudio son sumamente buenos, logrando un 98% de exactitud promedio a la hora de identificar si una lesión de piel es benigna o maligna, con una precisión y sensibilidad del 98% también (Rashid et al. 2022), números ciertamente positivos. Este caso refleja que el uso de modelos ya entrenados con otros conjuntos de datos, para realizar tareas con datos escasos, es la forma correcta de proceder para lograr resultados de calidad.

### **2.2.2 Análisis de estudios y soluciones disponibles para la detección de enfermedades de la piel de perros con IA**

Actualmente se encuentra como única competencia al desarrollo de este proyecto la aplicación llamada “*TTcare*”, que utiliza modelos de aprendizaje automático para

detectar algunas enfermedades en las mascotas y dar recomendaciones a sus dueños (AI FOR PET 2023).

Es importante destacar que esta aplicación, desarrollada por la empresa surcoreana “*AI for Pet*”, no se encuentra disponible para su utilización en Argentina.

Si bien *TTCare* posee objetivos en común con *VetLens*, en particular la detección de enfermedades en perros mediante la utilización de inteligencia artificial, existen diferenciales importantes entre ambos proyectos.

En primer lugar, hay que mencionar que *VetLens* reconoce enfermedades de piel en canes mientras que la aplicación competencia hace especial énfasis en las enfermedades oculares. Hay que remarcar que las enfermedades detectables fueron seleccionadas a partir del análisis efectuado sobre las enfermedades más comunes en los perros del público encuestado, enfermedades que no se encuentran dentro de aquellas que la aplicación *TTCare* permite diagnosticar.

También es necesario enfatizar que *VetLens* tiene como objetivo principal ayudar tanto al dueño de la mascota como también al veterinario en la consulta, lo cual no ocurre con la aplicación *TTCare* cuyo principal foco es el dueño de la mascota.

Para lograr ayudar a los veterinarios y dueños de mascotas, *VetLens* realiza una serie de preguntas, que el dueño del perro contestará, relevantes sobre su mascota y predefinidas gracias a la colaboración con diversos veterinarios entrevistados e información obtenida de la bibliografía existente para ello. Las preguntas son almacenadas y presentadas junto con el resultado del algoritmo a través de un código QR. Las mismas permiten agilizar el análisis que se haga del can en la veterinaria.

Por último, otro diferencial que se encuentra es que la competencia no realiza diferenciación en sus usuarios, mientras que *VetLens* sí lo hace de modo que solo veterinarios certificados y estudiantes pueden acceder a información sobre posibles tratamientos de la enfermedad en cuestión obtenidos de la bibliografía pertinente, así como también de fuentes validadas por veterinarios.

Para poder repasar y dejar en claro las diferencias entre la propuesta de VetLens y su competencia se detalla la tabla I:

TABLA I: Comparación de las diferentes características entre VetLens y TTCare (AI FOR PET 2023).

	<b>VETLENS</b>	<b>TTCARE</b>
Tipos de enfermedades en las que hace énfasis	Enfermedades de piel	Enfermedades oculares
Animales	Perros	Gatos y perros
Incluye diferenciación de usuarios	Sí	No
Disponible para Argentina	Sí	No
Permite realizar anamnesis del animal	Sí	No
Ofrece posibles tratamientos al profesional	Sí	No

### 2.2.3 Consideraciones económicas

Hoy en día Argentina es el país con más mascotas en el mundo, representando un 81% de las mascotas en el país (Ámbito 2023). Acompañado a este dato, resulta indispensable conocer cuál es el costo de mantener un perro hoy en día en Argentina. En 2021 el costo mensual de manutención de un perro era de aproximadamente \$10.600 pesos argentinos (Gómez 2021), llevados a 2023 considerando una inflación de 411% (valor obtenido a partir de la diferencia en los valores de dólar oficial en 2021 y 2023) entre ambos periodos, se obtiene que el costo de manutención mensual ronda los \$54.400 pesos argentinos.

Entre los gastos mencionados anteriormente se encuentran los gastos veterinarios, que rondaban los \$1.300 pesos argentinos en 2021 (Gómez 2021), que llevados a 2023 pasan a valer un total \$6.600 pesos argentinos aproximadamente. Rápidamente puede verse que las consultas veterinarias representan más de un 10% de los costos, sin mencionar que dichos costos hacen referencia únicamente a consultas veterinarias promedio, sin considerar consultas especiales, como puede serlo una consulta dermatológica.

Respecto a las consultas dermatológicas y su ocurrencia, gracias a la información provista por Victoria Garfi y Valeria Mele, se puede establecer que el número de consultas veterinarias dermatológicas por semana está entre 10 y 15, y que al momento de redactado el presente documento, el costo de estas puede alcanzar valores que rondan los \$8.000 y \$10.000 pesos argentinos (según la ubicación de la veterinaria).

Adicionalmente, resulta de interés mencionar el estudio titulado *“Caracterización de enfermedades dermatológicas de caninos atendidos en el Hospital Veterinario de la Universidad de San Carlos de Guatemala”* (Farfán-Arbizú et al. 2020). En el mismo se intentan caracterizar las enfermedades dermatológicas de los perros atendidos en el hospital veterinario, cómo indica su título, sin embargo lo más llamativo del estudio es que el 15.7% de los casos, de un total de 305, no pudieron ser clasificados por falta de ayudas diagnósticas o presupuesto del dueño del perro (Farfán-Arbizú et al. 2020).

## 2.2.4 Conclusiones

A través de las investigaciones descritas anteriormente, es claro que el problema existe y la propuesta es factible, y que, si bien no es una tarea sencilla, es posible lograr muy buenos resultados aplicando las herramientas adecuadas.

Por otro lado, no existe en Argentina, al momento de redactado este documento, una solución con características similares a lo que propone VetLens de modo que se posiciona como única solución en el mercado, el cual hoy en día no se encuentra explotado y por ende no presenta ninguna barrera de entrada o dificultad para su ingreso, permitiendo a VetLens ser pionera en él. Este aspecto es analizado en mayor detalle en la sección 6.1.

Se ha demostrado que este trabajo no será el primero en utilizar Deep Learning para resolver el problema de identificación de lesiones de piel en perros. Sin embargo, la propuesta va más allá de la aplicación de Deep Learning, la misma busca entregarles a los dueños de perros una herramienta para ayudar a su mascota, a los estudiantes una herramienta para acelerar su aprendizaje y a los veterinarios una herramienta para facilitar su trabajo, pero también arribar a diagnósticos veterinarios con mayor eficiencia y precisión y de esta forma lograr beneficiar a los perros. Para lograr ello es vital mejorar la precisión del modelo para superar aquella obtenida en estudios como el de Upadhyay, orientado también a un conjunto de enfermedades diversas.

Finalmente, es indispensable considerar los datos económicos descritos en la sección 2.2.3. Mantener un perro hoy en día no es barato, sin considerar perros que pueden nacer con mayor o menor predisposición a ciertas afecciones. Además, estudios como el de (Farfán-Arbizú et al. 2020) demuestran que no es algo poco común que los dueños no puedan pagar la ayuda que sus perros necesitan y que además puede que los propios veterinarios carezcan de las herramientas para diagnosticarlos.

Sin embargo, una solución como VetLens puede potencialmente reducir el número de visitas veterinarias necesarias para llegar a un diagnóstico de una enfermedad de piel, ahorrándole dinero a sus dueños y también generando que los veterinarios tengan más tiempo para poder atender a una mayor cantidad de clientes. A su vez, resulta una opción de menor costo para asistir al diagnóstico veterinario para las enfermedades relacionadas a la piel canina.

### **2.3. User Research**

Dada la complejidad del dominio de la problemática se realizaron una serie de entrevistas a especialistas de la salud animal. El objetivo de estas fue profundizar en el área de estudio, así como también conocer el valor que la propuesta puede darle a los usuarios.

Además de las entrevistas se realizó una encuesta a fin de relevar más información respecto a las enfermedades que son más comunes en los perros y conocer la opinión de los usuarios no profesionales sobre la propuesta. Esto se debe a que en la actualidad

no existe suficiente información de fuentes confiables para poder determinar objetivamente qué enfermedades de piel son más comunes en los perros.

### **2.3.1 Consideraciones sobre la información disponible**

Al momento de redactado este documento no se encuentran disponibles informes públicos de profesionales veterinarios que brinden información sobre la tasa de contagio, incidencia por región geográfica o la frecuencia con la que los perros sufren las enfermedades estudiadas en el presente proyecto. Por este motivo, y debido a que no se logró acceder a la información que poseen veterinarios del área de dermatología, como tampoco a encuestas o entrevistas de profesionales en esta área, se tomó la decisión de avanzar con la información que se pudo recolectar a partir de las entrevistas enunciadas a continuación, como también de la encuesta al público, complementando con los estudios que fueron citados en la sección 2.2.3.

A continuación, se detallan los principales temas tratados en las entrevistas, los resultados más relevantes de la encuesta y una breve conclusión de ambas.

### **2.3.2 Entrevista a Gamietea, Ignacio**

Con el objetivo de profundizar más sobre el dominio de la problemática se entrevistó a Ignacio Gamietea, un veterinario del INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) especializado en salud de grandes animales, particularmente bovinos. Detalles de la entrevista junto con la transcripción de esta se pueden encontrar en el Anexo C.

Ignacio se mostró inicialmente intrigado por la propuesta, aunque también vacilante respecto a su implementación dada la complejidad de la salud animal. Ignacio hizo hincapié en que la dermatología era un campo ideal para la aplicación de visión artificial, aunque también destacó la complejidad de dicho campo, dado que ciertos síntomas dermatológicos pueden ser signos de una enfermedad no dermatológica.

Uno de los temas principales abordados fue el diagnóstico de las enfermedades. Ignacio remarcó la existencia de dos tipos de diagnósticos, que se detallan a continuación:

- Diagnóstico presuntivo: diagnóstico que *“implica realizar una categorización del trastorno sobre la base de los datos relacionados en su inicio y progresión, utilizando además los conocimientos de las probables enfermedades y procesos mórbidos descritos en la bibliografía y la experiencia clínica”* (Salinas C y Falcón P 2020)
- Diagnóstico definitivo: *“Diagnóstico final al que se llega después de obtener los resultados de pruebas, como análisis de sangre y biopsias, las cuales se realizan para determinar si hay presencia de cierta enfermedad o afección”* (National Cancer Institute 2011)

Finalmente, Ignacio comentó sus inquietudes respecto a la solución. Consideró que la herramienta sería un gran aporte de valor para los profesionales veterinarios, pero concluyó que la utilización de la herramienta sin diferenciar entre usuarios normales y usuarios profesionales podría ser perjudicial para la salud de los perros, dado que podría fomentar la automedicación de estos por parte de sus dueños.

### **2.3.3 Entrevista a Garfi, Victoria**

Con el objetivo de ahondar más en el ámbito de la medicina de pequeños animales se entrevistó a Victoria Garfi, una veterinaria graduada de la Universidad de Buenos Aires y exdueña de una veterinaria de pequeños animales en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Detalles de la entrevista junto con la transcripción de esta se pueden encontrar en el Anexo C.

Al comienzo de la entrevista Victoria se mostró muy interesada por la propuesta, si bien no estaba familiarizada con ciertos tecnicismos de esta, comprendió la idea general y le pareció que esta sería de gran valor tanto para usuarios normales como para veterinarios.

Si bien Victoria inicialmente compartía la opinión de Ignacio respecto a el uso de la aplicación por parte de los usuarios no profesionales, ella insistió que la aplicación pueda ponerse a disposición de este tipo de usuarios, pero no con las mismas características que para un usuario profesional. En las propias palabras de Victoria, la aplicación podría usarse con

usuarios finales para “adelantar un paso”, es decir, hacer que las consultas veterinarias sean más eficientes.

Además, Victoria mencionó una serie de herramientas que los veterinarios utilizan a la hora de llegar un diagnóstico. Estas fueron:

- Dermograma: representación gráfica de la localización de lesiones de piel en perros.
- Atlas de Dermatología.
- Anamnesis.
- Reseña: una serie de datos personales del paciente como especie, raza, sexo, edad, y de los propietarios responsables del mismo (FCV UBA 2017).

### **2.3.4 Entrevista a Mele, Valeria**

Con el mismo objetivo que la entrevista realizada a Victoria, se decidió entrevistar a Valeria Mele, una veterinaria graduada de la Universidad de Buenos Aires y dueña de una veterinaria de pequeños animales en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Detalles de la entrevista junto con la transcripción de esta se pueden encontrar en el Anexo C.

La entrevista realizada a Valeria aportó información de gran valor respecto al comportamiento de los dueños de los perros. Ella informó que a menudo los dueños de estos animales le envían fotos con la finalidad de poder llegar a un diagnóstico. Sin embargo, indicó que en ciertos casos estas fotos eran inservibles, puesto que en muchas ocasiones no son tomadas correctamente, con lo cual sería indispensable que la aplicación brinde un instructivo a la hora de tomar la foto de una enfermedad, a fin de asegurar una foto de calidad para el modelo de visión artificial.

Valeria mencionó el nombre de los principales Atlas de dermatología animal que utilizan los veterinarios en el día a día, los cuales fueron utilizados, junto con otros, para el entrenamiento del modelo ya que aportan imágenes de gran valor y precisión de las

enfermedades a detectar, estos son “*Atlas de Dermatología Canina y Felina*” de Gustavo Machicote Goth, como también “*Dermatología de Animales Pequeños*” de Muller y Kirk’s. Además, coincidió con Victoria que la aplicación podría ser de gran utilidad para veterinarios, como así también sería de utilidad para mejorar la eficiencia de las consultas veterinarias en general.

Finalmente, remarcó que desde su perspectiva el principal beneficio para los veterinarios es la posibilidad de reducir el abanico de posibilidades a la hora de detectar una enfermedad utilizando la solución propuesta. Esto se debe a que la forma más común de llegar a un diagnóstico actualmente es recurrir al conocimiento y experiencia personal del profesional y a los Atlas respectivos.

### **2.3.5 Encuesta a dueños de perros sobre percepción e incidencia de enfermedades de piel en sus mascotas**

A fin de obtener datos descriptivos respecto a las enfermedades más comunes que sufren los perros y el apoyo que tendría en el mercado una herramienta como la que se desarrolla en el presente trabajo, se realizó una encuesta, respondida por 296 personas, que arrojó los resultados que en esta sección se detallan.

La encuesta filtraba aquellas personas que han tenido o tienen perros de aquellas que no, por ende, de las 296 personas que respondieron la encuesta, 9 de ellas contestaron que no tienen ni han tenido perro y por lo tanto no se les permitió contestar las preguntas posteriores de la encuesta. En el Anexo B se evidencian estos resultados junto con el porcentaje de encuestados que reportó haber tenido que afrontar problemas de piel de su can.

En primer lugar, se obtuvo un largo listado de enfermedades que sufren los perros, en donde la más comunes fueron:

- Dermatitis (sin especificar tipo): 20%
- Alergias (sin especificar tipo): 24%
- Parches calientes o Dermatitis Piotraumática: 22%

- Infecciones micóticas: 7%
- Miasis: 3%

En base a estos valores y las entrevistas que fueron realizadas es que se llegó a la conclusión de que las enfermedades con mayor probabilidad de incidencia eran la Dermatitis Piotraumática, infecciones micóticas y Miasis. Si bien la Dermatitis no específica y las alergias tienen un porcentaje alto de ocurrencia, estas no fueron elegidas por una serie de causas. Al no especificar el tipo de Dermatitis, es probable que ese 20% se descomponga en múltiples tipos distintos y no se concentre en un solo tipo, haciendo menos probable su ocurrencia. Con las alergias ocurre algo similar, este tipo de afecciones poseen la dificultad añadida de que las mismas no son necesariamente afecciones de piel, si no que únicamente se reflejan en la misma.

Finalmente, se le preguntó a los encuestados si consideraban que la solución propuesta les sería de utilidad, en otras palabras, si es algo que usarían y la considerarían una herramienta de valor o no, a lo que el 89% respondió que sí (ver gráfico en la figura 7), de esta forma se concluye que la solución propuesta es de interés para el público.

Para finalizar ¿Consideras que te sería útil tener una herramienta que te ayude a identificar de manera presuntiva enfermedades de piel en tu perro?

287 respuestas

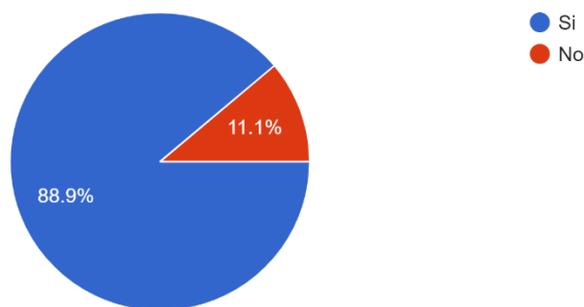


Figura 7: Resultados encuesta al público. Elaboración Propia.

### 2.3.6 Conclusiones

Los profesionales entrevistados coincidieron en que la solución sería de gran utilidad para los profesionales de la salud canina y parcialmente a los usuarios no profesionales. Gracias a las entrevistas realizadas también se pudo identificar una nueva oportunidad: la mejora de la eficiencia de las consultas veterinarias, adelantando un paso a través de las preguntas que el dueño del perro podrá responder a través de la aplicación.

Se evidenció también, como consecuencia de las entrevistas, la complejidad del campo de estudio, como así también la diversidad de patologías que pueden afectar la piel del perro.

A partir de la encuesta se pudo obtener un conocimiento real respecto a las enfermedades más prevalentes en los perros, lo cual en conjunto con las entrevistas logró poner el foco en las enfermedades más apropiadas para diagnosticar. Además, permitió conocer la opinión de los dueños de los perros respecto a la solución propuesta.

La investigación y el aporte de los profesionales fue de gran ayuda ya que se logró iterar sobre la idea original para poder profundizar en ella y adaptarla a los distintos problemas e inconvenientes que hoy en día los veterinarios experimentan. Se desplazó del eje principal al dueño del perro, tal como lo contemplaba la idea original, y se obtuvo una nueva mirada que permitió descubrir el potencial que la idea inicial poseía, pero que producto al sesgo y la nula experiencia en el campo de la veterinaria, permanecía oculto.

A partir de las entrevistas y la encuesta se logró conseguir un panorama concreto del dominio del problema y todas las partes involucradas. Además, a través de estas se identificó una oportunidad de mejora en la eficiencia de las consultas veterinarias, que no se consideró previamente y que será de gran utilidad para los usuarios.

### **3. Descripción de la solución propuesta**

La idea de VetLens fue concebida con la finalidad de proveer a los veterinarios y a los usuarios finales una herramienta que permita agilizar las consultas veterinarias, así como también facilitar el diagnóstico de enfermedades dermatológicas, ambas focalizadas a canes. Además, de forma secundaria, busca acelerar y asistir en el aprendizaje de los estudiantes de veterinaria y carreras afines.

Para lograr ello se han desarrollado diversos componentes que en conjunto permiten que VetLens cumpla su función. Los dos componentes principales son:

- Red neuronal convolucional
- Software de aplicación móvil

En la sección 3.1 se detalla el diagrama de casos de uso y la especificación de algunos de los principales casos de uso que componen la solución.

En la sección 3.2 se especifica la arquitectura de VetLens, permitiendo ver como se conectan los diferentes componentes, primero a nivel conceptual y luego ampliando la arquitectura a un nivel productivo.

En la sección 3.3 se detalla la lógica de negocio, particularmente el modelo de aprendizaje automático y todo lo relacionado a su desarrollo. Además, se describe como es el funcionamiento del servicio de detección.

En la sección 3.4 se realiza una breve descripción de la capa de presentación, es decir, el aspecto visual de VetLens y la tecnología asociada a dicho aspecto.

En la sección 3.5 se detalla el esquema de las bases de datos, así como también se aclaran diversos aspectos relacionados a la selección de los motores de bases de datos elegidos.

Finalmente, en la sección 3.6 se enuncian la misión y visión de VetLens, así como también las diferentes razones que dieron lugar al logo y también a las diferentes decisiones de diseño.

### **3.1. Análisis funcional**

Si bien se pueden conocer las funciones y características del sistema que va a construirse, *“es difícil avanzar hacia actividades más técnicas de la ingeniería de software hasta no entender cómo emplearán los usuarios finales dichas funciones y características”* (Pressman 2010). Para ello, se desarrollan un conjunto de escenarios que identifican la naturaleza de los usos para ese sistema y a estos se los denomina casos de uso (Pressman 2010).

En la figura 8 se puede apreciar el diagrama de los distintos casos de uso que componen al sistema:

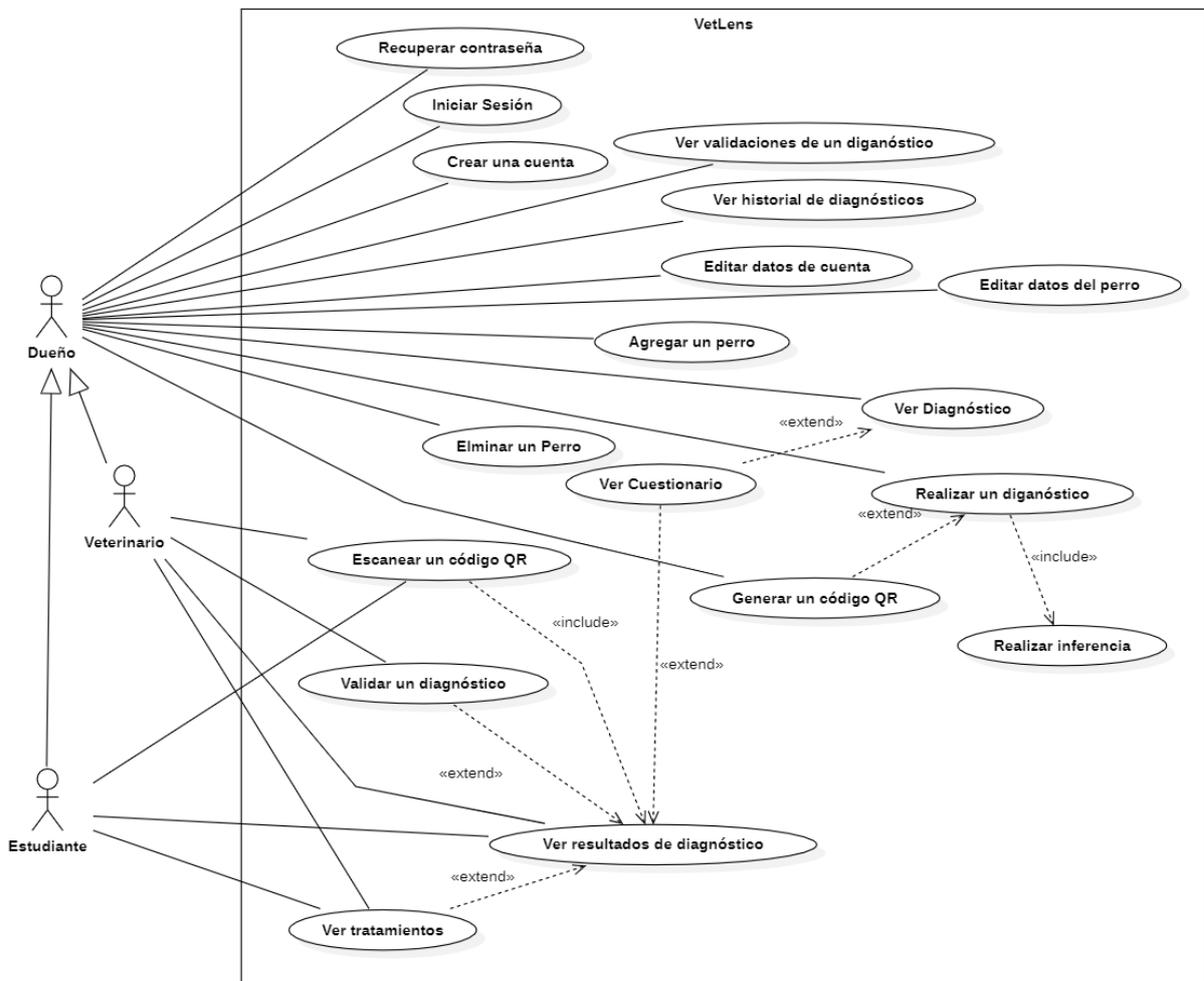


Figura 8: Diagrama de casos de uso del sistema VetLens. Elaboración Propia.

En él se pueden apreciar las diferentes funcionalidades que componen al sistema, y por quienes son utilizadas. A continuación, en la tabla II, III y IV se detalla la especificación de los casos de usos más relevantes del diagrama.

TABLA II: Especificación del caso de uso “Realizar un diagnóstico”. Elaboración Propia.

<b>Caso de uso ID:</b>	001
<b>Caso de uso Nombre:</b>	Realizar un diagnóstico
<b>Actores:</b>	Dueño, Estudiante, Veterinario.
<b>Descripción:</b>	El actor realiza un diagnóstico a través de la realización de un cuestionario.
<b>Precondiciones:</b>	El actor debe haber iniciado sesión en el sistema. El actor debe tener al menos un perro registrado.
<b>Postcondiciones:</b>	Se crea un nuevo diagnóstico que posteriormente podrá ser revisado y validado por un veterinario.
<b>Flujo Normal</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El actor selecciona la opción “Nuevo Cuestionario”.</li> <li>2. El sistema le solicita al actor que seleccione el perro para el que desea realizar el diagnóstico.</li> <li>3. El actor selecciona al perro correspondiente.</li> <li>4. Por cada pregunta almacenada en el sistema, se le pide al actor una respuesta.</li> <li>5. El actor responde cada una de las preguntas.</li> <li>6. El sistema le informa al actor que a continuación deberá tomar una fotografía de la lesión a evaluar, junto con una serie de consejos para mejorar el diagnóstico. Finalmente, le solicita que indique que comprendió lo indicado para proceder.</li> <li>7. El actor indica que comprendió las indicaciones.</li> <li>8. El sistema le solicita al actor que tome una foto o seleccione una foto de la galería.</li> <li>9. El actor toma la foto o selecciona una de la galería.</li> <li>10. El sistema realiza una inferencia (Caso de uso: Realizar una inferencia).</li> <li>11. El sistema le informa que el proceso ha concluido.</li> <li>12. El usuario selecciona la opción “Finalizar”.</li> </ol>	
<b>Flujo Alternativo:</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>5. Por cada pregunta almacenada en el sistema, se le pide al actor una respuesta.             <ol style="list-style-type: none"> <li>a. El actor no responde todas las preguntas.</li> </ol> </li> </ol>	

<ul style="list-style-type: none"> <li>b. El sistema le solicita al actor que conteste las preguntas, ya que son obligatorias.</li> <li>c. El actor contesta las preguntas.</li> </ul> <p>10. El sistema le informa al actor que el proceso ha concluido.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. El actor selecciona la opción “Ver código QR”.</li> <li>b. Se ejecuta el caso de uso “Generar un código QR”</li> </ul>	
<b>Excepciones:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>1. Pérdida de conexión a Internet</li> <li>2. Expiración de la sesión.</li> </ul>	
<b>Extends – Includes:</b>	Extends: “Generar un código QR”. Includes: “Realizar inferencia”.
<b>Requerimientos no funcionales:</b>	-
<b>Notas:</b>	-

TABLA III: Especificación del caso de uso “Ver resultados de diagnóstico”. Elaboración Propia.

<b>Caso de uso ID:</b>	002
<b>Caso de uso Nombre:</b>	Ver Resultados de diagnóstico
<b>Actores:</b>	Estudiante, Veterinario.
<b>Descripción:</b>	El actor visualiza los resultados de un diagnóstico.
<b>Precondiciones:</b>	El actor debe haber iniciado sesión en el sistema. El diagnóstico debe existir.
<b>Postcondiciones:</b>	-
<b>Flujo Normal:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>1. El actor selecciona el diagnóstico que desea ver.</li> <li>2. El sistema le muestra al actor a quién pertenece dicho diagnóstico, la fecha en que fue realizado, una foto del perro en cuestión, los datos del perro y el resultado obtenido. Además, le da la opción de ver el cuestionario contestado por el dueño, ver los</li> </ul>	

<p>tratamientos para la enfermedad diagnosticada o validar el diagnóstico (únicamente veterinarios).</p> <p>3. El actor finaliza el caso de uso saliendo de la sección.</p>
<p><b>Flujo Alternativo:</b></p>
<p>2. El sistema le muestra al actor a quién pertenece dicho diagnóstico, la fecha en que fue realizado, una foto del perro en cuestión, los datos del perro y el resultado obtenido. Además, le da la opción de ver el cuestionario contestado por el dueño, ver los tratamientos para la enfermedad diagnosticada o validar el diagnóstico (únicamente veterinarios).</p> <p style="padding-left: 40px;">a. El actor selecciona la opción “Ir al cuestionario”.</p> <p style="padding-left: 40px;">b. Se ejecuta el caso de uso “Ver cuestionario”.</p> <p>3. El sistema le muestra al actor a quién pertenece dicho diagnóstico, la fecha en que fue realizado, una foto del perro en cuestión, los datos del perro y el resultado obtenido. Además, le da la opción de ver el cuestionario contestado por el dueño, ver los tratamientos para la enfermedad diagnosticada o validar el diagnóstico (únicamente veterinarios).</p> <p style="padding-left: 40px;">a. El actor selecciona la opción “Ver tratamientos”.</p> <p style="padding-left: 40px;">b. Se ejecuta el caso de uso “Ver tratamientos”.</p> <p>4. El sistema le muestra al actor a quién pertenece dicho diagnóstico, la fecha en que fue realizado, una foto del perro en cuestión, los datos del perro y el resultado obtenido. Además, le da la opción de ver el cuestionario contestado por el dueño, ver los tratamientos para la enfermedad diagnosticada o validar el diagnóstico (únicamente veterinarios).</p> <p style="padding-left: 40px;">a. El actor selecciona la opción “Validar”.</p> <p style="padding-left: 40px;">b. Se ejecuta el caso de uso “Validar un diagnóstico”.</p>
<p><b>Excepciones:</b></p>
<p>1. Pérdida de conexión a Internet</p> <p>2. Expiración de la sesión.</p>

<b>Extends – Includes:</b>	Extends: “Ver tratamientos”, “Validar un diagnóstico”, “Ver cuestionario”.
<b>Requerimientos no funcionales:</b>	-
<b>Notas:</b>	-

TABLA IV: Especificación del caso de uso “Escanear un código QR”. Elaboración Propia.

<b>Caso de uso ID:</b>	003
<b>Caso de uso Nombre:</b>	Escanear un código QR
<b>Actores:</b>	Estudiante, Veterinario.
<b>Descripción:</b>	El actor escanea un código QR correspondiente a un diagnóstico realizado por otro actor.
<b>Precondiciones:</b>	El actor debe haber iniciado sesión en el sistema. El diagnóstico debe existir.
<b>Postcondiciones:</b>	Se obtiene el diagnóstico para que pueda ser visualizado por el actor.
<b>Flujo Normal:</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El veterinario selecciona la opción “Escanear”.</li> <li>2. El sistema abre la cámara del dispositivo y le indica que escanee el código.</li> <li>3. El veterinario escanea el código QR.</li> <li>4. Se ejecuta el caso de uso “Ver resultados de diagnóstico”.</li> </ol>	
<b>Flujo Alternativo:</b>	
-	
<b>Excepciones:</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pérdida de conexión a Internet</li> <li>2. Expiración de la sesión.</li> </ol>	
<b>Extends – Includes:</b>	Includes: “Ver resultados de diagnóstico”.
<b>Requerimientos no funcionales:</b>	-
<b>Notas:</b>	-

## 3.2. Arquitectura de la solución

En esta sección se describe, en primer lugar, como está compuesta la arquitectura conceptual de VetLens, únicamente considerando los aspectos más básicos de su implementación.

En segundo lugar, se describe una versión productiva de la solución, con las consideraciones respectivas de redes.

### 3.2.1 Arquitectura conceptual

En la figura 9 pueden identificarse los diferentes elementos que componen la arquitectura conceptual de VetLens, a saber:

- **VetLens API:** es una API escrita en Java que entra en contacto con la aplicación móvil del usuario. Es la encargada de implementar las funcionalidades del producto, la autenticación en las peticiones, así como también el acceso a la base de datos MySQL y MongoDB a través de su servicio online Atlas y al servicio de S3 para el almacenamiento de las imágenes y archivos necesarios.
- **VetLens ML API:** es una API escrita en Python. La misma recibe una petición de VetLens API para realizar una predicción a partir de una imagen y devuelve los resultados obtenidos con el modelo entrenado, utilizando la imagen recibida.
- **Modelo Entrenado:** es una CNN sobre la que se entra en detalle en la sección 3.3.1. La misma fue desarrollada y entrenada utilizando el servicio Google Colaboratory.
- **Aplicación Móvil:** es, como indica su nombre, una aplicación para teléfonos Android. La misma se desarrolló utilizando React Native.
- **Persistencia:** dentro de la figura 9 pueden identificarse dos tipos de bases de datos, una documental y otra transaccional, MongoDB y

MySQL, respectivamente. Además, se utiliza el servicio de buckets S3 de Amazon Web Services (AWS) para el almacenamiento de imágenes y documentos PDF.

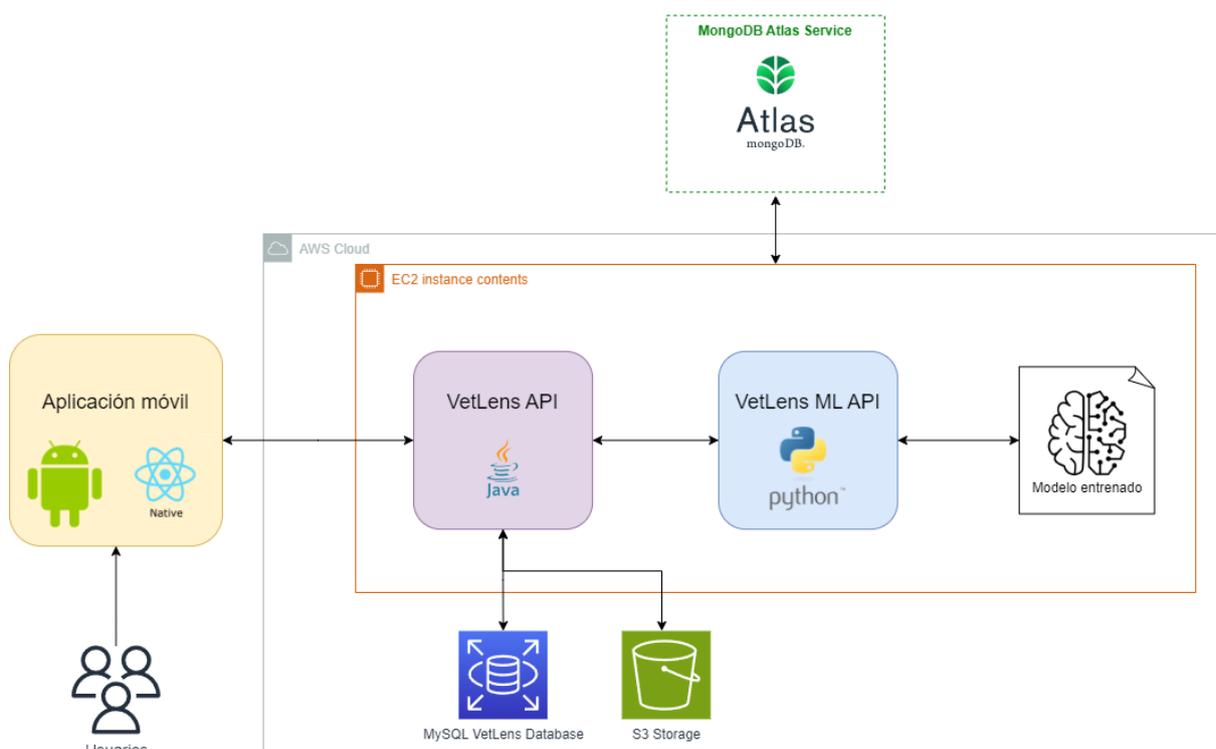


Figura 9: Diagrama de arquitectura de VetLens. Elaboración Propia.

En la siguiente sección se detalla la implementación productiva de VetLens, la cual será la considerada a la hora de estimar los costos asociados a los servicios de Cloud Computing.

### 3.2.2 Arquitectura productiva

En la figura 10 puede apreciarse una versión productiva de la arquitectura descrita en la sección anterior:

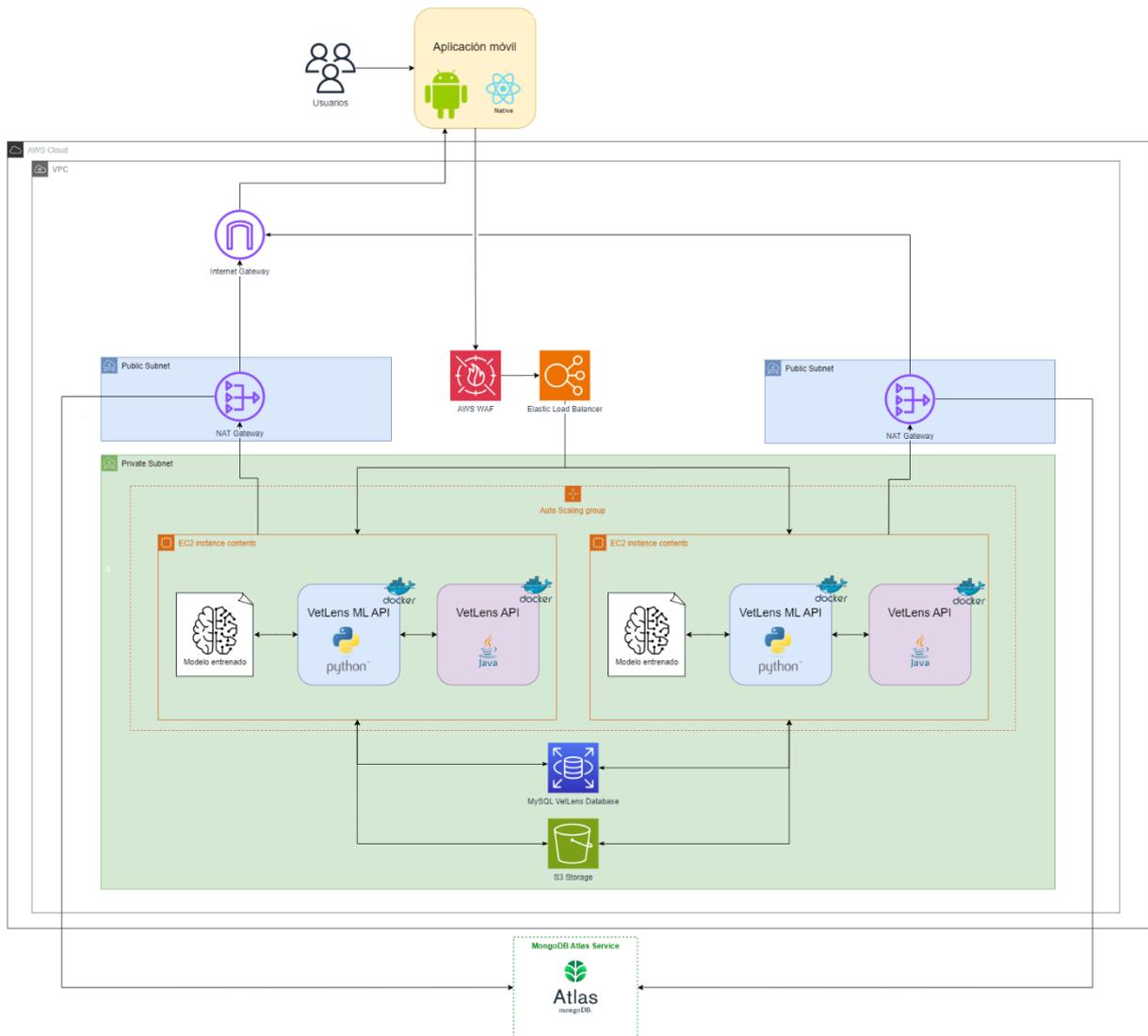


Figura 10: Arquitectura productiva de VetLens. Elaboración Propia.

La arquitectura en cuestión agrega múltiples servicios nuevos a la arquitectura anterior, a saber:

- Balancedador de carga:** la función de este servicio es distribuir automáticamente el tráfico entrante (Amazon Web Services, Inc. 2023d).
- Grupo de escalado automático para las instancias EC2:** agrupación lógica para el escalado de instancias EC2. Conforme la demanda lo

requiera, se irán generando nuevas instancias de los servidores de a pares, para poder cumplir con la demanda de tráfico (Amazon Web Services, Inc. 2023a).

- **Web Application Firewall (WAF):** servicio que permite crear reglas para filtrar el tráfico web, de esta forma se obtiene un nivel de protección adicional frente a ataques web que intenten aprovechar vulnerabilidades de la aplicación (Amazon Web Services, Inc. 2023b).
- **NAT Gateway:** servicio que permite que instancias que se encuentra en una subred privada se puedan conectar a servicios fuera de la Virtual Private Cloud (VPC). A su vez, evita que conexiones no solicitadas puedan ser iniciadas desde fuera hacia las instancias (Amazon Web Services, Inc. 2023e).
- **Internet Gateway:** componente que permite la comunicación entre la VPC e internet. A diferencia del NAT Gateway, este componente permite que los recursos de las subredes públicas se conecten con Internet (Amazon Web Services, Inc. 2023c).

### 3.3. Lógica de negocio

La lógica de negocio de VetLens abarca desde la anamnesis del animal y la detección de las enfermedades de piel, detalladas en la sección 2.1.2, a partir de una foto que toma el usuario, hasta la presentación de los resultados a través de un código QR y la recomendación de posibles tratamientos al profesional.

#### 3.3.1 Modelo de aprendizaje automático

El principal componente de VetLens, aquél que hace posible la detección de las enfermedades, es un modelo de aprendizaje automático. Particularmente, una red neuronal convolucional que permite a partir de una imagen obtener la probabilidad de que dicha imagen pertenezca a cada una de las cinco clases listadas a continuación:

- Dermatofitosis

- Dermatitis Piodtraumática
- Miasis
- Otras enfermedades
- Sin problemas

Como puede intuirse fácilmente por sus nombres, estas representan a cada una de las enfermedades descritas con anterioridad. Además, puede observarse que existen dos clases adicionales “otras enfermedades” y “sin problemas”. Para los fines prácticos, estas dos clases serán fusionadas en una misma llamada “no discernible”. A continuación, se detalla como fue el proceso que dio lugar al modelo final con el funciona VetLens.

### **3.3.1.1 Selección del modelo**

Toda persona que quiera crear un modelo de aprendizaje automático lo primero que debe hacerse es la pregunta: ¿Cuál es el verdadero problema por resolver?

En el caso de VetLens la respuesta parece clara, hay que clasificar imágenes en una de cinco categorías o clases. Sin embargo, VetLens tiene una particularidad, se utiliza para la clasificación de enfermedades, por ende, se requiere que métricas como lo son la precisión, exactitud y sensibilidad sean elevadas. Un error en la predicción del modelo puede generar de pequeños a grandes inconvenientes.

Otro de los problemas principales a la hora de definir el modelo fue la escasez de los datos. No existen bases de datos de acceso público con miles de fotos de estas enfermedades, y aquellas que existen son únicamente de universidades o entidades que colaboran con investigaciones financiadas. De esta forma, se tuvo que recurrir a diversos atlas dermatológicos de pequeños animales para encontrar fotos de calidad y correctas. Sin embargo, esto no era suficiente, los datos eran muy escasos. Por ello se recurrió a obtener imágenes de internet y validar las mismas con veterinarios para asegurar que las mismas eran adecuadas. De esta forma se formó un set de datos con unas 43 imágenes aproximadamente para cada clase del modelo. Más adelante se especifica como se logró obtener a partir de este set de datos extremadamente pequeño, resultados satisfactorios.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, es que se decidió utilizar la técnica de aprendizaje automático conocida como aprendizaje por transferencia.

La técnica de aprendizaje por transferencia, del inglés “*transfer learning*”, tiene como objetivo mejorar el rendimiento de un modelo a través de la transferencia de conocimiento obtenida en otro dominio de problema, aunque relacionado con el mismo (Zhuang et al. 2020). De esta forma un desarrollador puede utilizar un modelo que funciona bien para una tarea similar a la que quiere resolver, y utilizar ese conocimiento que tiene el modelo para adaptarlo a un problema en particular.

A la hora de determinar qué modelo utilizar como base se realizaron una serie de pruebas sobre cuatro modelos seleccionados para visualizar cuál de ellos tenía el mejor rendimiento base, es decir, sin ninguna capa adicional, para resolver el problema de detección de lesiones de piel en perros.

Los cuatro modelos seleccionados fueron:

- ResNet50
- Xception
- VGG16
- EfficientNetB2

Estos modelos fueron seleccionados en base a su exactitud, profundidad y tiempos de procesamiento con en el set de datos *ImageNet*, una base de datos de imágenes gigantesca cuya finalidad es fomentar la investigación de software en reconocimiento de imágenes.

### **3.3.1.2 Rendimiento de los diferentes modelos**

En base a los modelos especificados en la sección anterior, los mismos fueron importados y entrenados para visualizar cuál de ellos en su formato base era el más adecuado para el problema a resolver.

A cada modelo se le agregó una última capa “*fully-connected*”, también llamadas capas densas, con una función de activación *softmax*. Esta capa final toma los resultados del modelo en evaluación y permite obtener como resultado una lista de cinco elementos, cada uno de ellos representando la probabilidad de que la imagen pertenezca a una de las cinco clases mencionadas con anterioridad.

Para lograr producir resultados comparables entre los diferentes modelos se decidió utilizar para todos ellos los mismos parámetros de entrenamiento y compilación, así como también el mismo set de datos, como se evidencia en la tabla V

TABLA V: Parámetros de entrenamiento de los modelos evaluados. Elaboración Propia.

Parámetro	Valor
Optimizador de pesos	Adam
Tasa de aprendizaje	0.001
Epochs o ciclos	30

Se implementó también “*early stopping*”, cuya función es detener el entrenamiento en caso de que la métrica deseada, en este caso la exactitud con los datos de validación, no mejore en una cantidad determinada de *epochs* y así poder evitar que se produzca *overfitting*.

Para las pruebas se importaron los modelos, utilizando los pesos que resultaron de entrenar cada red neuronal con el set de datos de ImageNet. Además, todas las capas de los modelos fueron congeladas, es decir, el entrenamiento no modificó los pesos de las capas del modelo en sí, únicamente modifico los pesos de la capa final de activación.

El primer modelo evaluado fue ResNet50. Esta red neuronal se enfoca en el concepto de aprendizaje residual sosteniendo que su uso facilita el entrenamiento de redes neuronales de gran profundidad, logrando a su vez que la optimización de la red sea más sencilla (He et al. 2015). El concepto de aprendizaje residual excede al alcance de este documento.

Los resultados finales del entrenamiento fueron los siguientes:

- Exactitud con los datos de entrenamiento: 98,92%
- Pérdida con los datos de entrenamiento: 0,1953
- Exactitud con los datos de validación: 94,83%
- Pérdida con los datos de validación: 1,1157

Los resultados obtenidos para este modelo no fueron buenos. La pérdida es alta tanto para los datos de entrenamiento como de validación. En el Anexo D se podrán encontrar los gráficos correspondientes al entrenamiento del modelo.

Además de lo mencionado anteriormente, el modelo fue detenido en el octavo ciclo, por lo que se puede deducir que se produce *overfitting* rápidamente.

El segundo modelo evaluado fue Xception. Esta red neuronal está basada en otra arquitectura conocida como InceptionV3. La misma utiliza el concepto de convolución separable en profundidad (Chollet 2017). Tanto la arquitectura de InceptionV3 como el funcionamiento de las capas de convolución separables en profundidad exceden al alcance de este documento.

Los resultados finales del entrenamiento fueron los siguientes:

- Exactitud con los datos de entrenamiento: 99,97%
- Pérdida con los datos de entrenamiento: 0,0606
- Exactitud con los datos de validación: 93,46%
- Pérdida con los datos de validación: 0,2062

Los resultados obtenidos parecen ser muy buenos a simple vista. En comparación con el modelo ResNet50, se puede observar que todas las métricas mejoraron a excepción de la exactitud con los datos de validación, aunque la diferencia de esta última es prácticamente despreciable.

El modelo fue detenido en el ciclo 24 de 30, con lo cual existe cierto indicio de que comenzó a producirse *overfitting*. En el Anexo D se podrán encontrar los gráficos correspondientes al entrenamiento del modelo.

El tercer modelo evaluado fue VGG16. Esta red neuronal es una de las más conocidas actualmente por su rendimiento. Esta es una red de unas 16 capas de profundidad con filtros de convolución muy pequeños. Además, se ha demostrado que este modelo suele generalizar de manera efectiva con otros datos (Simonyan y Zisserman 2015), haciéndolo un candidato ideal para el modelo de VetLens.

Los resultados finales del entrenamiento fueron los siguientes:

- Exactitud con los datos de entrenamiento: 99,97%
- Pérdida con los datos de entrenamiento: 0,0129
- Exactitud con los datos de validación: 73,63%
- Pérdida con los datos de validación: 1,7840

Desafortunadamente, los resultados no fueron los esperados. Si bien la exactitud y pérdida con los datos de entrenamiento es muy buena, lo que significa que el modelo está aprendiendo, las mismas métricas para los datos de validación son peores que con otros modelos, evidenciando que se produce un *overfitting* más fuerte que en los otros modelos.

Este fue uno de los dos modelos que utilizó los 30 ciclos de entrenamiento. En el Anexo D se podrán encontrar los gráficos correspondientes al entrenamiento del modelo.

Finalmente, el último modelo evaluado fue EfficientNetB2. Se entrará en detalle sobre el funcionamiento de EfficientNetB2 en la siguiente sección.

Los resultados finales del entrenamiento fueron los siguientes:

- Exactitud con los datos de entrenamiento: 99,92%
- Pérdida con los datos de entrenamiento: 0,0324

- Exactitud con los datos de validación: 97,36%
- Pérdida con los datos de validación: 0,1025

A simple vista se puede apreciar que este fue el modelo con el mejor rendimiento entre todos los evaluados. Pero esto es aún más evidente al comparar los gráficos de Exactitud y Pérdida que se encuentran en el Anexo D, con los de su respectiva competencia.

Este modelo tiene cierto grado de *overfitting*, al igual que el resto, sin embargo, es inferior al resto, considerando los valores que se observan y también por el hecho de que no requirió ser detenido con anticipación.

Al igual que el modelo VGG16, este utilizó los 30 ciclos de entrenamiento, pero con resultados ampliamente superiores, es por ello que el modelo seleccionado fue EfficientNetB2.

### 3.3.1.3 EfficientNetB2

EfficientNetB2 es una red neuronal convolucional que forma parte de la familia de modelos EfficientNet, la misma se destaca por su exactitud y eficiencia en relación a otras redes neuronales convolucionales (Tan y Le 2020).

Actualmente el modelo más reciente de EfficientNet es EfficientNetB7, conforme estos modelos avanzan, la exactitud del modelo mejora a causa de que se complejiza la red, es decir, se escala, lo cual también aumenta el uso de recursos y tiempos de procesamiento.

En el Anexo F, se encuentran dos tablas que detallan diferentes aspectos de rendimiento de los diferentes algoritmos de la familia EfficientNet. EfficientNetB2 fue el modelo elegido ya que el mismo posee un rendimiento muy bueno con relación al resto de los modelos más recientes de la familia. Los tiempos de procesamiento son menores que los de sus predecesores, lo cual es una ventaja, considerando que la ganancia en exactitud no es significativa. Además, el modelo no posee una complejidad tan elevada a diferencia de sus predecesores, lo cual hubiese generado un modelo más inclinado a producir *overfitting*, debido a la poca cantidad de datos con los que se trabajó.

Se ha demostrado también que esta familia de modelos se transfieren adecuadamente a otros set de datos conocidos, no solo ImageNet (Tan y Le 2020). Obteniéndose para ImageNet, en el caso de EfficientNetB2 un 80,1% de “*Top-1 Accuracy*” y un 94,9% de “*Top-5 Accuracy*” (Tan y Le 2020). Estas métricas se refieren a la exactitud del modelo en cuanto a que la respuesta esperada sea la que da el modelo (Top-1 Accuracy) o esté dentro de las primeras cinco seleccionadas por el mismo (Top-5 Accuracy).

La arquitectura de EfficientNetB2 resulta de una técnica compuesta de escalado definida en detalle en el artículo “*EfficientNet: Rethinking Model Scaling for Convolutional Neural Networks*” y que excede al alcance de este documento.

Sin embargo, es relevante destacar la arquitectura de la cual parte EfficientNetB2, denominada EfficientNetB0 y es la misma arquitectura de la cuál parten todos los modelos de la familia de EfficientNets. La misma se detalla la tabla VI.

TABLA VI: Capas de la arquitectura de EfficientNetB0. (Tan y Le 2020)

Capas	Detalles
Input Layer	La misma consta de una capa de convolución con un Kernel de un tamaño de 3x3 con 32 filtros. Dimensiones de la imagen de entrada: 224x224 Canales de la imagen de entrada: RGB, 3 canales Normalización de píxeles de la foto: valores 0-255
Convolution Layers	Son una serie de capas de convolución del tipo MBConv6, un tipo particular de capas denominado “ <i>inverted bottleneck MBConv</i> ”. Estas varían en tamaño del Kernel de 3x3 y 5x5 y también varía el número de filtros siendo estos 16, 24, 40, 80, 112, 192, 320
Pooling Layer	Capa de reducción. Utiliza el método <i>max pooling</i> con un Kernel de 3x3, en conjunto con una convolución de Kernel 1x1
Dense Layer	Capa “ <i>fully connected</i> ” Activación: softmax

### 3.3.1.4 Arquitectura del Modelo Final

Como se indicó anteriormente, el modelo seleccionado a partir del cual se construyó el modelo de VetLens fue EfficientNetB2. Esto se debe a que fue la red neuronal que mejor se adaptó al problema que busca resolver VetLens en base a las pruebas.

Una arquitectura aproximada para el modelo final se puede observar en la siguiente figura:

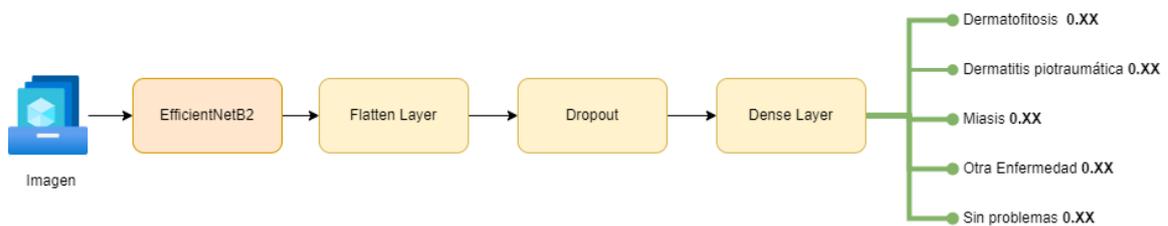


Figura 11: Arquitectura en capas del Modelo Final utilizado por VetLens. Elaboración Propia.

En la figura 11 se pueden observar las diferentes capas que conforman el modelo. Las primeras capas de este son las del modelo EfficientNetB2, descritas anteriormente. La última capa de EfficientNetB2 fue removida, para poder agregar las últimas tres capas. Estas se detallan en la tabla VII.

TABLA VII: Arquitectura en capas detallada del Modelo Final utilizado por VetLens.  
 Elaboración Propia.

Capa	Detalles
EfficientNetB2	Descrito en la sección anterior. Formatos aceptados de la imagen de entrada: JPG, JPEG y PNG Canales de la imagen de entrada: RGB, 3 canales Normalización de píxeles de la foto: valores 0-255 Dimensiones de la imagen de entrada: 224x224
Flatten Layer	Capa encargada de redimensionar la salida de la capa de EfficientNetB2 para poder conectarla con la <i>Dense Layer</i> .

Dropout	Técnica de regularización para reducir el <i>overfitting</i> . Se remueven de manera aleatoria una fracción de las unidades de la capa cuando el modelo es entrenado (James et al. 2022).  Valor: 0,3 – Obtenido experimentalmente
Dense Layer	Capa final de salida.  Activación: <i>softmax</i>  Formato de la salida: lista de 5 elementos cuya suma de valores es exactamente 1.

### 3.3.1.5 Entrenamiento del modelo

A la hora de entrenar el modelo anteriormente descrito, al igual que los modelos que fueron entrenados con anterioridad para evaluar su rendimiento, el proceso no fue lineal como uno esperaría.

Como se comentó en la sección 3.3.1.1 se contaba con un inconveniente no menor, la escasez de datos. Para el entrenamiento se tenían aproximadamente 43 imágenes por clase, lo cual es extremadamente poco para entrenar un modelo de aprendizaje automático. Es por ello que se recurrió a una técnica conocida como aumento de datos, del inglés “*data augmentation*”.

La técnica de aumento de datos consiste en replicar cada imagen de entrenamiento una serie finita de veces aplicando de forma aleatoria alguna distorsión natural de forma que un ser humano pueda seguir distinguiendo la imagen. De esta forma, el desarrollador logra aumentar el tamaño de un set de datos de forma artificial, y a su vez evita que se produzca *overfitting*, es por ello que a menudo se utiliza como técnica de regularización (James et al. 2022).

Este concepto puede asociarse fácilmente como solución al problema principal. Debido a esto se le aplicó un aumento de datos significativo a las imágenes para poder ampliar el set de datos. En la figura 12 se puede apreciar como quedó el set de datos tras la técnica de aumento de datos.

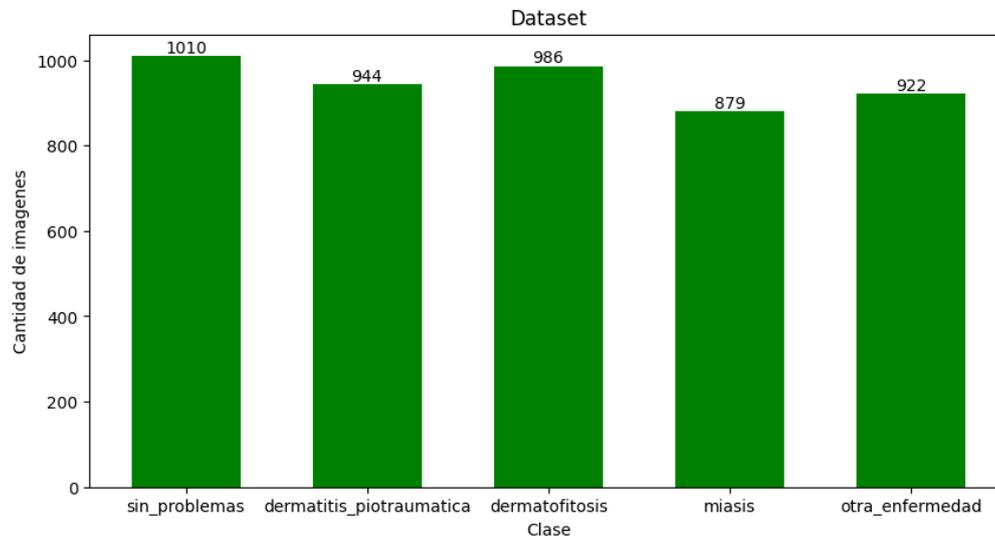


Figura 12: Gráfico de barras que indica la cantidad de imágenes por clase para cada clase del modelo final. Elaboración Propia.

Se puede diferenciar fácilmente un aumento sustancial de la cantidad de datos, que inicialmente podría parecer excesiva, pero que tras revisión de las imágenes finales es adecuado. Al realizar este tipo de operaciones, el desarrollador debe tener cuidado ya que podría accidentalmente dejar al set de datos desbalanceado, es decir, hacer que una clase tenga gran predominancia sobre el resto. Sin embargo, como se observa en la figura 13, este no fue el caso.

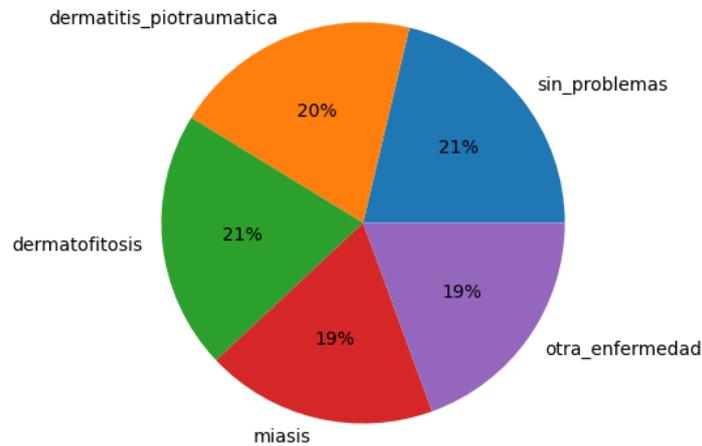


Figura 13: Gráfico de torta que indica la distribución, en porcentajes, de cada clase en el set de datos. Elaboración Propia.

La técnica de aumento de datos utilizada para lograr los resultados descritos consistió en aplicar 20 transformaciones a cada imagen del set de datos. En cada una de ellas podía producirse cualquiera de las siguientes distorsiones y en cualquier combinación, de manera aleatoria:

- Rotación sobre el centro entre  $0^\circ$  y  $40^\circ$  en cualquier dirección.
- Un aumento entre 0% y 20%.
- Corrimiento vertical y/o horizontal entre 0% y 20%.
- Cizallamiento entre un 0% y 20%.
- Giros verticales y/o horizontales.

Estos valores se fueron definiendo a través de reiteradas iteraciones experimentales para obtener las transformaciones que generasen los mejores aumentos posibles.

Una vez que el inconveniente de los datos fue resuelto se procedió a su procesamiento para poder entrenar con ellos el modelo. Según la arquitectura descrita en el apartado 3.2.1.4 las imágenes deberían tener un tamaño de  $224 \times 224$ , RGB y sus píxeles deberían tomar valores entre 0 y 255.

Lo primero que se realizó fue separar los datos en tres categorías:

- Datos de entrenamiento: corresponde al 80% de los datos del set de datos aumentado.
- Datos de validación: corresponden al 20% de los datos del set de datos aumentado.
- Datos de prueba: estos se separaron antes de hacer el aumento de datos, puesto que pierde sentido hacer un aumento de datos sobre los datos de prueba, y se conformó por 57 imágenes en su totalidad.

En cuanto a las transformaciones necesarias únicamente se redimensionaron las imágenes para que cumplan con las dimensiones estipuladas de 224x224 y a su vez se mezclaron las imágenes para evitar que existan clases predominantes en cualquiera de los conjuntos de datos. En cuanto a los canales (RGB) y los valores de los píxeles, no se requirieron cambios debido a que las imágenes ya cumplían con estos requisitos. Como método de interpolación para las imágenes se utilizó la *interpolación bicúbica*, debido a que fue la que mejores resultados arrojó experimentalmente.

Finalmente, una vez que los datos fueron procesados solo restó configurar los parámetros de entrenamiento para el modelo. Los mismos fueron obtenidos experimentalmente en base a sucesivos entrenamientos y comparaciones para obtener los mejores resultados posibles. Estos se detallan en la tabla VIII:

TABLA VIII: Parámetros de entrenamiento del modelo final utilizado por VetLens.

Elaboración Propia.

Parámetro	Valor
Optimizador de pesos	Adam
Tasa de aprendizaje	0,00001
Epochs o ciclos	30

Para el entrenamiento también se utilizó la técnica de “*early stopping*” para evitar que se produzca *overfitting*.

Los resultados arrojados tras el entrenamiento, el cual duró 30 ciclos, fueron los detallados a continuación:

- Exactitud con los datos de entrenamiento: 99,39%
- Pérdida con los datos de entrenamiento: 0,0537
- Exactitud con los datos de validación: 96,84%
- Pérdida con los datos de validación: 0,1122

En la figura 14, puede observarse como evolucionaron las métricas en el entrenamiento del modelo a lo largo de los ciclos:

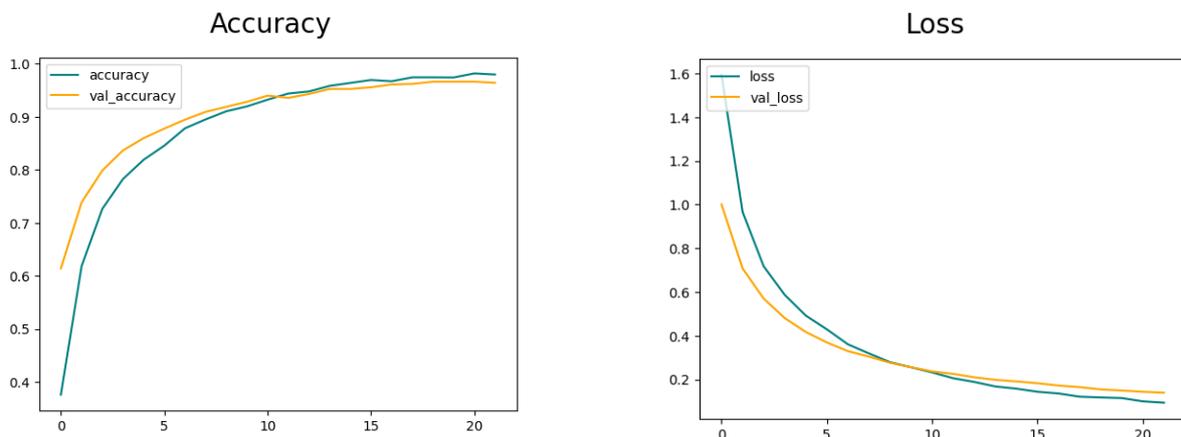


Figura 14: Gráficos de Exactitud (figura de la izquierda) y Pérdida (figura de la derecha) a lo largo del entrenamiento y validación del modelo final. Elaboración Propia.

Si se comparan las métricas obtenidas con respecto a la evaluación realizada en la sección 3.3.1.2 se podrá notar que los números parecen ser peores al agregar más capas. Sin embargo, a la hora de utilizar el modelo con datos de prueba, el modelo propuesto obtiene una exactitud del 78,95% mientras que EfficientNetB2 por su cuenta únicamente logra un 73,68%.

Esto se debe a que existe cierto *overfitting* en el modelo, lo cual es esperable considerando las limitaciones del set de datos disponible actualmente.

Tras revisar el modelo, se hizo evidente que existía cierto sesgo de este a la hora de dar una respuesta. Las imágenes pertenecientes a cualquiera de las tres enfermedades detectables eran detectadas correctamente en su mayoría, sin embargo, cuando la enfermedad no pertenecía a esas tres clases principales o era una imagen de piel sana con alguna marca, el modelo seguía respondiendo en algunos casos que la imagen pertenecía a alguna de esas tres enfermedades, aunque con un nivel de confianza bajo, normalmente menor o igual al 60%.

Teniendo en cuenta dicho inconveniente es que se optó por implementar un valor límite, es decir, un valor a partir del cual se puede considerar que la enfermedad detectada es en efecto del tipo y no un error del modelo. Además, se decidió combinar los resultados de las clases “otra enfermedad” y “sin problemas” para representar una clase de fondo denominada “no discernible”, es decir, esta clase representa todo el universo de enfermedades exceptuando las tres que pueden ser detectadas por el modelo.

Tras sucesivas iteraciones con diversos valores límites se decantó por la estrategia descrita a continuación:

- Si la predicción posee más de un 70% de probabilidad, entonces se presume que la predicción es correcta.
- Si la probabilidad de la clase “no discernible” es del 30% o más, se presume que la predicción es perteneciente a la clase “no discernible”, independientemente del porcentaje obtenido por el resto de las clases.

Tras la aplicación del valor límite se obtuvieron resultados ampliamente mejores que los mencionados anteriormente. Se entrará en detalle sobre dichos resultados en la sección “Pruebas Realizadas”.

### **3.3.2 Servicio de detección**

El servicio de detección consta de dos componentes principales:

- Backend en Java, backend principal de VetLens.
- Backend en Python, backend encargado del manejo del modelo de aprendizaje automático.

En primer lugar, el backend en Java, desarrollado utilizando Spring Boot, toma la responsabilidad de implementar cada una de las funcionalidades que el usuario tiene en su aplicación móvil, es el nexo entre la capa de presentación y toda la lógica de negocio de VetLens. Se encarga tanto de asegurar autenticación en cada una de sus peticiones, como también de realizar el procesamiento y devolver el diagnóstico que el usuario solicita a través de la aplicación al tomar la foto de su perro y responder el cuestionario de preguntas. Para lograrlo el mismo se encuentra conectado con el backend en Python, que se explicará a continuación, de forma sincrónica ya que obtiene la inferencia gracias a la inteligencia artificial que este último contiene, y a partir de la cual los distintos servicios implementados en Java permiten procesar y persistir la información en las distintas bases de datos y servicios de la nube que se consumen. Se optó por utilizar Java ya que es multiplataforma lo cual facilita la portabilidad del código en entornos diversos, además al ser un lenguaje orientado a objetos, favorece el desarrollo de software modular y mantenible, lo que resulta eficiente para el código de una API. Finalmente, un dato no menor es que Java cuenta con un ecosistema robusto de librerías y *frameworks* que pueden facilitar el desarrollo de la API.

En cuanto al backend en Python, mencionado anteriormente, este es un backend mucho más simple, implementado con el *framework* FastAPI. El mismo consta de un único *endpoint* que recibe una imagen y devuelve un objeto que contiene los valores devueltos por el modelo para cada clase, en conjunto con un string que contiene el nombre de la clase a la que corresponde la inferencia resultante.

A continuación, en la figura 15, se puede observar un diagrama de secuencia donde se puede visualizar de forma clara como es la comunicación entre los dos componentes para obtener una predicción:

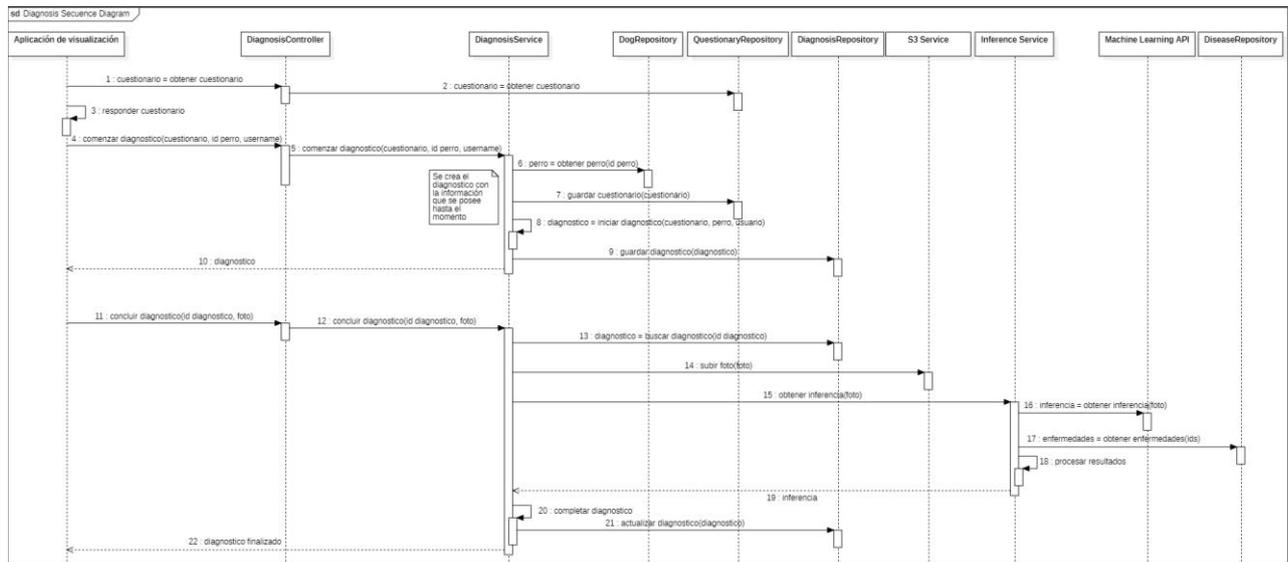


Figura 15: Diagrama de secuencia del servicio de detección de VetLens. DiagnosisController, DiagnosisService, S3Service, DiagnosisRepository, InferenceService y DiseaseRepository pertenecen al backend de Java. Machine Learning API es la representación del backend en Python. Elaboración Propia.

### 3.4. Presentación

La capa de presentación es la que permite a los usuarios poder interactuar con las distintas funcionalidades del software. En este caso, VetLens consiste en una aplicación móvil desarrollada en React Native, un framework de JavaScript para el desarrollo nativo de aplicaciones móviles para iOS y Android, basado en la librería JavaScript de Facebook que permite el desarrollo de interfaces de usuario destinadas a plataformas móviles (Eisenman 2017).

El funcionamiento consta de una cola de procesos, que comienza por el hilo principal tan pronto de inicia la aplicación. Al cargar la aplicación se inicia en automático el hilo JS para ejecutar código JavaScript, como también el hilo nativo para escuchar los eventos UI tales como “presionar”, “desplazar”, etcétera. Todos estos eventos son enviados a través del puente React Render, para que el hilo JS ejecute toda la lógica definida en código y posteriormente envíe la información sobre lo que se debe representar en la pantalla (Layout). Esta información es tomada por el hilo sombra, el cual es un motor matemático que decide el

cálculo y posición de los diseños (Lazcano Calixto et al. 2019). En la figura 16 pueden verse los diferentes hilos mencionados anteriormente.

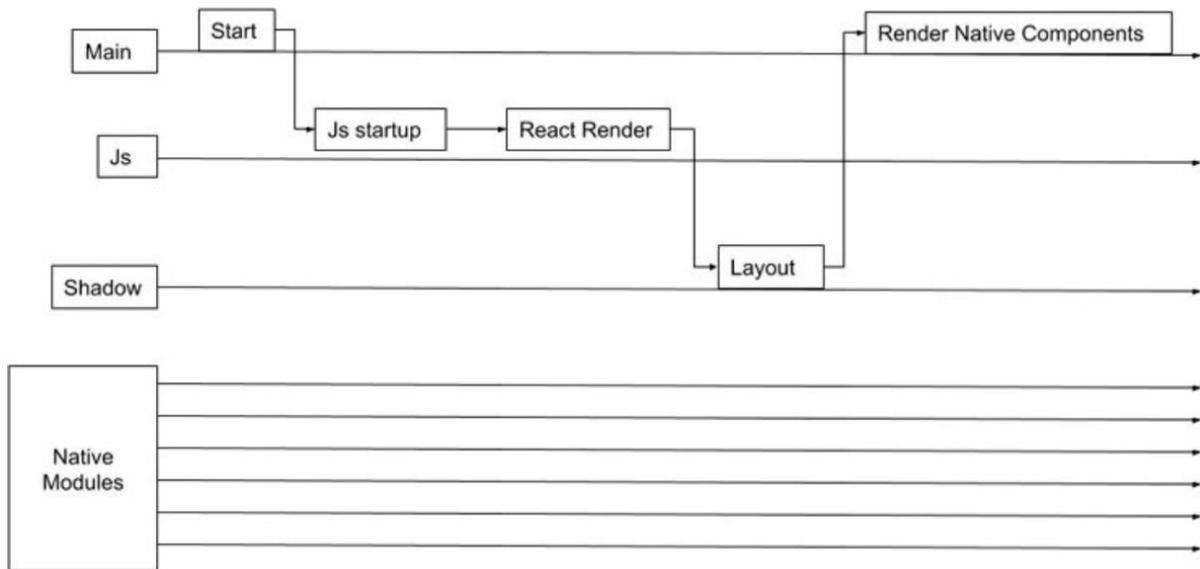


Figura 16: Funcionamiento hilos React Native (Lazcano Calixto et al. 2019).

En lo que respecta a la interfaz gráfica se opta por un diseño sencillo, el cual le presenta al usuario las funcionalidades de manera directa e intuitiva. Para mejorar la efectividad a la hora de realizar el diagnóstico el usuario recibe un instructivo guía al momento de tomar la foto para poder mejorar la precisión y calidad de esta. También se le brinda la posibilidad de cargar previamente la información de sus perros para ser utilizada en el momento de solicitar un diagnóstico, pudiendo este observar el historial de los que ya realizó para poder presentarlos al veterinario a través de la generación del código QR específico. En las figuras 17 y 18 pueden verse algunas de las pantallas que componen la aplicación.

Un aspecto muy importante a destacar sobre la presentación es que en la misma es donde el usuario será notificado sobre los aspectos legales relacionados con el uso de la aplicación, ya que la solución no tiene como objetivo reemplazar a los profesionales en su labor, si no que pretende ser una herramienta que sirva de ayuda a los mismos, y es por ello, que el usuario será informado respecto de los términos y condiciones de uso de la aplicación al momento de realizar su registro y las podrá consultar en todo momento desde la sección “Mi

Perfil”. Podrán encontrarse en el Anexo G los términos y condiciones de la aplicación al momento de redactado el documento.

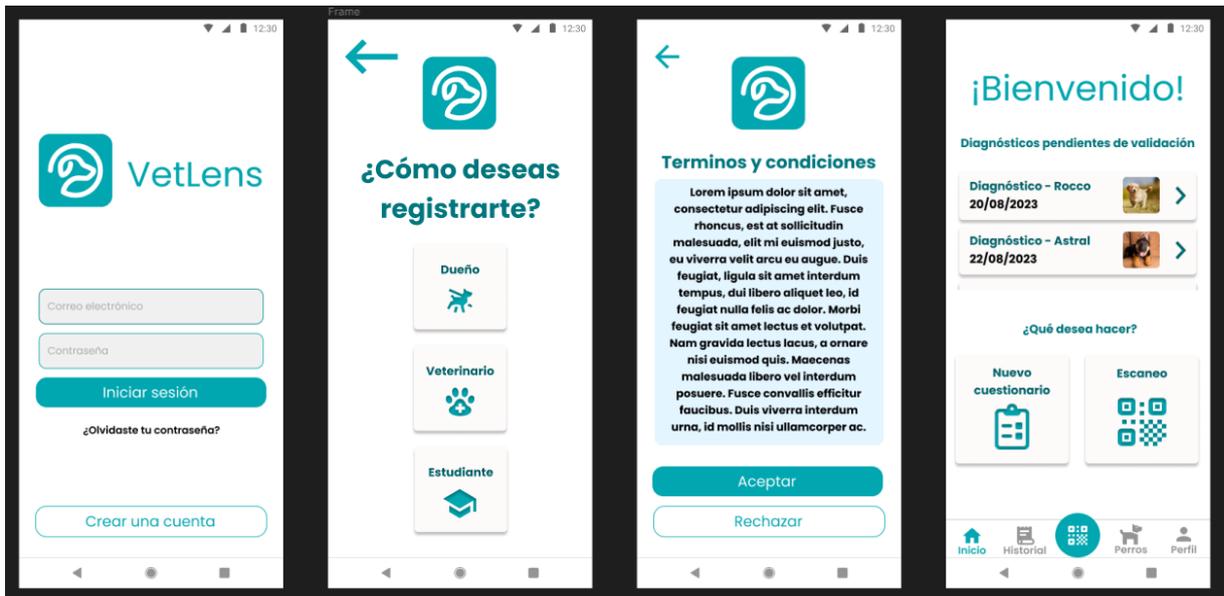


Figura 17: Pantalla inicio de sesión, registro y menú principal del Veterinario en VetLens.

Elaboración Propia.

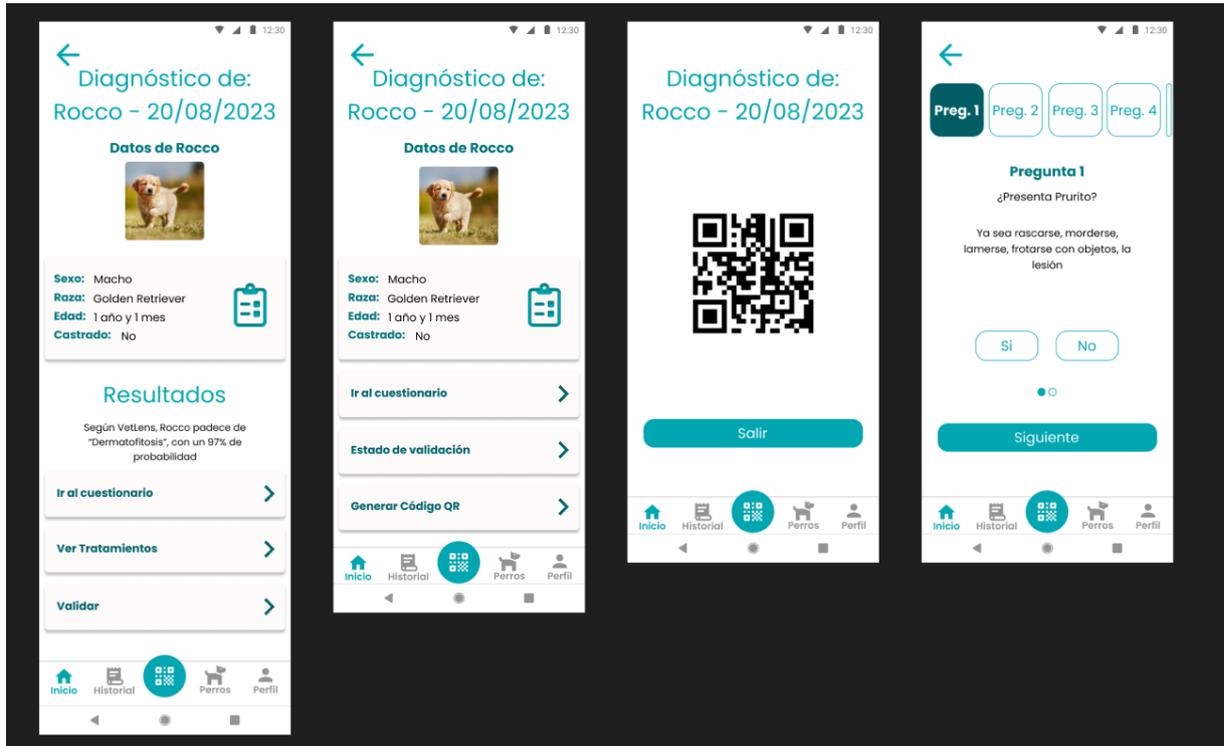


Figura 18: Pantalla diagnóstico vista Veterinario y Dueño respectivamente, generación de QR y cuestionario. Elaboración Propia.

### 3.5. Persistencia

En lo que respecta a la red neuronal convolucional encargada de hacer predicciones, esta fue almacenada en un archivo de estructura jerárquica (.h5) y almacenado en Google Drive. En cuanto a la capa productiva además de consumir el archivo de la CNN, se opta por dos estrategias distintas de persistencia.

En primer lugar, se utiliza una base de datos relacional MySQL (ver Figura 19 para ver el diagrama de la base de datos) para la persistencia de todas las entidades utilizadas en el backend Java gracias al uso de Hibernate.

Se escogió una base de datos relacional ya que permiten mantener la integridad y consistencia de los datos, incluso en situaciones de fallos del sistema. Como también permiten manejar grandes volúmenes de datos y realizar mantenimientos en la estructura de los datos sin afectar a la aplicación (Amazon Web Services, Inc. 2019).

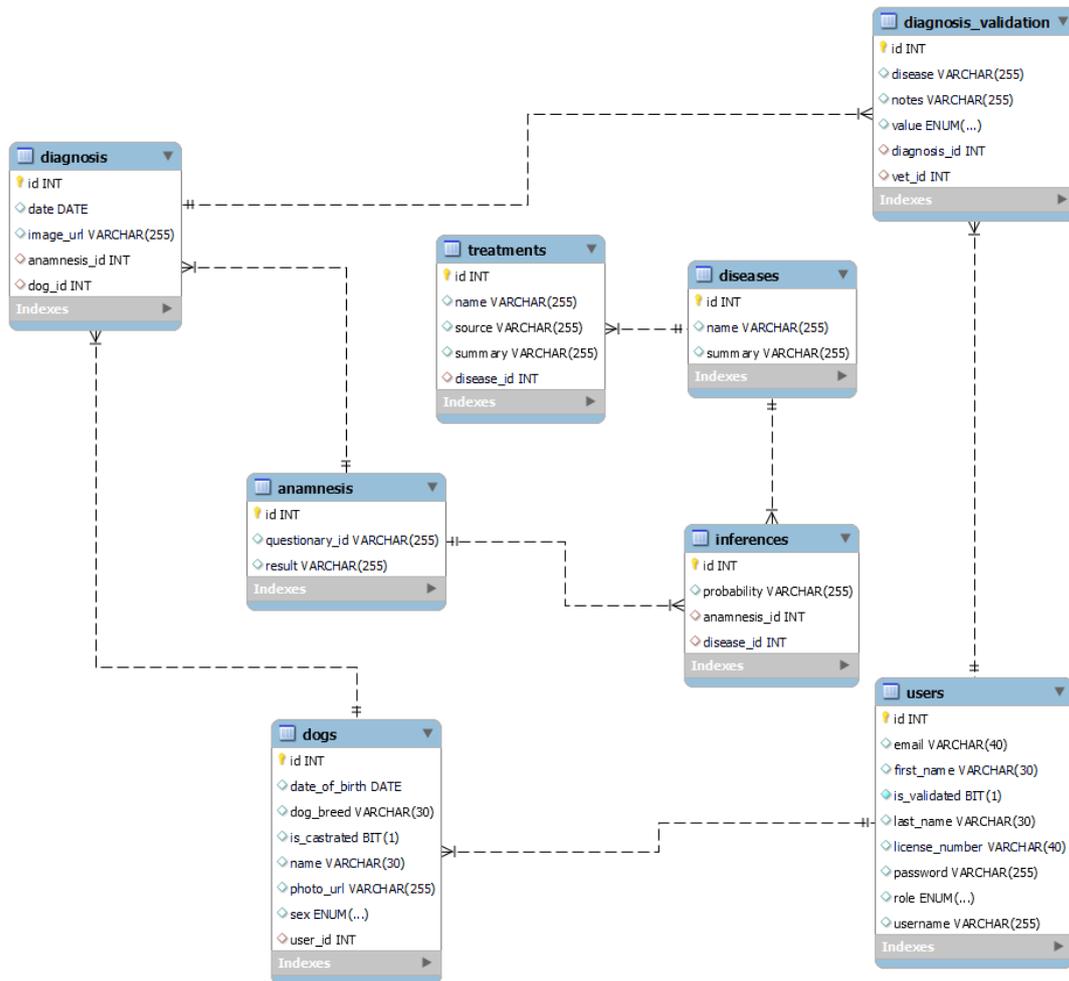


Figura 19: Diagrama de Base de Datos MySQL. Elaboración Propia.

En segundo lugar, se implementa una base de datos no relacional documental (MongoDB) ya que este tipo de persistencia permite satisfacer las necesidades en cuanto al almacenamiento del cuestionario que se le hace al usuario en el momento de realizar la anamnesis de su mascota, ya que “en estas bases de datos se empareja cada clave con una estructura de datos compleja que se denomina 'documento'. Los documentos pueden contener muchos pares de clave-valor distintos, o pares de clave-matriz, o incluso documentos anidados” (MongoDB, Inc. 2023). De manera que cada cuestionario que el usuario completa representa un documento el cual se asocia al diagnóstico en cuestión y como las respuestas pueden variar lo que genera cambios en la estructura de estos, gracias a la base de datos documental, se pueden persistir sin problema alguno.

Por último, la imagen que el usuario toma con la aplicación móvil, que es recibida por el servicio de detección, es almacenada en un bucket del servicio S3 de AWS ya que la misma debe poder ser mostrada al profesional cuando este escanee un código QR de un diagnóstico provisto por la aplicación. Optamos por utilizar un bucket de S3 en lugar de un servicio externo como Cloudinary gracias a la baja latencia que se experimenta entre este servicio y las instancias donde corre el backend, dado que pertenecen todos al mismo proveedor y, por ende, se encuentran bajo el mismo ecosistema.

### 3.6. Identidad de Marca

Los aspectos técnicos del producto son aquellos de mayor importancia a la hora de desarrollar un producto, sin embargo, hay un aspecto muy importante a considerar y que a menudo puede hacer la diferencia entre dos productos técnicamente similares, la identidad de marca.

La identidad de marca está directamente asociada a la misión del producto y como la misma busca transmitirse a los clientes. Corresponde, entonces, enunciar la misión y visión de VetLens:

- **Misión:** proporcionar a los profesionales y estudiantes de la salud canina, y a los dueños de perros una herramienta innovadora y efectiva para la detección de enfermedades de piel más frecuentes en perros. Tanto desde la agilización del proceso de consulta veterinaria como también a través de la mejora de la precisión del diagnóstico de enfermedades de piel.
- **Visión:** convertirse en la principal herramienta de asistencia veterinaria para el diagnóstico de enfermedades de piel en perros, brindándole a veterinarios, estudiantes y dueños una solución confiable y de fácil acceso.

Para transmitir estos valores, es esencial el aspecto visual del producto. Por ejemplo, su logo. El logo de VetLens se creó con la idea de que sea minimalista y fácil de

recordar. Es un logo simple que consta de una silueta de un perro con un fondo celeste, como se aprecia en la figura 20.



Figura 20: Logo de VetLens. Elaboración Propia.

Es importante también el nombre del producto. El mismo es un juego de palabras entre la palabra “veterinario” y la palabra en inglés “lens”, cuyo significado es lente. De esta forma resulta sencillo asociar el nombre de la aplicación con su función y objetivo. El cliente sabe lo que está consumiendo.

Además, la paleta de colores no fue una elección aleatoria, los colores elegidos están asociados a diversas emociones, en el caso del azul, se lo asocia con emociones como la protección, calma, paz y confianza (Saavedra 2022), mientras que para el color blanco se asocian emociones como la honradez, la inocencia y la pureza (Leiva 2022).

Como se puede apreciar en las figuras 17 y 18 de la sección 3.4, las pantallas en todo momento son consistentes en su diseño y en los colores, de forma que el usuario puede intuitivamente saber que hacer, sin que requiera una explicación explícita, evitando que el mismo se sienta perdido o que se requiera un gran esfuerzo para aprender a utilizar la aplicación.

Finalmente, resulta útil definir cuáles son las cuatro “P” de marketing para VetLens:

- Producto:** VetLens es una herramienta para la detección de enfermedades de piel en perros. Orientada tanto a dueños de perros como a veterinarios. A estos últimos es a quién más beneficia a partir de

la agilización de consultas y asistencia a la hora del proceso de diagnóstico de una enfermedad de piel.

- **Precio:** a menudo es lo primero en lo que los clientes se fijan. En el caso de VetLens los mismos se definen según los diferentes planes de suscripción definidos en la sección 6.2.2.
- **Punto de Venta:** al ser una aplicación móvil, la distribución del producto es a través del medio digital. En otras palabras, las tiendas de aplicaciones de los teléfonos con sistema operativo Android.
- **Promoción:** VetLens se dará a conocer a partir de publicidades, por ejemplo, en redes sociales, como Instagram y Facebook. A lo largo de la sección 6.2.1 se pueden encontrar más detalles sobre estos aspectos.

#### 4. Metodología de Desarrollo

Para el desarrollo del presente proyecto se adoptó la metodología ágil, siguiendo los distintos principios establecidos por el manifiesto ágil, desarrollando software de manera iterativa e incremental (Beck et al. 2001). Esto se debe a que la naturaleza experimental del desarrollo se acopla bien con el tipo de metodología indicada. El desarrollo del producto no se dio de forma lineal, si no que a lo largo de su desarrollo ciertos requerimientos evolucionaron o cambiaron, lo cual impidió trabajar con flujo secuencial dado que a menudo había que implementar nuevas funcionalidades o corregir algunas ya desarrolladas, lo que le otorgó la naturaleza iterativa e incremental al desarrollo.

Distintas tecnologías fueron adoptadas para crear los distintos componentes que conforman a VetLens. Estas tecnologías fueron elegidas en base a las fortalezas del equipo, pero también en base a lo que demandaba el problema. Se adaptó la herramienta al problema, no al revés. Los componentes se describen en la tabla IX.

TABLA IX: Detalle de los diferentes componentes que conforman la arquitectura de VetLens.

Elaboración Propia.

Componente	Detalles
Backend en Java	Lenguaje de programación: Java 17 Framework: Spring Boot 3.1.1 Autenticación: Spring Security 6.1 y Json Web Token (JWT) Base de datos: MySQL, MongoDB Gestor de dependencias: Maven Contenerización: Docker Servicios web: Bucket S3, MongoDB Atlas Serialización: ModelMapper Librería consumo servicio REST: OpenFeign 10.12
Backend en Python	Lenguaje de programación: Python 3.9 Framework: FastAPI Gestor de dependencias: Conda 23.5.2 Contenerización: Docker Librería para el manejo de modelos: Tensorflow 2.9 Librería para el procesamiento de imágenes: Pillow
Frontend	Lenguaje de programación: JavaScript Framework: React Native, Expo Gestor de dependencias: npm

## 5. Pruebas realizadas

Una vez entrenada la CNN de VetLens, fue momento de probarla. Cuando un desarrollador evalúa una CNN o algún otro tipo de modelo debe calcular una serie de métricas que permitan establecer un nivel de rendimiento para el modelo en cuestión.

En el caso de la CNN construida se calcularon tres métricas: exactitud, precisión y sensibilidad.

Para poder calcular estas fácilmente, y a su vez proveer una forma visual y sencilla de analizar los resultados, se creó la matriz de confusión (Figura 21) detallada a continuación:

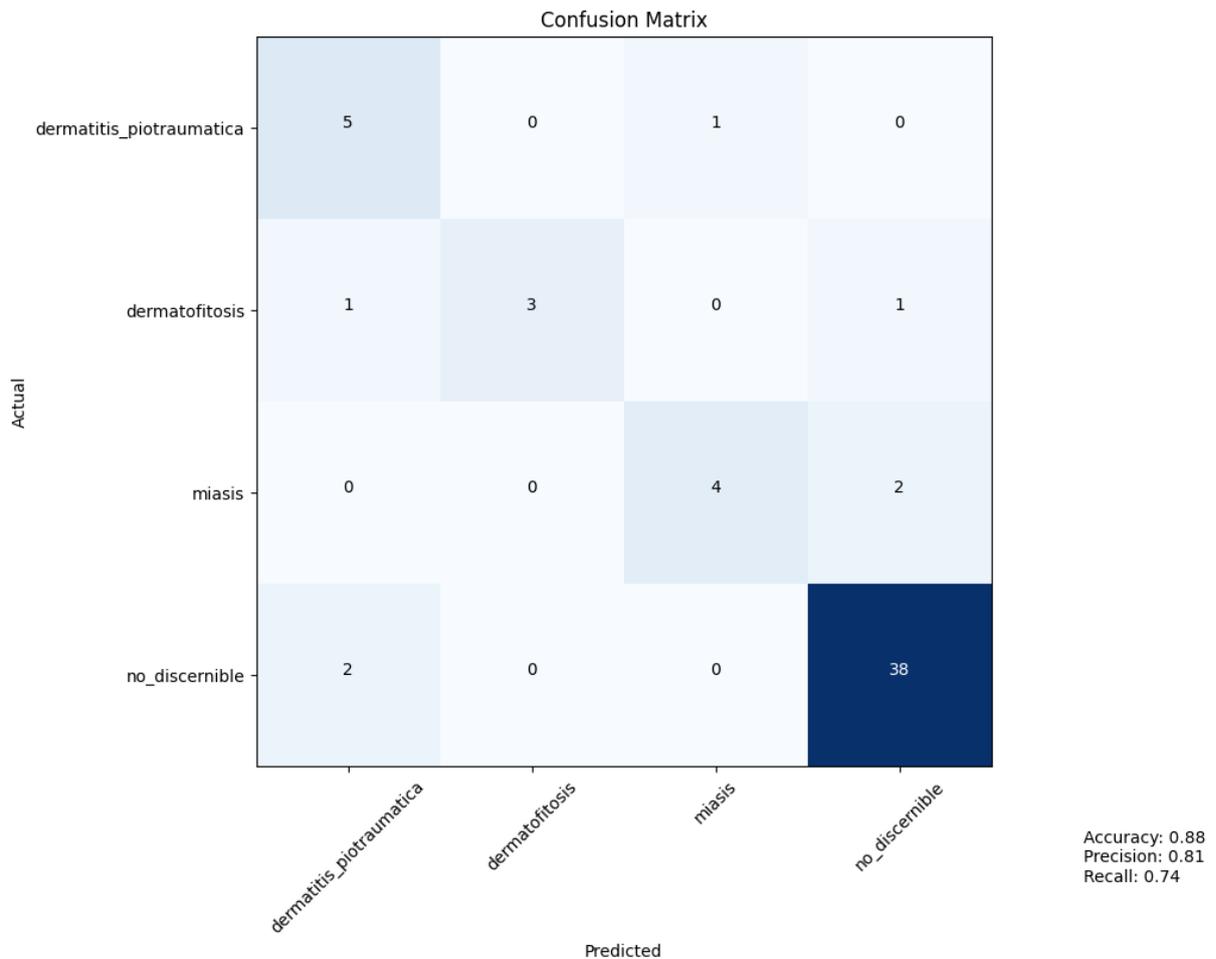


Figura 21: Matriz de confusión respectiva a las pruebas realizada sobre el modelo. Se puede visualizar la Precisión (Precisión), Exactitud (Accuracy) y Sensibilidad (Recall). Elaboración Propia.

Estos valores son obtenidos a partir del resultado devuelto por el modelo, aplicando el valor limite descrito en la sección 3.3.1.5. Además, la precisión y sensibilidad resultan de calcular el promedio armónico de la precisión y sensibilidad para cada una de las clases del modelo.

Al observar los resultados, estos son alentadores, obteniendo un 88% de Exactitud, 81% de precisión promedio y un 74% de sensibilidad promedio.

De esta forma se concluye que el modelo se encuentra apto para ser utilizado en la tarea para la que fue creado. Conforme el producto evolucione, se obtendrán una mayor cantidad de imágenes. Al obtener más imágenes, el modelo podrá ser reentrenado y de esa forma mejorar aún más.

Para asegurar que estas imágenes son correctas y de calidad, los veterinarios en la aplicación indicarán cual fue el diagnóstico final para la imagen asociada, de forma que se evitarán errores de clasificación y se irá completando el repositorio de imágenes disponibles para entrenamiento, validación y futuras pruebas.

## **6. Análisis económico**

Esta sección está destinada, en primer lugar, a analizar el mercado y dar una respuesta al modelo de negocio de VetLens, y, en segundo lugar, a demostrar la viabilidad económica y financiera de la propuesta. A continuación, se detalla el análisis de mercado y el plan de negocios y posteriormente el análisis económico-financiero del proyecto.

### **6.1. Cruz de Porter**

En este apartado se profundiza sobre las 5 fuerzas de Porter (Figura 22) que permiten analizar la competencia actual en el mercado, así como considerar potenciales nuevos competidores.

Las cinco fuerzas son: la rivalidad de los competidores en la industria, el poder de negociación que tienen los clientes, el poder de negociación de los proveedores, la amenaza de productos sustitutos y la amenaza de competidores entrantes (Porter 2008).



Figura 22. Las cinco fuerzas de Porter (Porter 2008).

Cuando existen múltiples opciones para que el cliente satisfaga su necesidad, el poder de estos aumenta y pueden exigir mejor calidad, servicio y precios más bajos (Porter 2008). La forma de disminuir el poder de los clientes es, por ejemplo, innovando el producto o servicio de modo que entregue un valor nuevo al mercado, otorgando una ventaja competitiva. Para el objetivo del presente proyecto, esta ventaja reside en los algoritmos de inteligencia artificial que se encargan de, a partir de una imagen, detectar la enfermedad de piel que posee el perro dentro del listado de las enfermedades de piel detectables. Al momento de redactado el trabajo, no existe en el mercado una aplicación, además de la mencionada anteriormente, que cuente con esta funcionalidad, teniendo en cuenta que la competencia analizada hace énfasis en enfermedades oculares.

En referencia a la amenaza de los productos sustitutos “cuando la amenaza de sustitutos es alta, la rentabilidad del sector sufre. Los productos o servicios sustitutos limitan el potencial de rentabilidad de una empresa al colocar un techo a los precios. Si un sector no se distancia de los sustitutos mediante el desempeño de su producto, el marketing, o cualquier otro medio, sufrirá en términos de rentabilidad y, a menudo, de potencial de crecimiento.” (Porter 2008). Respecto a esta fuerza, como en el mercado actual de Argentina no se encuentra

ninguna alternativa directa para reemplazar a VetLens, esta se coloca como pionera en el mercado. Solo teniendo como única competencia a TTCare en el mercado global.

Respecto al poder de negociación de los proveedores, este es alto cuando los compradores no poseen opciones de compra a costos bajos, cuando el cambio de proveedor es costoso o no existen sustitutos para el producto que el proveedor ofrece (Porter 2008). En el caso de VetLens no se requiere de ningún insumo especial dado que funciona para todo dispositivo móvil Android, los insumos informáticos tales como licencias o Cloud Computing tampoco representan un problema ya que poseen gran variedad de proveedores en el mercado, colocando a este proyecto en una buena posición.

Sin embargo, en el contexto actual, donde se orienta todo a resolver mediante la tecnología y la informática, es muy probable que ante la aparición de una aplicación que descubra un nuevo mercado por explotar, nuevas competencias aparezcan intentando ganar un porcentaje de este. Como este mercado no se encuentra desarrollado, las barreras de entrada son pocas, por no decir nulas, y por ende la amenaza de competidores entrantes es elevada. Por este motivo VetLens tiene como uno de sus pilares fundamentales el estar constantemente en evolución, escuchando al mercado y sus dolencias para poder detectar oportunidades de negocio que explotar y poder así consolidar su posición en el mercado.

## **6.2. Modelo de negocio**

El modelo de negocio elegido para la solución consiste en un modelo “*freemium*”, en donde inicialmente cada usuario posee un límite de usos determinado al mes. Los detalles serán descritos a continuación.

### **6.2.1 BMC**

El BMC, del inglés “*business model canvas*”, es una herramienta que permite ver fácilmente los diversos componentes del modelo de negocios.

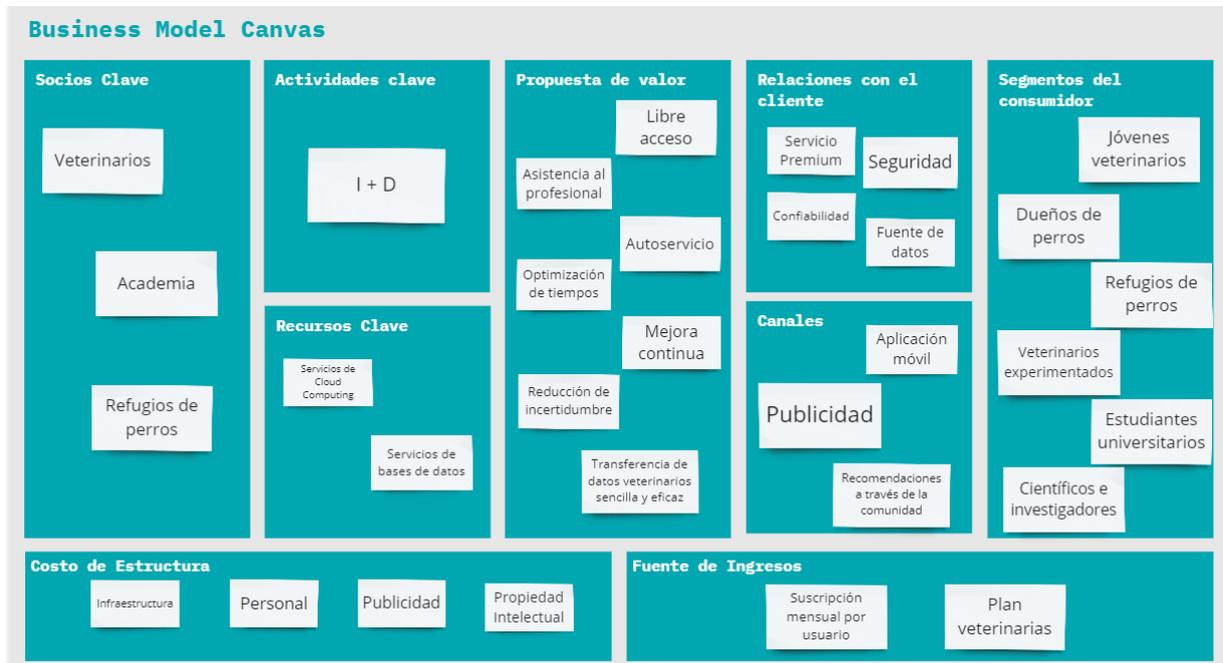


Figura 23: Lienzo del modelo de negocios de VetLens. Elaboración Propia.

En la figura 23, se detalla el BMC del modelo de negocios de VetLens. A continuación, se detallan cada uno de los apartados:

### 6.2.1.1 Propuesta de valor

Esta sección hace foco en el problema que se soluciona para el cliente y como el producto viene a dar una respuesta al mismo.

Los elementos destacados en esta sección son:

- **Libre acceso:** la aplicación móvil de VetLens puede ser accedida por cualquier persona que disponga de un dispositivo móvil con sistema operativo Android.
- **Asistencia al profesional:** VetLens persigue el objetivo de facilitar y agilizar el trabajo de los profesionales veterinarios.
- **Autoservicio:** todo lo que el usuario desee realizar en VetLens puede hacerlo de forma autónoma, y sin ningún tipo de asistencia externa o de terceros.

- **Optimización de tiempos:** uno de los objetivos principales de VetLens es lograr reducir los tiempos desperdiciados en las consultas veterinarias.
- **Mejora continua:** VetLens fue pensado para evolucionar conforme pase el tiempo, agregando nuevas enfermedades a la lista de detección, así como también nuevas funcionalidades que los usuarios pudiesen requerir o solicitar.
- **Reducción de incertidumbre:** la propuesta busca que el profesional veterinario pueda reducir el abanico de posibles enfermedades de piel de un perro.
- **Transferencia de datos veterinarios sencilla y eficaz:** la solución propone la transmisión de datos veterinarios relevantes para la consulta a través de un código QR, un formato sencillo y rápido para transmitir información, ampliamente utilizado en el mercado y que presenta gran robustez.

### 6.2.1.2 Segmentos del consumidor

Esta sección se refiere a los clientes del modelo de negocio, ellos son la base del modelo.

Los clientes identificados son:

- **Jóvenes y experimentados veterinarios:** la solución está pensada para un amplio espectro de profesionales. Desde aquel que está dando sus primeros pasos como profesional, como también para aquel que lleva años en el rubro pero que aun así puede beneficiarse de la propuesta.
- **Dueños de perros:** al igual que los veterinarios, este tipo de clientes son indispensables, sin ellos no existen datos para mejorar el servicio de detección, ni tampoco para la incorporación de nuevas enfermedades.

- **Refugios de perros:** los refugios de perros albergan a animales callejeros y abandonados, la sobrepoblación de perros callejeros genera que a menudo los refugios estén sobrepoblados de animales y muchos de los perros que ingresan suelen contar con problemas de salud (Ferreyra 2023), es indispensable, entonces, considerarlos como clientes de gran importancia para el negocio.
- **Estudiantes universitarios:** VetLens sería una herramienta de gran ayuda para los estudiantes de veterinaria, sirviendo como una herramienta de apoyo para su formación.
- **Científicos e investigadores:** comprenden aquellos usuarios que no necesariamente son dueños de perros, estudiantes o veterinarios, pero que encabezan investigaciones relacionadas a perros y pueden utilizar a VetLens como herramienta para agilizar su labor.

### 6.2.1.3 Relaciones con el cliente

Esta sección se refiere a la relación con los clientes, como indica su título. La misma es un factor crítico para el éxito del modelo.

Los elementos destacados son:

- **Servicio premium, confiabilidad y seguridad:** la propuesta busca fortalecer la relación con los clientes brindándole un servicio de alta calidad, confiable y seguro. Este aspecto es esencial, pues está confiando en la solución para ayudar a un ser querido como lo suelen ser los perros.
- **Fuentes de datos:** las relaciones rara vez son unidireccionales. Es entonces que, desde el punto de vista de la solución, los clientes son indispensables para la obtención de más datos en el futuro, que permitirán mejorar la aplicación, incluyendo nuevas enfermedades en el servicio de detección y mejorando el servicio de manera continua.

#### 6.2.1.4 Canales

Esta sección se refiere a cómo se va a entregar la propuesta de valor a cada segmento del consumidor.

En este caso se identifican:

- **Aplicación móvil:** cómo se desarrolló en secciones anteriores del documento, VetLens será una aplicación que podrá ser descargada por todo usuario con un dispositivo Android.
- **Recomendaciones a través de la comunidad:** referido a las recomendaciones que dan usuarios de la aplicación a otras personas que pueden ser próximos usuarios de VetLens, lo que comúnmente se conoce como el “boca en boca”.
- **Publicidad:** referida a la publicidad que se realizará en las distintas redes sociales, donde se destina un presupuesto por mes para lograr una mayor llegada al público.

#### 6.2.1.5 Socios Clave

Esta sección se refiere a los socios y/o alianzas que son clave para que el modelo de negocios funcione.

Los socios identificados son:

- **Veterinarios:** es esencial mantener una relación cercana con ellos, pues son quienes validan el diagnóstico y ayudan a mejorar la precisión del servicio de detección.
- **Academia:** fomentar el uso de VetLens en actividades académicas, sea para el desarrollo de investigaciones o como herramienta de apoyo para los estudiantes de veterinaria, permitirá ampliar en gran medida la base de usuarios, pero además proveerá una gran cantidad de datos para la futura mejora del modelo.

- **Refugios de perros:** similar a como se mencionó en la sección 6.2.1.2, los refugios de animales albergan una gran cantidad de perros, por lo tanto, se hace necesario mantener una relación cercana a los mismos ya que estos serán una gran fuente de datos para la mejora de VetLens.

### 6.2.1.6 Actividades Clave

Esta sección se refiere a las actividades internas del negocio que son claves para su funcionamiento y evolución.

Las actividades identificadas son:

- **I + D:** la investigación y desarrollo es la actividad más importante para la mejora de la solución. Conforme se acumulen más y más datos, será necesario realizar investigaciones y posteriormente desarrollos para incorporar la detección de nuevas enfermedades.

### 6.2.1.7 Recursos Clave

Esta sección se refiere a la identificación de los recursos más importantes para dar sustento a la solución.

Los recursos identificados son:

- **Servicios de Cloud Computing:** referido a todos los recursos de la nube que se consumen para la aplicación, en este caso provenientes del proveedor Amazon Web Services.
- **Servicios de base de datos:** donde se aloja la información del usuario, sus perros, sus diagnósticos y demás información de negocio.

### 6.2.1.8 Costo de estructura

Esta sección se refiere a los costos asociados al modelo de negocio.

Se han identificado los siguientes costos:

- **Infraestructura:** costo asociado a los servicios de Cloud Computing de la solución. Esto incluye los servicios contratados del proveedor de servicios en la nube como las instancias de servidor, bases de datos y diversos servicios que puedan hacerse necesarios conforme evolucione la solución.
- **Personal:** costo asociado al personal que será contratado conforme VetLens evolucione y requiera de una mayor cantidad de personas para continuar funcionando.
- **Publicidad:** costo asociado a las publicidades necesarias para promocionar el producto tanto en su inicio como a lo largo de todo su ciclo de vida.
- **Propiedad intelectual:** costos asociados al registro de la marca y registro del dominio.

#### 6.2.1.9 Fuente de Ingresos

Esta sección se refiere a los lugares de donde el negocio obtiene las ganancias.

Como fuente de ingresos se han identificado:

- **Suscripción mensual por usuario:** Plan de uso para un único usuario el cual le permite realizar diagnósticos ilimitadamente en lugar de estar sujeto al uso limitado de la capa gratuita
- **Plan veterinarias:** Plan asociado a una veterinaria donde se le brinda membresía a cada uno de los empleados en lugar de tener que contratar cada uno por separado.

En la siguiente sección se detalla en profundidad el sistema de suscripciones y planes.

### 6.2.2 Sistema de suscripciones y planes

Cómo se describió al comienzo de la sección 6, se propone para la solución un modelo de negocios “*freemium*”. Este tipo de modelos de negocio, se basan en proporcionarle al cliente el servicio de forma gratuita hasta cierto punto, pudiendo luego limitar funcionalidades, tiempo de uso, entre otras, pudiendo acceder a las mismas a través del pago de una suscripción (Kumar 2014).

Es entonces que VetLens propone tres planes de suscripción para sus clientes, tanto para veterinarios como para dueños de perros, estudiantes y personas a cargo de refugios de perros. Los mismos se detallan a continuación:

- **Plan gratuito:** plan por defecto que el usuario posee al registrarse. El mismo comprende la utilización de todas las funcionalidades de la aplicación hasta 5 veces al mes. Es decir, podrá realizar hasta un máximo de 5 diagnósticos por mes. Este plan está orientado al UNV, dado que no es común que el mismo requiera utilizar la aplicación más de 5 veces al mes. De esta forma, se fomenta el uso de la aplicación por parte de las personas no profesionales, quienes a su vez impulsarán a los profesionales a utilizarla.
- **Plan básico:** plan orientado a los veterinarios, estudiantes y personas a cargo de refugios de perros. En base a la información recolectada, un veterinario puede tener entre 10 y 15 consultas veterinarias dermatológicas por semana (varía según la ubicación de la veterinaria). Un veterinario con un menor flujo de consultas se beneficiaría de utilizar este plan, puesto que la cantidad de diagnósticos al mes asciende a 15. De la misma forma, se estima que la cantidad de diagnósticos que un estudiante o un encargado de un refugio hará por mes no superará los 15 diagnósticos.
- **Plan completo:** máximo plan que puede ser adquirido por los usuarios de VetLens, el mismo permite que se realicen una cantidad ilimitada de diagnósticos al mes. A diferencia del plan básico este pone el foco

completamente en los veterinarios. En base al flujo de consultas semanales mencionado para el plan anterior, queda claro que aquellos veterinarios que atiendan una mayor cantidad de pacientes requerirán un plan superior para poder abastecer la demanda.

Este modelo de negocio parece ser el ideal a la hora de pensar en el usuario individual. Sin embargo, hay que considerar también un mercado aún más grande, el de las veterinarias con múltiples profesionales o universidades. Para estos casos se diseñó un plan particular:

- Plan veterinarias:** plan ofrecido fuera de la aplicación a las instituciones que lo soliciten. El mismo le otorgará los beneficios del plan completo a todos los profesionales veterinarios o estudiantes que pertenezcan a dicha organización. De esta forma la institución logra ahorrar dinero, evitando pagar múltiples planes completos o básicos. El mínimo número de usuarios para acceder a este descuento especial por plan será de 3 usuarios.

En la tabla X se detallan los precios definidos para cada plan:

TABLA X: Precios de los diferentes planes del modelo de negocios. Elaboración Propia.

Plan	Precio (USD)
Gratuito	0 USD
Básico	8 USD/mes
Completo	15 USD/mes
Veterinarias	12 USD/mes y usuario

### 6.3. Análisis económico y financiero

En la presente sección se busca presentar los datos económicos y financieros que respaldan el proyecto.

En la sección 6.3.1 se hará un breve análisis de los costos involucrados y posteriormente en la sección 6.3.2, se mostrarán los resultados obtenidos a partir del análisis de viabilidad financiera realizado.

### 6.3.1 Análisis de costos

A continuación, en la Tabla XI, se detallan los recursos y costos involucrados en el proyecto:

TABLA XI: Recursos para el proyecto VetLens. Elaboración Propia.

Insumo	Descripción	Cantidad	Costo
Personal	Desarrollador Machine Learning	1	10 USD / hora
	Desarrollador Backend	1	5 USD / hora
	Desarrollador Frontend	1	4 USD / hora
Infraestructura (Etapa de desarrollo)	Servicio de alojamiento de base de datos (Atlas y RDS)	2	0 USD / mes
	Instancia EC2 del servidor backend	1	0 USD / mes
	Servicio de almacenamiento de archivos S3	1	0 USD / mes
Infraestructura Productiva	Servicio de base de datos MongoDB Atlas	1	57 USD / mes
	Servicio de base de datos RDS (MySQL)	1	286,90 USD / mes
	Instancia EC2 del servidor backend	2	316,35 USD / mes
	Servicio de almacenamiento de archivos S3	1	12,15 USD / mes
	Balanceador de carga ELB	1	201,49 USD / mes
	AWS WAF	1	150 USD / mes
	AWS VPC	1	389,79 USD / mes
Publicidad	Publicidad en Redes Sociales	1	0,7 USD / click
Propiedad Intelectual	Registro de marca	1	19 USD
	Registro de dominio	1	4,50 USD / año

### **6.3.1.1 Costos iniciales**

Los costos iniciales son aquellos que representan todos los gastos incurridos durante el desarrollo de la aplicación y los mismos componen los costos del “año 0” del flujo de fondos.

Para el desarrollo de la aplicación se utilizó el “free tier” de AWS el cual brinda recursos suficientes para el mismo de forma gratuita.

En cuanto al equipo de desarrollo empleado, se requirieron 220 horas de desarrollo Machine Learning, 50 horas de backend y 30 horas frontend, cada una realizada por un único desarrollador por área, lo que dio un total de 2.570 USD invertidos en desarrollo (CPCIBA 2015).

Por último, fue necesario el registro de la marca y el dominio en sus respectivos organismos de registro, con un costo de 19 USD para la marca (INPI 2023) y 4,5 USD para el dominio (NIC Argentina 2023).

### **6.3.1.2 Costos productivos**

Los costos productivos son aquellos que corresponden a los costos de la aplicación en su etapa productiva, es decir, una vez que se encuentra en el mercado. En el flujo de fondos, estos costos son los que se utilizan a partir del primer año y en adelante.

Estos costos incluyen el servicio de base de datos Mongo DB Atlas y RDS, como también instancias EC2, servicio de almacenamiento S3, balanceador de carga, AWS WAF y AWS VPC. Es importante considerar que conforme la base de usuarios aumente año tras año los costos de infraestructura productiva también lo harán.

También se contempla el equipo de desarrollo, conformado por un único miembro en cada una de las tres áreas, los costos de publicidad y la renovación de nombre de dominio (ver Tabla XI).

## **6.3.2 Viabilidad financiera**

Con el objetivo de analizar financieramente el proyecto y evaluar su rentabilidad se utilizaron las siguientes herramientas: VAN (Valor Actual Neto), TIR (Tasa Interna de Retorno) y Pay Back (Período de repago). Para llevar adelante el análisis de las herramientas previamente mencionadas se decidió tomar en consideración un período de 10 años con una inversión inicial de 2.593,50 USD correspondiente a los detalles que indica la tabla XI y con una tasa de descuento del 3.7% correspondiente al IPC de Estados Unidos 2023. (Datosmacro 2023).

Se analizaron tres escenarios (optimista, neutro y pesimista) en los cuales varia la cantidad de usuarios con suscripciones iniciales y la tasa de crecimiento por año, a lo largo de los 10 años de análisis. La valoración del escenario, es decir, si es pesimista, optimista o neutro se detalla en la sección 6.3.2.1. En la tabla XII se puede observar la cantidad total de usuarios con suscripción alcanzados en el décimo año.

El resultado del flujo de fondos y la evolución de la tasa de crecimiento de usuarios por año se detallan en el Anexo E.

Tabla XII: Cantidad total de usuarios con suscripción alcanzados en el décimo año.  
 Elaboración Propia.

	<b>Optimista</b>	<b>Neutro</b>	<b>Pesimista</b>
Cantidad de usuarios	31.618	11.669	5.600

### 6.3.2.1 Escenarios

Como se mencionó anteriormente, el proyecto considera tres escenarios para su análisis financiero. Las consideraciones para cada uno de ellos se enuncian a continuación.

- **Escenario optimista:** para este escenario se opera bajo la suposición de que se han logrado atraer numerosos usuarios durante el primer año y una gran evolución de estos durante los siguientes años, como consecuencia de la publicidad realizada por VetLens y las recomendaciones recibidas por el público consumidor de la aplicación. Esto es así ya que se toma la decisión de invertir una mayor suma de dinero en publicidad en los primeros años, logrando que el producto se

difunda con mayor rapidez en el mercado, en un plazo más corto de tiempo. El número inicial de usuarios junto con la tasa de evolución se muestran en la Tabla XVII en el Anexo E.

- **Escenario neutro:** para este escenario se opera bajo la suposición de que se ha logrado que un número destacable de usuarios comiencen a utilizar la aplicación en su primer año, con un crecimiento acentuado en los primeros años, pero llegando a un punto de estancamiento luego del sexto año, como lo indica la Tabla XVII en el Anexo E. Aun así, el número de usuarios logrado permite que el negocio se sustente por sí mismo.
- **Escenario pesimista:** en este escenario se opera bajo la suposición de que un número muy bajo de usuarios descargan la aplicación en su primer año y en los años posteriores la situación tiende a empeorar, ya que el crecimiento de usuarios es bajo. Como consecuencia, el negocio no será rentable, ya que no logra obtener una base robusta de usuarios que permita que el negocio se sustente por sí mismo.

### 6.3.2.2 VAN

El Valor Actual Neto indica la diferencia entre el desembolso inicial de la inversión y el valor presente de los futuros ingresos netos esperados. Es una herramienta financiera, ya que considera el valor del dinero en el tiempo, que permite saber si un proyecto es viable, cuando el VAN es positivo, o cuando un proyecto no es viable debido a que el VAN es negativo e indica que la inversión es mayor a la ganancia neta esperada. En la tabla XIII se especifica el VAN según cada escenario.

$$\sum_{t=1}^n \frac{Ft}{1 + k^t} - I_0 \tag{3}$$

Tabla XIII: VAN del proyecto según escenario. Elaboración Propia.

	<b>Optimista</b>	<b>Neutro</b>	<b>Pesimista</b>
VAN	691.546 USD	62.423 USD	-151.817 USD

### 6.3.2.3 TIR

“Calcula la tasa de retorno (rentabilidad) que generará una inversión. En otras palabras, arroja el valor de ganancia o pérdida que tendrá un proyecto para todas las partes involucradas. Está muy ligado al VAN, pues también se define como el valor de la tasa de descuento que hace posible que el Valor Actual Neto sea igual a cero” (Villacorta García 2021). En la tabla XIV se especifica la TIR del proyecto según cada escenario.

Tabla XIV: TIR del proyecto según escenario. Elaboración Propia.

	<b>Optimista</b>	<b>Neutro</b>	<b>Pesimista</b>
TIR	86%	16%	No es calculable

### 6.3.2.4 Pay Back

Permite determinar el plazo que se demorará en recuperar el capital invertido en el proyecto, brindando una idea inicial del nivel de liquidez y el riesgo que supone la inversión. Se aplica trayendo a valor presente todos los flujos futuros esperados acumulándolos hasta recuperar el monto de la inversión (Villacorta García 2021). En la tabla XV se especifica el Pay Back del proyecto según cada escenario.

Tabla XV: Pay Back del proyecto según escenario. Elaboración Propia.

	<b>Optimista</b>	<b>Neutro</b>	<b>Pesimista</b>
Pay Back	4 años	8 años	> 10 años

## 7. Discusión

Para todo proyecto de Machine Learning, los datos son los cimientos de todo el proyecto. Si los datos son malos, no importan las habilidades del desarrollador ni el esfuerzo realizado, indefectiblemente el resultado será malo.

El principal problema que surgió a la hora de obtener los datos que dieron lugar a la existencia de VetLens fue la recolección primaria de los mismos. Fue un proceso difícil y que consumió una enorme cantidad de tiempo. Aun luego de tanto trabajo, los datos eran escasos y en muchas ocasiones inútiles, por lo que se tuvo que recurrir a diversas técnicas para extraer toda la información posible de los datos de mejor calidad con los que se disponía.

En lo que respecta al desarrollo del modelo de aprendizaje automático, esta tampoco fue una tarea sencilla. Se requirió de una gran cantidad de tiempo e investigación, no solo para determinar el mejor modelo base y sus respectivas capas adicionales sino también para poder realizar pruebas, comparaciones de rendimiento y encontrar los mejores hiperparámetros para el mismo.

A pesar de los inconvenientes planteados, se lograron conseguir resultados satisfactorios. Conforme la aplicación se utilice más y más, se espera poder conseguir datos de mayor calidad y, sobre todo, en mayor cantidad, pudiendo adaptar el modelo a nuevas enfermedades de piel e incluso a nuevos tipos de enfermedades.

Es importante destacar que el alcance de la solución fue modificado conforme avanzó el desarrollo y la investigación, en parte por lo mencionado al comienzo de la sección, ya que mientras más enfermedades se quisieran abarcar más esfuerzo se hubiese requerido y la tarea se hubiese vuelto cada vez más compleja, por lo cual se decidió acortar el alcance de modo que se cubrieran enfermedades significativas y frecuentes en base a los resultados obtenidos en las encuestas. Además, gracias a las entrevistas realizadas y a las sugerencias recibidas, se lograron determinar límites claros y necesarios a las funcionalidades y acceso a información sensible por parte de aquellos usuarios no veterinarios, evitando fomentar la automedicación de mascotas.

## **8. Conclusiones**

Como fue mencionado a lo largo del trabajo, la tarea de diagnosticar enfermedades de piel en perros no es sencilla. Es por ello que la solución propuesta en el presente trabajo tuvo como objetivo principal brindarle a los profesionales y estudiantes de la salud canina, y a los dueños de perros una herramienta que facilite esta tarea.

Los objetivos definidos para el alcance del trabajo se han cumplido, obteniendo una aplicación en Android que utiliza un modelo de Deep Learning para la obtención de diagnósticos veterinarios, y que a su vez logra agilizar las consultas veterinarias a través de un cuestionario que los dueños contestarán previo a una consulta. En este sentido, es importante destacar el valor que aportaron las entrevistas con los especialistas de la salud canina, tanto para el desarrollo de la solución, como para validar su corrección. Como se mencionó anteriormente, no se han encontrado, al momento de redactado este documento, estudios que permitan obtener información confiable o relevante sobre el porcentaje de incidencia de enfermedades, segmentación por área geográfica y demás métricas que hubiesen simplificado las tareas de investigación, lo cual presentó un gran desafío, que queda abierto para ser desarrollado por futuros interesados en el tema.

El desarrollo de VetLens no concluye de forma definitiva en este trabajo, el mismo puede seguir ampliándose para integrar nuevas funcionalidades y también nuevas enfermedades al servicio de detección. En el presente trabajo se han sentado las bases fundamentales para dicha ampliación y también para la recolección de nuevos datos de calidad, una tarea que ha sido difícil a lo largo del desarrollo de VetLens, y que conforme la aplicación evolucione será más simple. Sin embargo, no existe razón para limitar a VetLens únicamente a la detección de enfermedades de piel utilizando visión artificial, la gran mayoría de los aspectos técnicos y científicos explorados en el presente trabajo pueden ser extrapolados a otras áreas de la salud canina, como pueden serlo las enfermedades oculares.

Es importante destacar que la decisión del plan de negocios está asociada a dos propósitos. El primero de ellos es lograr conseguir más usuarios, lo cual a su vez permite generar un mayor volumen de datos para poder ampliar la aplicación. El segundo propósito es permitir que la aplicación sea sustentable en el tiempo, a la vez que es accesible para todos, sin requerir un pago obligatorio para su uso.

Finalmente, en lo que respecta al análisis económico-financiero, analizando los tres escenarios se aconseja invertir en el proyecto, siempre y cuando se ponga énfasis en la publicidad del producto en los primeros años para así poder alcanzar de manera rápida un nivel de usuarios tal que permita sustentar el negocio rápidamente y comenzar a generar ganancias.

## 9. Bibliografía

AI FOR PET, 2023. TTcare, a health care app for pets. [en línea]. [consulta: 1 junio 2023].  
Disponible en: <https://www.ttcareforpet.com/>.

AMAZON WEB SERVICES, INC., 2019. Bases de datos relacionales frente a los no relacionales: diferencia entre los tipos de bases de datos - AWS. *Amazon Web Services, Inc.* [en línea]. [consulta: 25 noviembre 2023]. Disponible en:  
<https://aws.amazon.com/es/compare/the-difference-between-relational-and-non-relational-databases/>.

AMAZON WEB SERVICES, INC., 2023a. Auto Scaling groups - Amazon EC2 Auto Scaling. [en línea]. [consulta: 25 noviembre 2023]. Disponible en:  
<https://docs.aws.amazon.com/autoscaling/ec2/userguide/auto-scaling-groups.html>.

AMAZON WEB SERVICES, INC., 2023b. Características - AWS WAF. *Amazon Web Services, Inc.* [en línea]. [consulta: 4 diciembre 2023]. Disponible en:  
<https://aws.amazon.com/es/waf/features/>.

AMAZON WEB SERVICES, INC., 2023c. Conexión a Internet mediante una puerta de enlace de Internet - Amazon Virtual Private Cloud. [en línea]. [consulta: 4 diciembre 2023]. Disponible en:  
[https://docs.aws.amazon.com/es\\_es/vpc/latest/userguide/VPC\\_Internet\\_Gateway.html](https://docs.aws.amazon.com/es_es/vpc/latest/userguide/VPC_Internet_Gateway.html).

AMAZON WEB SERVICES, INC., 2023d. Elastic load balancing para la gestión de tráfico en aplicaciones. *Amazon Web Services, Inc.* [en línea]. [consulta: 25 noviembre 2023].  
Disponible en: <https://aws.amazon.com/es/elasticloadbalancing/>.

AMAZON WEB SERVICES, INC., 2023e. NAT gateways. [en línea]. [consulta: 4 diciembre 2023]. Disponible en: <https://docs.aws.amazon.com/vpc/latest/userguide/vpc-nat-gateway.html>.

ÁMBITO, 2023. Argentina es el país con más mascotas en el mundo, según una encuesta. [en línea]. [consulta: 25 noviembre 2023]. Disponible en:  
<https://www.ambito.com/lifestyle/argentina-es-el-pais-mas-mascotas-el-mundo-segun-una-encuesta-n5839930>.

ASALE y RAE, 2014. Diccionario de la lengua española | Edición del Tricentenario. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario [en línea]. [consulta: 29 mayo 2023]. Disponible en: <https://dle.rae.es/>.

BALASZ MAYANZ, V., 2012. Pioderma en el Canino. [en línea], vol. 13, no. 3, [consulta: 26 mayo 2023]. ISSN 1695-7504. Disponible en:  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63623410016>.

- BAYÓN PIEDRABUENA, M., 2018. Lesiones dermatológicas en perros: síntomas y diagnóstico. [en línea]. [consulta: 27 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.webconsultas.com/mascotas/salud-de-la-mascota/lesiones-dermatologicas-en-perros-sintomas-y-diagnostico>.
- BECK, K., BEEDLE, M., VAN BENNEKUM, A., COCKBURN, A., CUNNINGHAM, W., FOWLER, M., GRENNING, J., HIGHSMITH, J., HUNT, A., JEFFRIES, R., KERN, J., MARICK, B., MARTIN, R., MELLOR, S., SCHWABER, K., SUTHERLAND, J. y THOMAS, D., 2001. Principios detrás del Manifiesto Ágil. [en línea]. [consulta: 19 agosto 2023]. Disponible en: <https://agilemanifesto.org/iso/es/principles.html>.
- BENEDÍ, J., 2005. Antisépticos. *Farmacia Profesional*, vol. 19, no. 8, ISSN 0213-9324.
- CABEZA, M., 2021. *Dermatofitosis en Perros y Gatos* [en línea]. 14 febrero 2021. S.l.: s.n. [consulta: 21 mayo 2023]. Disponible en: <https://mariacabeza.com/dermatofitosis-en-perros-y-gatos/>.
- CAMPMANY, J., 2023. Miasis en perros: una enfermedad parasitaria | Vets & clinics. [en línea]. [consulta: 29 mayo 2023]. Disponible en: <https://vetsandclinics.com/es/miasis-en-perros-una-enfermedad-parasitaria>.
- CASTELLANOS, G.C., RODRÍGUEZ, G. y IREGUI, C.A., 2005. Estructura histológica normal de la piel del perro (estado del arte). , ISSN 0122-9354.
- CHOLLET, F., 2017. *Xception: Deep Learning with Depthwise Separable Convolutions* [en línea]. 4 abril 2017. S.l.: arXiv. [consulta: 15 agosto 2023]. arXiv:1610.02357. Disponible en: <http://arxiv.org/abs/1610.02357>.
- CPCIBA, 2015. Consejo Profesional de Ciencias Informáticas de la Provincia de Buenos Aires. [en línea]. [consulta: 27 septiembre 2023]. Disponible en: <https://www.cpciba.org.ar/honorarios/page/60>.
- DATOSMACRO, 2023. IPC de USA 2023. [en línea]. [consulta: 27 septiembre 2023]. Disponible en: <https://datosmacro.expansion.com/ipc-paises/usa>.
- EISENMAN, B., 2017. *Learning React Native*. 2. S.l.: O'Reilly Media. ISBN 1-4919-8914-9.
- FARFÁN-ARBIZÚ, B.A., VILLATORO-CHACÓN, D.M., CHÁVEZ-LÓPEZ, J.J., FARFÁN-ARBIZÚ, B.A., VILLATORO-CHACÓN, D.M. y CHÁVEZ-LÓPEZ, J.J., 2020. Caracterización de enfermedades dermatológicas de caninos atendidos en el Hospital Veterinario de la Universidad de San Carlos de Guatemala. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* [en línea], vol. 31, no. 3, [consulta: 25 noviembre 2023]. ISSN 1609-9117. DOI 10.15381/rivep.v31i3.17102. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1609-91172020000300050&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1609-91172020000300050&lng=es&nrm=iso&tlng=es).

- FCV UBA, 2017. Historia Clínica (Proforma). Fichas para completar Historias Clínicas en Caninos y Felinos. [en línea]. [consulta: 21 mayo 2023]. Disponible en: <http://www.fvet.uba.ar/archivos/bancos-clinicos/proforma-pequenos-animales.pdf>.
- FERREYRA, C., 2023. S.O.S. refugios: tres historias de lucha contra el abandono y el maltrato animal. [en línea]. [consulta: 23 septiembre 2023]. Disponible en: <https://www.ambito.com/maltrato-animal/sos-refugios-tres-historias-lucha-contra-el-abandono-y-el-n5623609>.
- GÓMEZ, P.D.B., 2021. Mascotas en tiempos de crisis: cuánto cuesta mantener un perro en la Ciudad de Buenos Aires. *infobae* [en línea]. [consulta: 25 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.infobae.com/economia/2021/07/10/mascotas-en-tiempos-de-crisis-cuanto-cuesta-mantener-un-perro-en-la-ciudad-de-buenos-aires/>.
- GOOGLE LLC, 2023. Keras documentation: Keras Applications. [en línea]. [consulta: 19 octubre 2023]. Disponible en: <https://keras.io/api/applications/>.
- HARVEY, R.G. y MCKEEVER, P.J., 2001. *Manual Ilustrado de Enfermedades de la Piel en Perro y Gato*. 1. S.l.: Grass Ediciones. ISBN 84-7714-197-5.
- HE, K., ZHANG, X., REN, S. y SUN, J., 2015. *Deep Residual Learning for Image Recognition* [en línea]. 10 diciembre 2015. S.l.: arXiv. [consulta: 15 agosto 2023]. arXiv:1512.03385. Disponible en: <http://arxiv.org/abs/1512.03385>.
- IBM, 2023a. What is Overfitting? [en línea]. [consulta: 20 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.ibm.com/topics/overfitting>.
- IBM, 2023b. What is Underfitting? [en línea]. [consulta: 20 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.ibm.com/topics/underfitting>.
- INFOBAE, 2022. Perros: los elige el 81% de los argentinos que tienen un animal de compañía. *infobae* [en línea]. [consulta: 20 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.infobae.com/america/perrosygatos/2022/07/21/perros-los-elige-el-81-de-los-argentinos-que-tienen-un-animal-de-compania/>.
- INPI, 2023. Preguntas frecuentes de marcas. *Argentina.gob.ar* [en línea]. [consulta: 26 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/inpi/marcas/preguntas-frecuentes-de-marcas-0>.
- IOWA STATE UNIVERSITY, 2005. *Dermatofitosis* [en línea]. mayo 2005. S.l.: s.n. [consulta: 21 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.cfsph.iastate.edu/Factsheets/es/dermatofitosis.pdf>.
- JAMES, G., WITTEN, D., HASTIE, T. y TIBSHIRANI, R., 2022. *An introduction to statistical learning with applications in R: by Gareth James, Daniela Witten, Trevor Hastie, and Robert Tibshirani, New York, Springer Science and Business Media, 2013*

- [en línea]. 2. S.l.: Springer. [consulta: 25 mayo 2023]. ISBN 978-1-4614-7137-7. Disponible en: <https://www.statlearning.com/?ref=mentorcruise>.
- KUMAR, V., 2014. Making “Freemium” Work. *Harvard Business Review* [en línea], [consulta: 23 septiembre 2023]. ISSN 0017-8012. Disponible en: <https://hbr.org/2014/05/making-freemium-work>.
- LAZCANO CALIXTO, R., VALENCIA GONZÁLEZ, L.Á., BAENA DÍAZ, D.E. y GUZMÁN, R.V., 2019. React Native: acortando las distancias entre desarrollo y diseño móvil multiplataforma. , DOI <https://doi.org/10.22201/codeic.16076079e.2019.v20n5.a5>.
- LEIVA, J., 2022. Colores y emociones: significado de cada color y cómo influyen en las emociones. *Ebac* [en línea]. [consulta: 25 octubre 2023]. Disponible en: <https://ebac.mx/blog/colores-y-emociones>.
- LOWELL, A., 2008. *Atlas de dermatología en pequeños animales* [en línea]. 2008. S.l.: Inter-Médica S.A.I.C.I. [consulta: 27 mayo 2023]. ISBN 978-950-555-333-4. Disponible en: [http://www.intermedica.com.ar/media/mconnect\\_uploadfiles/a/c/ackerman\\_-\\_atlas.pdf](http://www.intermedica.com.ar/media/mconnect_uploadfiles/a/c/ackerman_-_atlas.pdf).
- MONGODB, INC., 2023. Explicación Sobre Las Bases De Datos NoSQL. *MongoDB* [en línea]. [consulta: 6 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.mongodb.com/es/nosql-explained>.
- MORIELLO, K., 2019. Dermatophytosis in cats and dogs: a practical guide to diagnosis and treatment. *In Practice*, vol. 41, no. 4, ISSN 0263-841X, 2042-7689. DOI 10.1136/inp.11539.
- NATIONAL CANCER INSTITUTE, 2011. Definición de diagnóstico definitivo - Diccionario de cáncer del NCI - NCI. [en línea]. [consulta: 21 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/diagnostico-definitivo.nciglobal,ncienterprise>
- NIC ARGENTINA, 2023. Dominios y Aranceles. *NIC Argentina* [en línea]. [consulta: 26 noviembre 2023]. Disponible en: <http://nic.ar/es/dominios/aranceles>.
- NIELSEN, M.A., 2015. Neural Networks and Deep Learning. [en línea], [consulta: 25 mayo 2023]. Disponible en: <http://neuralnetworksanddeeplearning.com>.
- ORTEGA, D., ACOSTA HERNÁNDEZ, B. y FERRER QUINTANA, O.R., 2013. Pioderma Canina. [en línea], no. 8, [consulta: 26 mayo 2023]. ISSN 1696-1978. Disponible en: [https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/12462/1/0280574\\_00008\\_0014.pdf](https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/12462/1/0280574_00008_0014.pdf).
- PORTER, M., 2008. Las cinco fuerzas competitivas que le dan forma a la estrategia. *Harvard Business Review* [en línea], [consulta: 25 noviembre 2023]. Disponible en:

[https://utecno.files.wordpress.com/2014/05/las\\_5\\_fuerzas\\_competitivas\\_michael\\_porter-libre.pdf](https://utecno.files.wordpress.com/2014/05/las_5_fuerzas_competitivas_michael_porter-libre.pdf).

- PRESSMAN, R.S., 2010. *Ingeniería del software. Un enfoque práctico*. Séptima. S.l.: McGraw-Hill. ISBN 978-607-15-0314-5.
- RABASQUEIRA, V., 2021. Miasis Canina. [en línea], [consulta: 29 mayo 2023]. ISSN 2605-2164. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8230880>.
- RASHID, J., ISHFAQ, M., ALI, G., SAEED, M.R., HUSSAIN, M., ALKHALIFAH, T., ALTURISE, F. y SAMAND, N., 2022. Skin Cancer Disease Detection Using Transfer Learning Technique. *Applied Sciences*, vol. 12, no. 11, ISSN 2076-3417. DOI 10.3390/app12115714.
- REJAS LÓPEZ, J., 2003. Dermatología Clínica Veterinaria. *Dermatología Clínica Veterinaria* [en línea]. [consulta: 27 mayo 2023]. Disponible en: [https://dermatologiaveterinaria.unileon.es/dermatopatias/dermatitis\\_aguda\\_humeda.htm](https://dermatologiaveterinaria.unileon.es/dermatopatias/dermatitis_aguda_humeda.htm).
- ROKACH, L. y MAIMON, O., 2015. *Data mining with decision trees: theory and applications*. Second edition. Hackensack, New Jersey: World Scientific. ISBN 978-981-4590-07-5. QA76.9.D343 R654 2015
- ROMERO NÚÑEZ, C. y GONZÁLEZ GUZMÁN, M., 2015. Actualidades de la dermatofitosis en perros y gatos. *Vanguardia Vet* [en línea]. [consulta: 21 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.vanguardiaveterinaria.com.mx/dermatofitosis-en-perros-y-gatos>.
- RUSSELL, S. y NORVIG, P., 2010. *Artificial intelligence: a modern approach*. 3rd ed. Upper Saddle River: Prentice Hall. Prentice Hall series in artificial intelligence, ISBN 978-0-13-604259-4. Q335 .R86 2010
- SAAVEDRA, J.A., 2022. Qué significa el color azul: significado del color en psicología, marketing e interiores. *Ebac* [en línea]. [consulta: 25 octubre 2023]. Disponible en: <https://ebac.mx/blog/que-significa-el-color-azul>.
- SALINAS C, E. y FALCÓN P, N., 2020. Concordancia entre el diagnóstico presuntivo y tomográfico en canes con enfermedades encefálicas y de columna vertebral. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* [en línea], vol. 31, no. 3, [consulta: 21 mayo 2023]. ISSN 1609-9117. DOI 10.15381/rivep.v31i3.18167. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1609-91172020000300013&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1609-91172020000300013&lng=es&nrm=iso&tlng=es).
- SAMOUR, J., 2016. *Avian Medicine* [en línea]. 3. S.l.: Mosby Ltd. [consulta: 29 mayo 2023]. ISBN 978-0-7234-3832-8. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/book/9780723438328/avian-medicine>.

SIMONYAN, K. y ZISSERMAN, A., 2015. *Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition* [en línea]. 10 abril 2015. S.l.: arXiv. [consulta: 15 agosto 2023]. arXiv:1409.1556. Disponible en: <http://arxiv.org/abs/1409.1556>.

TAN, M. y LE, Q.V., 2020. *EfficientNet: Rethinking Model Scaling for Convolutional Neural Networks* [en línea]. 11 septiembre 2020. S.l.: arXiv. [consulta: 15 agosto 2023]. arXiv:1905.11946. Disponible en: <http://arxiv.org/abs/1905.11946>.

UPADHYAY, A., SINGH, G., MHATRE, S. y NADAR, P., 2023. Dog Skin Diseases Detection and Identification Using Convolutional Neural Networks. *SN Computer Science*, vol. 4, no. 3, ISSN 2661-8907. DOI 10.1007/s42979-022-01645-5.

VILLACORTA GARCÍA, A., 2021. VAN, TIR y Pay-back: ¿qué son y en qué se diferencian? | Conexión ESAN. [en línea]. [consulta: 27 septiembre 2023]. Disponible en: <https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/van-tir-y-pay-back-que-son-y-en-que-se-diferencian>.

ZHUANG, F., QI, Z., DUAN, K., XI, D., ZHU, Y., ZHU, H., XIONG, H. y HE, Q., 2020. *A Comprehensive Survey on Transfer Learning* [en línea]. 23 junio 2020. S.l.: arXiv. [consulta: 15 agosto 2023]. arXiv:1911.02685. Disponible en: <http://arxiv.org/abs/1911.02685>.

## 10. Índice de Figuras

Número de Figura	Descripción	Origen
1	Lesión en la nariz del perro.	F. Albanese (Moriello 2019).
2	Mancha bien delimitada y húmeda, eritematosa y alopecica sobre la región dorsal.	(Harvey y Mckeever 2001).
3	Miasis en perro.	(Campmany 2023).
4	Representación de una red neuronal con múltiples capas ocultas.	(James et al. 2022).
5	Aplicación de dos filtros convolucionales. El primero resalta las rayas verticales del tigre, mientras que el segundo resalta las rayas horizontales.	(James et al. 2022).
6	Ejemplo de una arquitectura usual de una CNN. En esta arquitectura, cada capa de reducción reduce el tamaño de la imagen en un factor de 2 en ambas dimensiones (ancho y alto).	(James et al. 2022)
7	Resultados encuesta al público.	Propia.
8	Diagrama de casos de uso del sistema VetLens.	Propia.

9	Diagrama de arquitectura de VetLens.	Propia.
10	Arquitectura productiva de VetLens.	Propia
11	Arquitectura en capas del Modelo Final utilizado por VetLens.	Propia.
12	Gráfico de barras que indica la cantidad de imágenes por clase para cada clase del modelo final.	Propia.
13	Gráfico de torta que indica la distribución, en porcentajes, de cada clase en el set de datos.	Propia.
14	Gráficos de Exactitud (figura de la izquierda) y Pérdida (figura de la derecha) a lo largo del entrenamiento y validación del modelo final.	Propia.
15	Diagrama de secuencia del servicio de detección de VetLens. DiagnosisController, DiagnosisService, S3Service, DiagnosisRepository, InferenceService y DiseaseRepository	Propia.

	pertenecen al backend de Java. Machine Learning API es la representación del backend en Python.	
16	Funcionamiento hilos React Native.	(Lazcano Calixto et al. 2019).
17	Pantalla inicio de sesión, registro y menú principal del Veterinario en VetLens.	Propia.
18	Pantalla diagnóstico vista Veterinario y Dueño respectivamente, generación de QR y cuestionario.	Propia.
19	Diagrama de Base de Datos MySQL.	Propia.
20	Logo de VetLens.	Propia.
21	Matriz de confusión respectiva a las pruebas realizada sobre el modelo. Se puede visualizar la Precisión (Precisión), Exactitud (Accuracy) y Sensibilidad (Recall).	Propia.
22	Las cinco fuerzas de Porter	(Porter 2008)
23	Lienzo del modelo de negocios de VetLens.	Propia.
24	Resultados encuesta al público	Propia.

25	Resultados encuesta al público	Propia.
26	Resultados encuesta al público	Propia.
27	Resultados encuesta al público	Propia.
28	Gráficos pertenecientes a los resultados de Exactitud (Accuracy) y Pérdida (Loss) en el entrenamiento y validación del modelo ResNet50.	Propia.
29	Gráficos pertenecientes a los resultados de Exactitud (Accuracy) y Pérdida (Loss) en el entrenamiento y validación del modelo Xception.	Propia.
30	Gráficos pertenecientes a los resultados de Exactitud (Accuracy) y Pérdida (Loss) en el entrenamiento y validación del modelo VGG16.	Propia.
31	Gráficos pertenecientes a los resultados de Exactitud (Accuracy) y Pérdida (Loss) en el entrenamiento y	Propia.

	validación del modelo EfficientNetB2.	
--	---------------------------------------	--

## 11. Índice de Tablas

Número de Tabla	Descripción	Origen
I	Comparación de las diferentes características entre VetLens y TTCare.	(AI FOR PET 2023).
II	Especificación del caso de uso “Realizar un diagnóstico”.	Propia.
III	Especificación del caso de uso “Ver resultados de un diagnóstico”.	Propia.
IV	Especificación del caso de uso “Escanear un código QR”.	Propia.
V	Parámetros de entrenamiento de los modelos evaluados.	Propia.
VI	Capas de la arquitectura de EfficientNetB0.	(Tan y Le 2020).
VII	Arquitectura en capas detallada del Modelo Final utilizado por VetLens.	Propia.
VIII	Parámetros de entrenamiento del modelo final utilizado por VetLens.	Propia.

IX	Detalle de los diferentes componentes que conforman la arquitectura de VetLens.	Propia.
X	Precios de los diferentes planes del modelo de negocios.	Propia.
XI	Recursos para el desarrollo del proyecto VetLens.	Propia.
XII	Cantidad total de usuarios con suscripción alcanzados en el décimo año.	Propia.
XIII	VAN del proyecto según escenario.	Propia.
XIV	TIR del proyecto según escenario.	Propia.
XV	Pay Back del proyecto según escenario.	Propia.
XVI	Evolución del Flujo de Fondos por año según escenario.	Propia.
XVII	Crecimiento de la tasa de usuarios por año respecto al año anterior según escenario y abierto por tipo de plan de suscripción (Año 1 con número de usuarios base).	Propia.
XVIII	Características de la familia de modelos EfficientNet. Los valores de exactitud fueron	(Google LLC 2023)

	tomados en base a su rendimiento en el set de datos ImageNet.	
XIX	Tiempos de inferencia de los modelos EfficientNet.	(Google LLC 2023)

## ANEXO A. Glosario

**Alopecia:** es la pérdida de pelo, derivada del rascado o de un fallo en el ciclo de crecimiento del folículo (Bayón Piedrabuena 2018).

**Anamnesis:** son los datos que el profesional obtiene de los responsables del paciente y del medio en el que se desarrolla (FCV UBA 2017).

**Antisépticos:** son sustancias que, aplicadas de forma tópica, sobre los tejidos vivos, tienen la capacidad de destruir los microorganismos o de inhibir su reproducción (Benedí 2005).

**Biopsia:** es la toma de una muestra de la piel en toda su extensión para estudiarla al microscopio (Bayón Piedrabuena 2018).

**Costras:** son escamas endurecidas superficiales resultado de la cicatrización de heridas o trastornos de la queratinización (Bayón Piedrabuena 2018).

**Eritema:** es el enrojecimiento de la piel, signo de inflamación (Bayón Piedrabuena 2018).

**Prurito:** es sinónimo de picor, que induce al perro a rascarse para aliviarlo (Bayón Piedrabuena 2018).

**Dípteros:** insecto que solo tiene dos alas membranosas, que son las anteriores, con las posteriores transformadas en balancines, o que carecen de alas por adaptación a la vida parasitaria, y con aparato bucal dispuesto para chupar, como la mosca (ASALE y RAE 2014).

**Proceso séptico:** proceso por el cual se produce una infección generalizada producida por la presencia en la sangre de microorganismos patógenos o de sus toxinas (ASALE y RAE 2014).

**Letargo:** estado caracterizado por un sueño profundo y prolongado, propio de algunas enfermedades nerviosas, infecciosas o tóxicas (ASALE y RAE 2014).

**Adenopatía:** enfermedad de los ganglios, especialmente de los linfáticos (ASALE y RAE 2014).

**Cizallamiento:** es el desplazamiento de la parte inferior y superior de una imagen u objeto en direcciones paralelas pero opuestas.

## ANEXO B. Resultados encuesta

A continuación, en las figuras 24, 25, 26 y 27, se evidencian los distintos resultados de interés que fueron obtenidos de la encuesta

Del 1 al 5, ¿Qué tanta atención le prestas a la salud y bienestar de tu/s perro/s?  
287 respuestas

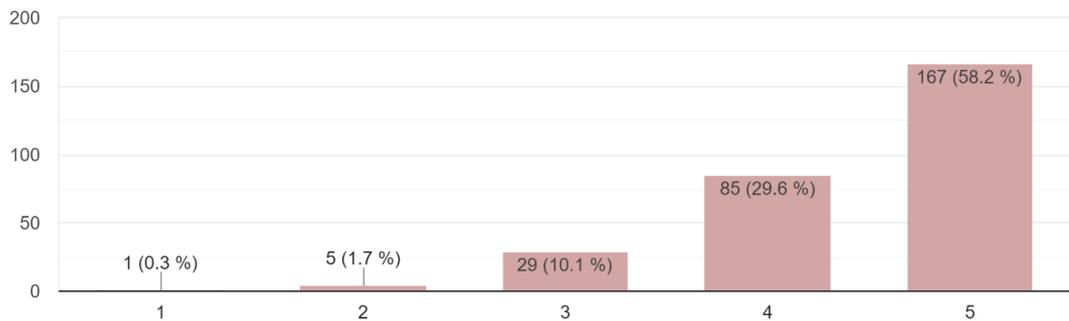


Figura 24: Resultados encuesta al público. Elaboración Propia.

Cuando notas algo extraño en tu perro, ¿Qué es lo primero que haces?  
287 respuestas



Figura 25: Resultados encuesta al público. Elaboración Propia.

¿Tenes o has tenido perros?

296 respuestas

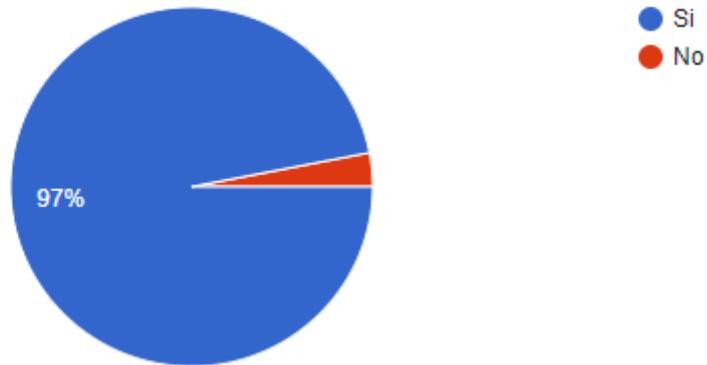


Figura 26: Resultados encuesta al público. Elaboración Propia.

¿Alguna vez tu perro sufrió alguna enfermedad de piel? Por ejemplo: dermatitis, sarna, demodexia, etc.

287 respuestas

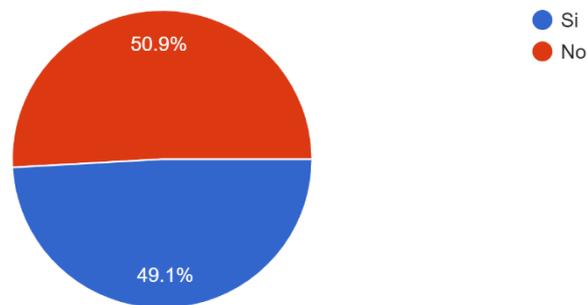


Figura 27: Resultados encuesta al público. Elaboración Propia.

## **ANEXO C. Entrevistas**

### **Gamietea, Ignacio (Matrícula 8366)**

La entrevista fue realizada el día 12 de abril de 2023, en formato virtual, descontracturado e informal y con el consentimiento expreso del entrevistado para grabar la misma. A continuación, se adjunta transcripción de aquellas preguntas y respuestas que fueron de interés durante la misma.

*¿Cuál es tu punto de vista sobre una aplicación que permita detectar y estimar con determinada probabilidad una enfermedad de piel en perros, crees que es de ayuda para los dueños de los perros?*

“Después de escuchar su propuesta y entender a lo que quieren llegar, desde mi posición lo pienso al revés, yo siento, desde mi lugar como veterinario, que es una herramienta que aportaría muchísimo valor a colegas, no lo pienso para uso del propietario. Esta herramienta puede ser muy útil para achicar el abanico de posibilidades a la hora de diagnosticar el animal. Que, si bien no le está dando el diagnóstico definitivo, le sirve para arrimarse al problema”.

[...]

*¿En cuanto a las enfermedades de piel en los perros, hay ciertos patrones o información en la que uno se pueda basar para poder reducir las posibilidades?*

“Si, por supuesto, en cualquier tipo de enfermedades se puede conseguir eso, es lo que justamente hace el profesional cuando llega el animal a la consulta. La parte de la medicina que permite todo esto se llama semiología, quien permite achicar el abanico de posibilidades en función a la sintomatología y a los signos que el animal presenta. Es muy importante diferenciar el síntoma del signo. En los animales se ven los signos, las cosas objetivas, las que yo como persona puedo ver, ya que los animales no pueden decirnos lo que les pasa como si ocurre con las personas, que es a lo que se les llama síntomas”.

[...]

*¿En base a tu opinión como profesional, consideras alcanzable el poder obtener una predicción de la enfermedad de piel que tiene el animal gracias al análisis de la foto que el dueño le toma?*

“Si es algo alcanzable en lo que a mi conocimiento respecta, algo muy importante que tienen que tener en cuenta es los tipos de patología que se reflejan en la piel del animal, ya que son muy diversos con orígenes muy distintos entre sí, pueden ser enfermedades propias de la piel o manifestaciones de enfermedades en otros órganos, generalmente presentan alopecia (caída de pelo), eritema (piel roja), sudado y demás por lo que nunca vas a llegar a un diagnóstico definitivo por imagen, en muchos casos se va a un raspaje donde se toman muestras de pelo y se las analiza, o se analiza la sangre en microscopio y demás muestras para complementar lo que visualmente uno puede detectar en el perro. Y así y todo muchas veces no se alcanza el diagnóstico definitivo.

Por ese motivo, es importante que ustedes aclaren que bajo ningún concepto el diagnóstico que ustedes dan con su solución es el definitivo. Es por esta razón que lo veo como un aporte muy bueno para el veterinario, ya que el dueño en ningún momento tiene que tomar una decisión terapéutica porque si no estarían fomentando la auto medicina, ya que por más ayuda que se le dé, el diagnóstico no está cerrado y mucho menos tiene los conocimientos para aplicar tratamientos a los posibles casos”.

[...]

*¿Hoy en día existen ayudas a los veterinarios al momento de la consulta para agilizarla?*

“Si, según lo que he escuchado existen libros del estilo “Consulta en 5 minutos” “Consulta rápida”, donde el veterinario se ayuda con la bibliografía al momento que arriba un paciente al consultorio. Esta entrevista que se le hace al dueño se llama anamnesis y son esas preguntas que se responden y que permite conocer al animal, sus síntomas, donde vive y demás información que permite llegar a un diagnóstico más acertado”.

[...]

*(Antes de finalizar la entrevista, el entrevistado decidió realizar un repaso general de lo charlado durante la misma, del cual se pudo extraer lo siguiente)*

... “Volviendo un poco a lo conversado, como les dije me parece una gran idea sobre todo si la dirigen a profesionales de la salud canina y validando que sean profesionales de salud canina. Eso lo pueden hacer con el número de matrícula, están los distintos colegios de veterinarios donde uno se inscribe, después tendrían que investigar sobre donde se puede acceder a esos datos, considerando que se tienen matriculas provinciales y matriculas nacionales”

### **Garfi, Victoria (Matrícula 6941) y Mele, Valeria (Matrícula 8989)**

La entrevista fue realizada el día 15 de abril de 2023, en formato virtual, descontracturado e informal y con el consentimiento expreso de las personas entrevistadas para grabar la misma. Se optó por realizarla en conjunto ya que ellas son colegas que han trabajado en la misma veterinaria por lo que las preguntas fueron dirigidas a ambas entrevistadas.

A continuación, se adjunta transcripción de aquellas preguntas y respuestas que fueron de interés durante la misma

*¿Qué es lo primero que se hace cuando llega un perro a la consulta veterinaria?*

“El dueño generalmente nos comenta muy por encima que es lo que le ocurre al animal, nosotros para saber más del contexto del perro hacemos la reseña y la anamnesis, la diferencia entre ellas es que la reseña se refiere a todos los datos del animal como nombre, edad, raza, peso, y demás. Y la anamnesis se refiere a los antecedentes médicos del animal, por ejemplo, si fue operado, castrado, que alimento come, para tener un parámetro general del animal para luego ir a la pregunta del motivo de consulta”.

[...]

*¿En cuanto a la detección de enfermedades de piel mediante fotos que el dueño le toma al animal, lo observas viable o cuál es tu visión al respecto?*

“En cuanto a las fotos, la foto debe ser muy concreta, porque a nosotros los veterinarios nos pasa que los dueños nos mandan una foto del perro preguntándonos que les pasa y la foto está muy mal tomada, no se entiende dónde está la lesión y se dificulta mucho el diagnóstico. Para que no suceda esto tal vez se le debería dar un instructivo al usuario de cómo sacar una foto correctamente.

En la veterinaria tenemos muchos atlas de dermatología donde hay fotos muy buenas para cada caso que se los podemos prestar, también tengo muchas fotos que nos envían los dueños a las que ya les hicimos diagnóstico y podemos compartírselas indicándoles a ustedes que enfermedad es en cada caso si les sirve”.

[...]

*¿Crees que la aplicación puesta en manos del usuario sin distinguir si se trata de un veterinario o no puede afectar a los perros y su salud?*

“Me parece una muy buena herramienta si se quiere para que el dueño sepa que le ocurre al perro, no le daría tanto poder en el sentido de tratamientos o información sensible para que el dueño no tenga el deseo de tratarlo el mismo. Sirve mucho para el ahorro de tiempo ya que perdemos muchísimo tiempo y a veces la veterinaria se llena por consultas que son relativamente simples, donde con un primer pantallazo del animal podemos saber qué es lo que le ocurre. Por lo que parece muy útil para ahorrar tiempo en ese sentido, donde el dueño ya responde estas preguntas de las que estuvimos hablando, en su hogar y nosotros como veterinarios leemos la información y el resultado que arrojó la aplicación y lo usamos como información de inicio para poder terminar de diagnosticar al can”.

### ANEXO D. Gráficos de resultados en modelos evaluados

En el presente se detallan los gráficos resultantes de los procesos de entrenamiento de los diferentes modelos evaluados. Estos fueron ResNet50 (Figura 28), Xception (Figura 29), VGG16 (Figura 30) y EfficientNetB2 (Figura 31).

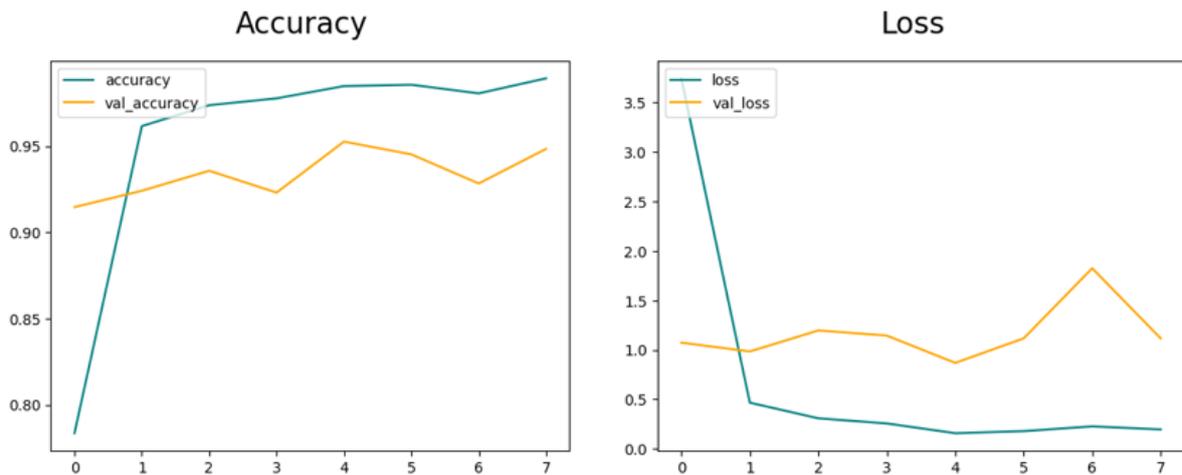


Figura 28: Gráficos pertenecientes a los resultados de Exactitud (Accuracy) y Pérdida (Loss) en el entrenamiento y validación del modelo ResNet50. Elaboración Propia.

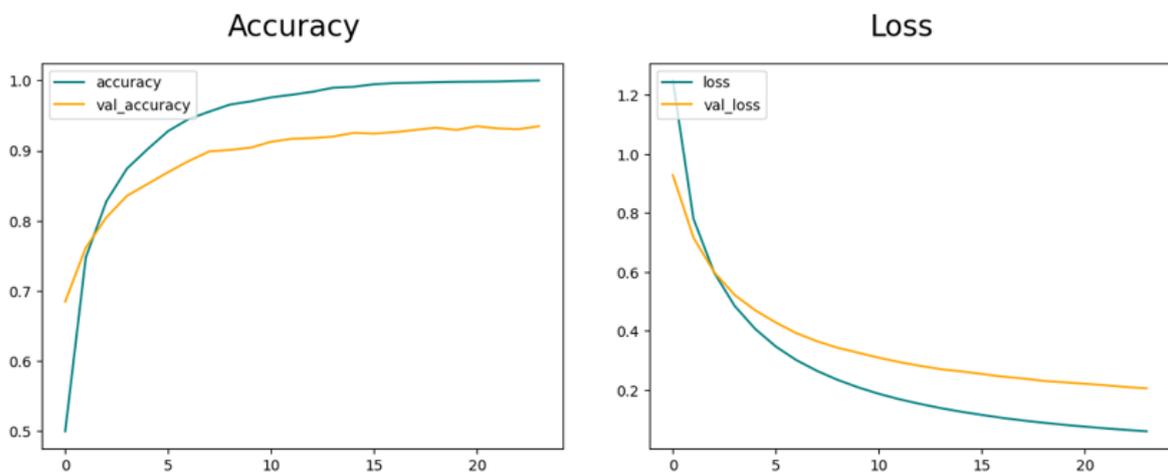


Figura 29: Gráficos pertenecientes a los resultados de Exactitud (Accuracy) y Pérdida (Loss) en el entrenamiento y validación del modelo Xception. Elaboración Propia.

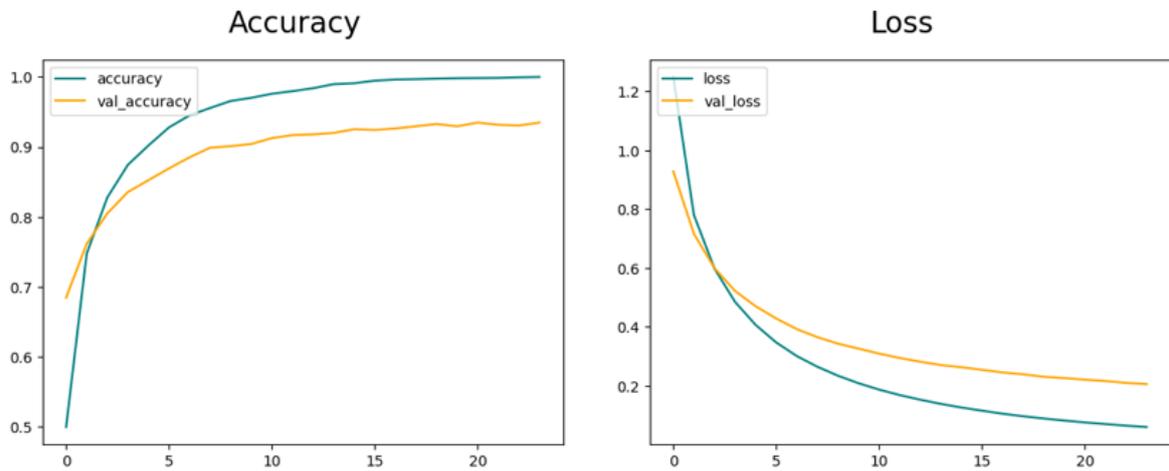


Figura 30: Gráficos pertenecientes a los resultados de Exactitud (Accuracy) y Pérdida (Loss) en el entrenamiento y validación del modelo VGG16. Elaboración Propia.

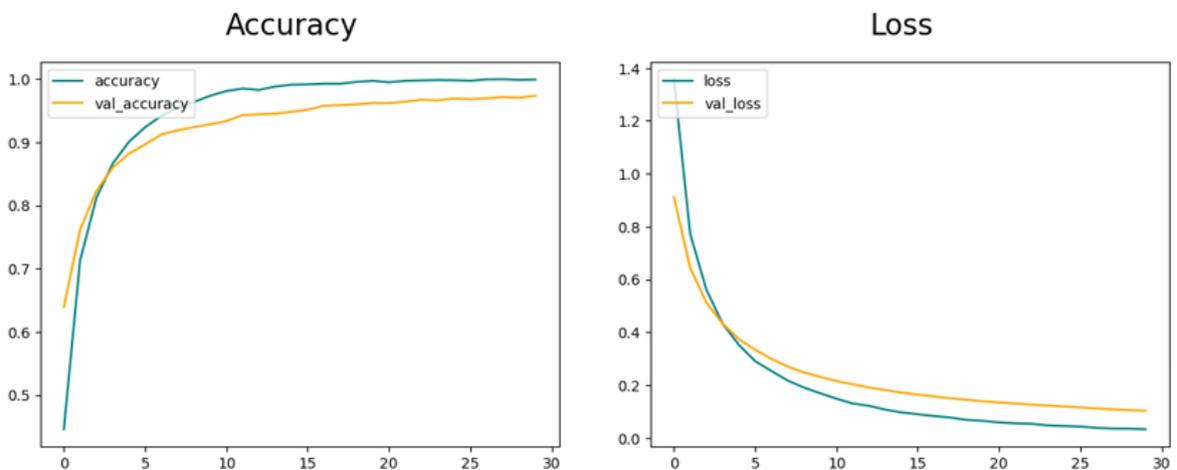


Figura 31: Gráficos pertenecientes a los resultados de Exactitud (Accuracy) y Pérdida (Loss) en el entrenamiento y validación del modelo EfficientNetB2. Elaboración Propia.

### ANEXO E. Flujo de fondos y evolución de usuarios

Tabla XVI: Evolución del Flujo de Fondos por año según escenario.

	<b>Optimista</b>	<b>Neutro</b>	<b>Pesimista</b>
Año 0	-\$2.593,50	-\$2.593,50	-\$2.593,50
Año 1	-\$22.034,13	-\$29.216,63	-\$37.016,63
Año 2	-\$7.244,16	-\$24.170,16	-\$35.213,66
Año 3	\$14.315,56	-\$11.850,06	-\$27.335,01
Año 4	\$43.776,49	-\$1.509,86	-\$24.168,86
Año 5	\$79.063,43	\$16.593,80	-\$13.261,57
Año 6	\$122.076,99	\$22.776,60	-\$9.837,19
Año 7	\$145.552,68	\$25.908,87	-\$9.864,50
Año 8	\$167.037,66	\$30.936,52	-\$6.559,08
Año 9	\$184.554,28	\$34.850,56	-\$4.453,39
Año 10	\$196.272,58	\$38.960,30	-\$913,74

Tabla XVII: Crecimiento de la tasa de usuarios por año respecto al año anterior según escenario y abierto por tipo de plan de suscripción (Año 1 con número de usuarios base).

	<b>Escenario Optimista</b>			<b>Escenario Neutro</b>			<b>Escenario Pesimista</b>		
	<b>Plan Básico</b>	<b>Plan Completo</b>	<b>Plan Veterinaria</b>	<b>Plan Básico</b>	<b>Plan Completo</b>	<b>Plan Veterinaria</b>	<b>Plan Básico</b>	<b>Plan Completo</b>	<b>Plan Veterinaria</b>
<b>Año 1</b>	2500	1250	550	1550	800	380	800	550	280
<b>Año 2</b>	60%	50%	40%	40%	30%	40%	30%	30%	40%
<b>Año 3</b>	40%	40%	30%	40%	30%	30%	30%	30%	30%
<b>Año 4</b>	40%	40%	30%	30%	30%	30%	20%	30%	20%
<b>Año 5</b>	30%	40%	40%	30%	20%	30%	20%	20%	20%
<b>Año 6</b>	30%	30%	40%	10%	5%	20%	10%	10%	10%
<b>Año 7</b>	10%	10%	30%	10%	5%	10%	10%	5%	5%

<b>Año 8</b>	10%	10%	20%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
<b>Año 9</b>	5%	10%	10%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
<b>Año 10</b>	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%

### ANEXO F. Rendimiento de la familia de modelos EfficientNet

Tabla XVIII: Características de la familia de modelos EfficientNet. Los valores de exactitud fueron tomados en base a su rendimiento en el set de datos ImageNet. (Google LLC 2023)

Modelo	Exactitud Top -1	Exactitud Top -5	Cantidad de parámetros	Profundidad (cantidad de capas)
<b>EfficientNetB0</b>	77,1%	93,3%	5,3 Millones	132
<b>EfficientNetB1</b>	79,1%	94,4%	7,9 Millones	186
<b>EfficientNetB2</b>	80,1%	94,9%	9,2 Millones	186
<b>EfficientNetB3</b>	81,6%	95,7%	12,3 Millones	210
<b>EfficientNetB4</b>	82,9%	96,4%	19,5 Millones	258
<b>EfficientNetB5</b>	83,6%	96,7%	30,6 Millones	312
<b>EfficientNetB6</b>	84%	96,8%	43,3 Millones	360
<b>EfficientNetB7</b>	84,3%	97%	66,7 Millones	438

Tabla XIX: Tiempos de inferencia de los modelos EfficientNet. (Google LLC 2023)

Modelo	Tiempo (ms) de cada paso de inferencia en CPU	Tiempo (ms) de cada paso de inferencia en GPU
<b>EfficientNetB0</b>	46	4,9
<b>EfficientNetB1</b>	60,2	5,6
<b>EfficientNetB2</b>	80,8	6,5
<b>EfficientNetB3</b>	140	8,8
<b>EfficientNetB4</b>	308,3	15,1
<b>EfficientNetB5</b>	579,2	25,3
<b>EfficientNetB6</b>	958,1	40,4
<b>EfficientNetB7</b>	1578,9	61,6

## **ANEXO G. Términos y Condiciones de uso de VetLens**

A continuación, se detallan los términos y condiciones de uso de la aplicación VetLens:

Por favor, lea detenidamente estos términos y condiciones antes de utilizar la aplicación móvil "VetLens" (en adelante, "la Aplicación"). Al acceder o utilizar la Aplicación, usted acepta estar sujeto a los siguientes términos y condiciones:

- 1. Uso Responsable de la Información:** la Aplicación y la empresa detrás de ella (en adelante, "la Empresa") proporcionan información de carácter general sobre la salud y el cuidado de mascotas. Es importante destacar que la Aplicación no fomenta ni incita a la automedicación de su mascota. La información proporcionada en la Aplicación tiene fines meramente informativos y educativos.
- 2. Limitación de Responsabilidad:** La Empresa no asume responsabilidad por cualquier inconveniente o daño que pueda resultar de tomar decisiones basadas únicamente en la información proporcionada por la Aplicación en lugar de consultar a un profesional veterinario. La Aplicación no sustituye la atención y el diagnóstico de un veterinario calificado.
- 3. Recomendación de Consultar a un Veterinario:** la Aplicación no debe considerarse un reemplazo de la atención veterinaria profesional. Siempre se recomienda encarecidamente que consulte a un veterinario antes de tomar decisiones sobre la salud de su mascota basadas en la información de la Aplicación. La salud de su mascota es de suma importancia, y solo un veterinario puede proporcionar un diagnóstico y tratamiento adecuados.
- 4. Aceptación de los Términos y Condiciones:** al utilizar la Aplicación, usted reconoce que ha leído, comprendido y aceptado estos términos y condiciones en su totalidad. Si no está de acuerdo con estos términos, le rogamos que no utilice la Aplicación.

- 5. Modificaciones de los Términos y condiciones:** la Empresa se reserva el derecho de modificar estos términos y condiciones en cualquier momento y sin previo aviso. Las modificaciones entrarán en vigor inmediatamente después de su publicación en la Aplicación. Le recomendamos que revise periódicamente estos términos para estar al tanto de cualquier cambio.
- 6. Ley Aplicable y Jurisdicción:** Estos términos y condiciones se regirán e interpretarán de acuerdo con las leyes de la República Argentina. Cualquier disputa, controversia o reclamo que surja en relación con estos términos y condiciones, su interpretación, ejecución, incumplimiento o cualquier otro aspecto relacionado con la Aplicación, se resolverá de manera exclusiva ante los tribunales de la República Argentina, renunciando expresamente a cualquier otro fuero o jurisdicción que pudiera corresponder.