

DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN ANDROID COMO AYUDA AL DIAGNÓSTICO PRECOZ DEL CÁNCER ORAL Y LAS LESIONES ORALES POTENCIALMENTE MALIGNAS



TRABAJO FIN DE MÁSTER
CURSO 2021-2022

AUTOR
RODRIGO LAGARTERA PEÑA

CODIRECTOR
ANTONIO SARASA CABEZUELO

CODIRECTORA
ROSA MARÍA LÓPEZ-PINTOR MUÑOZ

CONVOCATORIA: SEPTIEMBRE 2022
CALIFICACIÓN: 7,5

MÁSTER EN INGENIERÍA INFORMÁTICA
FACULTAD DE INFORMÁTICA
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN ANDROID COMO AYUDA AL DIAGNÓSTICO PRECOZ DEL CÁNCER ORAL Y LAS LESIONES ORALES POTENCIALMENTE MALIGNAS

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER EN INGENIERÍA INFORMÁTICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE SOFTWARE E INTELIGENCIA
ARTIFICIAL

AUTOR
RODRIGO LAGARTERA PEÑA

CODIRECTOR
ANTONIO SARASA CABEZUELO

CODIRECTORA
ROSA MARÍA LÓPEZ-PINTOR MUÑOZ

CONVOCATORIA: SEPTIEMBRE 2022
CALIFICACIÓN: 7,5

MÁSTER EN INGENIERÍA INFORMÁTICA
FACULTAD DE INFORMÁTICA
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

21 DE SEPTIEMBRE DE 2022

“Los países con la mayor densidad de robots tienen también las tasas de desempleo más bajas. La combinación correcta de tecnología y humanos impulsarán la prosperidad”

Ulrich Spiesshofer

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a los codirectores de este Trabajo de Fin de Máster, Antonio Sarasa Cabezuelo y Rosa María López-Pintor Muñoz, la paciencia y dedicación aportada para sacar este trabajo adelante.

No puedo olvidarme tampoco de todos mis familiares y mi pareja, cuyo apoyo constante y tiempo me ha dado la confianza para poder hacer lo que siempre quise hacer y me apoyaron con todas mis metas y propósitos. Gracias por todo vuestro apoyo.

También quiero dar las gracias a todos los compañeros y compañeras que han compartido clase y horas de trabajo y estudio conmigo. Todo vuestro apoyo, vuestra capacidad de ayudarme en los malos momentos y vuestros consejos han sido muy importantes. Gracias.

Por último, quiero agradecer a todos esos amigos y amigas que siempre me han dado su apoyo. Sus frases de: "Tú puedes hacerlo" o "Sé que tú eres capaz" han sido más importantes de lo que pueda parecer. Gracias.

RESUMEN

DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN ANDROID COMO AYUDA AL DIAGNÓSTICO PRECOZ DEL CÁNCER ORAL Y LAS LESIONES ORALES POTENCIALMENTE MALIGNAS

La salud oral y bucodental, competencia de odontólogos, cirujanos maxilofaciales e higienistas dentales, es un aspecto importante de las vidas de las personas. Es importante tener siempre un cuidado e higiene oral correctos, así como evitar diferentes factores de riesgo, como el tabaco, para poder prevenir las alteraciones dentales y de la mucosa oral. Sin embargo, cuando aparecen enfermedades o alteraciones orales, es fundamental saber diagnosticar las mismas para abordar el posible tratamiento de la enfermedad de forma precoz.

No es sencillo distinguir entre las diversas lesiones de la mucosa oral. Entre ellas, el cáncer oral es un tumor que se puede identificar al realizar una exploración oral, suele diagnosticarse en fases avanzadas y por ello tiene unas tasas de supervivencia a los 5 años de su diagnóstico de aproximadamente el 50%. Las lesiones de la mucosa oral pueden ser benignas, potencialmente malignas o malignas. Por tanto, el realizar un correcto diagnóstico precoz para situar a las diferentes lesiones en función de su gravedad es vital a la hora de determinar un diagnóstico fiable y un tratamiento temprano que evite poner en riesgo la vida del paciente.

En este trabajo se propone la implementación de una aplicación móvil para uso de especialistas, que utilice la tecnología de la inteligencia artificial, para el reconocimiento de imágenes de lesiones de la mucosa oral y el análisis de datos textuales procedentes de las historias clínicas, con el objetivo de elaborar una predicción sobre el diagnóstico que pueda ayudar a un especialista a determinar y esclarecer el tipo de enfermedad al que se enfrenta y realizar un diagnóstico precoz de las lesiones orales potencialmente malignas y el cáncer oral. Esto hará aumentar la supervivencia de los pacientes que sufren estas alteraciones orales.

Palabras clave

Aprendizaje automático, Inteligencia artificial, lesiones de la mucosa oral, lesiones orales potencialmente malignas, cáncer oral, diagnóstico precoz, predicción, aplicación.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF AN ANDROID APPLICATION TO HELP THE EARLY DIAGNOSIS OF ORAL CANCER AND POTENTIALLY MALIGNANT ORAL LESIONS

Oral and oral health, the competence of dentists, maxillofacial surgeons and dental hygienists, is an important aspect of people's lives. It is important to always have correct oral care and hygiene, as well as to avoid different risk factors, such as tobacco, in order to prevent dental and oral mucosa alterations. However, when diseases or oral disorders appear, it is essential to know how to diagnose them to approach the possible treatment of the disease early.

It is not easy to distinguish between the various lesions of the oral mucosa. Among them, oral cancer is a tumor that can be identified by performing an oral examination, it is usually diagnosed in advanced stages and therefore has survival rates 5 years after diagnosis of approximately 50%. Oral mucosal lesions can be benign, potentially malignant, or malignant. Therefore, making a correct early diagnosis to place the different injuries according to their severity is vital when determining a reliable diagnosis and early treatment that avoids putting the patient's life at risk.

This work proposes the implementation of a mobile application for the use of specialists, which uses artificial intelligence technology, for the recognition of images of oral mucosal lesions and the analysis of textual data from medical records, with the aim of making a prediction about the diagnosis that can help a specialist to determine and clarify the type of disease you are facing and to make an early diagnosis of potentially malignant oral lesions and oral cancer. This will increase the survival of patients suffering from these oral alterations.

Keywords

Machine learning, Artificial intelligence, oral mucosal lesions, potentially malignant oral lesions, oral cancer, early diagnosis, prediction, application.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Agradecimientos	V
Resumen.....	VII
DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN ANDROID COMO AYUDA AL DIAGNÓSTICO PRECOZ DEL CÁNCER ORAL Y LAS LESIONES ORALES POTENCIALMENTE MALIGNAS ..	VII
Abstract	IX
Índice de contenidos	XII
Capítulo 1 - Introducción	1
1.1 Motivación	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Plan de trabajo	3
1.4 Estructura de la memoria.....	5
Capítulo 2 - Estado de la cuestión.....	7
2.1 . Lesiones de la Mucosa Oral.....	7
2.2.1. Lesiones de la mucosa oral benignas.....	7
2.2.1.1. Aftas Orales.....	7
2.2.1.2. Ulceras orales por citomegalovirus.....	8
2.2.1.3. Epulis fisurado	9
2.2.1.4. Exostosis.....	9
2.2.1.5. Fibroma	10
2.2.1.6. Queratosis friccional.....	11
2.2.1.7. Leucoedema.....	11
2.2.1.8. Lipoma	12
2.2.1.9. Diapneusia	13

2.2.1.10. Fibroma osificante.....	13
2.2.1.11. Osteonecrosis de los maxilares	14
2.2.1.12. Papiloma.....	15
2.2.1.13. Granuloma periférico de células gigantes	15
2.2.1.14. Granuloma piogénico	16
2.2.1.15. Herpes simple recurrente.....	17
2.2.1.16. Tori o Torus	17
2.2.1.17. Lesión traumática.....	18
2.2.2. Lesiones potencialmente malignas.....	19
2.2.2.1. Leucoplasia	19
2.2.2.3. Leucoplasia verrucosa proliferativa	20
2.2.2.4. Liquen plano oral	21
2.2.2.5. Reacción liquenoide	22
2.2.3. Lesiones malignas	22
2.1.1 Carcinoma oral de células escamosas	22
2.2 . Herramientas digitales de predicción de diagnóstico.....	25
Capítulo 3 - Especificación de requisitos.....	26
3.1 Actores.....	26
3.2 Especificación de requisitos.....	26
3.2.1 Registro de datos en aplicación móvil.....	26
3.2.2 Análisis de casos en aplicación web	31
Capítulo 4 - Tecnologías utilizadas.....	38
4.1 Android Studio	38
4.2 Visual Studio Code	38
4.3 Python.....	39

4.4 Jupyter Notebook.....	39
4.5 FlaskAPI	39
4.6 Tensorflow	39
4.7 Keras	40
4.8 Numpy	40
4.9 Pandas.....	40
4.10 Modelo Mobilenet_v2.....	40
Capítulo 5 - Arquitectura y modelo de datos.....	41
5.1 Arquitectura	41
5.2 Modelo de datos	42
5.2.1 Modelo de datos en Aplicación Android.....	44
5.2.2 Modelo de Datos en aplicación web	46
Capítulo 6 - Desarrollo del proyecto.....	49
6.1 Descripción de los datos de entrenamiento.....	49
6.2 Desarrollo de los modelos de predicción.....	52
6.2.1 Desarrollo de predictor de imágenes	52
6.2.2 Desarrollo de predictor de texto	53
6.3 Desarrollo de la aplicación móvil.....	54
6.3.1 Vista principal	55
6.3.2 Vista de Detalles clínicos	55
6.3.3 Vista de detalles de la foto	57
6.3.4 Vista menú	60
6.3.5 Variables globales HashMap	63
6.4 Servidor Python para predictores y conexión con aplicación móvil	63
6.5 Despliegue de base de datos en Firebase y conexión con aplicación móvil.....	64

6.6 Desarrollo de la aplicación web	65
6.6.1 Página principal.	65
6.6.2 Predicción.....	67
6.6.3 Visualización de foto.....	69
6.7 Conexión de aplicación web con Firebase.....	70
Capítulo 7 - Discusión	72
Capítulo 8 - Conclusiones y trabajo futuro.....	74
8.1 Conclusiones	74
8.2 Trabajo futuro	75
Capítulo 9 - Introduction	77
9.1 Motivation	77
9.2 Objectives.....	78
9.3 Plan of work.....	79
9.4 Memory structure	80
Capítulo 10 - Conclusions and future work	83
10.1 Conclusions	83
10.2 Future work	84
Bibliografía.....	85
Apéndice 1: Manual de instalación	94
Apéndice 2: Manual de usuario.....	97

Capítulo 1 - Introducción

En este capítulo se van a explicar las motivaciones que han dado lugar al desarrollo de este proyecto, explicando la problemática existente, junto con las posibles soluciones que se pueden aportar. De la misma manera se exponen los objetivos de este trabajo de Fin de Máster, así como el plan de trabajo que se ha seguido para su desarrollo y la estructura de la presente memoria.

1.1 Motivación

El cáncer oral es la malignidad más frecuente de la cabeza y el cuello [1]. Este tipo de cáncer tiene una baja tasa de supervivencia (entre el 40% y el 50% a los 5 años de su tratamiento). Las localizaciones orales más frecuentemente afectadas son la lengua, el labio, la mucosa yugal, la encía y la mucosa alveolar [1][2][3]. El cáncer oral se suele dar en pacientes de avanzada edad, mayoritariamente hombres fumadores y/o bebedores, aunque puede aparecer también en pacientes que no cumplen estas características [4][5][6].

En la cavidad oral pueden aparecer lesiones de diferentes tipos: benignas, potencialmente malignas o malignas. Aunque los desórdenes orales potencialmente malignos no son lesiones cancerosas, potencialmente constituyen un riesgo, ya que la evidencia científica ha mostrado que son lesiones orales que pueden evolucionar a cáncer oral. Por ello, es muy importante realizar revisiones periódicas con el objetivo de detectar cuanto antes cualquier cambio sugestivo sospechoso de cáncer oral en dichas lesiones orales. De ese modo, se puede prevenir y evitar que estas lesiones malignicen y supongan un riesgo para la vida de los pacientes. Sin embargo, existe el problema de que se produzcan retrasos diagnósticos. Esto es debido a los conocimientos limitados de los clínicos (dentistas y médicos de atención primaria) en el área de medicina oral. Estos profesionales muchas veces no son capaces de diagnosticar de forma exacta cada lesión oral y en otros casos realizan varias interconsultas antes de derivar a los pacientes con estas lesiones a los especialistas. Retrasando el diagnóstico definitivo y por tanto el tratamiento del paciente [7][8].

Debido a que el principal problema de las lesiones orales es el retraso en el diagnóstico, dotar a los clínicos (médicos de atención primaria y dentistas) de herramientas capaces de diagnosticar las lesiones orales de forma eficiente sería una solución que podría acelerar el diagnóstico de los pacientes. El periodo de tiempo que transcurre entre que el paciente acude al médico y se le diagnostica una lesión oral es muy importante, ya que una detección temprana de las lesiones malignas puede suponer un pronto tratamiento y el consecuente aumento de posibilidades de curación [9][10][11]. Por ello, contar con una herramienta que use la inteligencia artificial para reconocer y predecir lesiones puede suponer un avance en el tiempo dedicado al diagnóstico. Este sistema ejecutaría la labor de un especialista, examinando los datos y características clínicas del caso, y las características de la imagen de la lesión. El sistema sería capaz de reconocer patrones y podría emitir un diagnóstico. Sin embargo, siempre se debería tomar la predicción de este sistema como un resultado que justificara la derivación del paciente al especialista, y no para emitir un diagnóstico definitivo.

La solución propuesta en este proyecto consiste en el uso de la Inteligencia Artificial (IA), por medio del aprendizaje automático, para poder predecir lesiones orales y predecir diagnósticos con un determinado porcentaje de acierto. Se propone el desarrollo de una aplicación móvil, cuya funcionalidad es asistir a los especialistas que la usan. La aplicación permitirá tomar datos clínicos e imágenes de las lesiones, predecir diagnósticos mediante el uso de la IA y guardar los datos generados, tanto de las predicciones como de los datos clínicos. Adicionalmente, se propone el desarrollo de una aplicación web en la que aparecerán los datos guardados de la aplicación móvil, con el objetivo de que un especialista pueda validar, corregir los diagnósticos o eliminar casos erróneos para poder aumentar la base de datos correctamente etiquetados y hacer que en un futuro pueda aumentar la precisión de la herramienta.

1.2 Objetivos

El objetivo principal del proyecto es desarrollar una herramienta para poder asistir a los clínicos (médicos de atención primaria y odontólogos) en el diagnóstico de lesiones orales (benignas, potencialmente malignas y cáncer oral). Para ello, se utilizará la IA y las nuevas tecnologías, y se implementarán en una aplicación para móvil. Es necesario

especificar que este proyecto no pretende sustituir la labor de los especialistas, si no servir como apoyo y ayuda a la hora de realizar diagnósticos, para así poder disipar cualquier tipo de duda que tenga el clínico. Posteriormente, siempre será necesario derivar al paciente al especialista en aquellos casos necesarios para realizar un diagnóstico final.

El objetivo principal, se descomponen los siguientes objetivos más específicos:

- Desarrollo de una aplicación móvil que permita tomar datos clínicos y fotografías de las lesiones, generar predicciones de diagnóstico con estos datos y almacenarlos en una base de datos con el objetivo de su posterior validación.
- Desarrollo de una aplicación web que muestra todos los datos tomados desde la aplicación móvil que han sido guardados, junto con sus predicciones. El objetivo de esta aplicación web es permitir que los especialistas confirmen o corrijan los casos, para así poder guardarlos en una base de datos que contenga casos "validados" y fiables.
- Desarrollo de dos Inteligencias Artificiales capaces de analizar los casos registrados y tomar una predicción del diagnóstico. La razón de que existan 2 predictores es la capacidad de analizar, por un lado, los datos registrados como texto y, por otro lado, analizar las imágenes.
- Despliegue de un sistema de almacenamiento en la nube que permita guardar los datos e imágenes registradas, así como las predicciones tomadas. Para que, en un futuro se puedan validar y/o corregir las predicciones y contar así con más casos de ejemplo que sirvan para volver a entrenar las IA y mejorar su efectividad y tasa de acierto.

1.3 Plan de trabajo

Para alcanzar los objetivos, se han llevado a cabo las siguientes tareas:

1. Desarrollo de una aplicación sencilla en Android que recoja datos clínicos (edad, sexo, factores de riesgo como alcohol y tabaco, drogas o medicamentos, comorbilidades, localización, forma, color, tamaño, si es único, múltiple, la dureza de sus bordes, si la lesión es exofítica, ulcerada o

mixta, la consistencia y el período de evolución) e imágenes en una estructura estándar, que permita el almacenamiento de datos y el tratamiento de los mismos.

2. Normalización de datos de entrenamiento, desarrollo de los algoritmos de predicción, creación de los modelos entrenados y desarrollo del predictor, preparado para recibir datos.
3. Creación de un servidor local sencillo que recibe datos e imágenes y devuelve las predicciones correspondientes.
4. Despliegue y activación de una base de datos, usando Firebase de Google (Firestore para datos y Storage para Imágenes).
5. Conexión de la aplicación Android al servidor local de predicciones y a la BBDD de Firestore.
6. Despliegue de una aplicación web, usando HTML y javascript, que obtenga, edite, inserte, actualice y borre datos de la BBDD de Firestore.

El plan de trabajo describe los pasos que se han llevado a cabo para la realización de este proyecto. Durante el desarrollo de este, ha sido necesario profundizar en los aspectos teóricos de los algoritmos de aprendizaje automático, para obtener el más efectivo en cada caso.

La Figura 1 muestra el porcentaje de tiempo empleado en cada tarea respecto al tiempo total empleado. Es decir, a continuación, se muestran las tareas desarrolladas, junto con un indicador numérico que corresponde al porcentaje de tiempo empleado en esa tarea, siendo el 100% el total del tiempo empleado en el desarrollo de este proyecto.

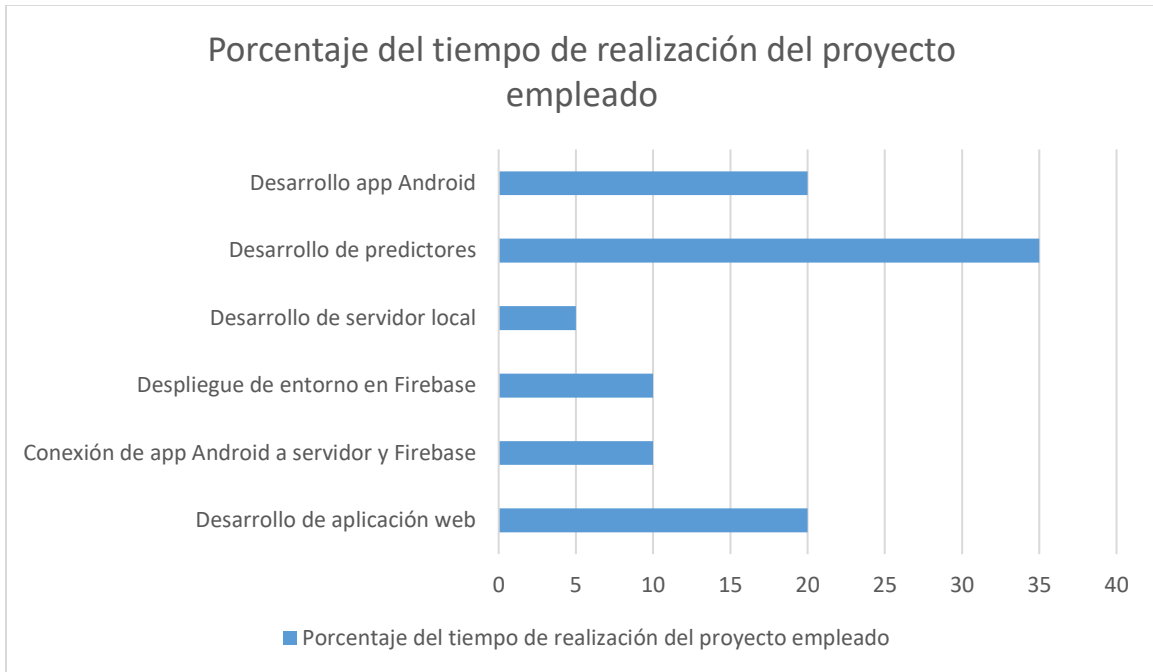


Figura 1. Porcentaje del tiempo empleado en cada tarea.

1.4 Estructura de la memoria.

La presente memoria está estructurada de manera que se pueda explicar de manera clara los procedimientos y los motivos llevados a cabo para desarrollar este proyecto. Esta memoria está dividida en los siguientes capítulos:

- Capítulo 1: Introducción. Se exponen la motivación y los objetivos en el desarrollo del presente proyecto, así como el plan de trabajo seguido y la estructura de la presente memoria.
- Capítulo 2: Estado de la cuestión. Se exponen toda la información necesaria que se ha utilizado en el desarrollo de este proyecto. Se pueden clasificar en 2 grandes apartados, las tecnologías de Inteligencia Artificial y las lesiones de la mucosa oral.
- Capítulo 3: Especificación de requisitos. En este capítulo se exponen los requisitos necesarios para poder desarrollar el proyecto.
- Capítulo 4: Tecnologías utilizadas. Se detallan las tecnologías y herramientas usadas.

- Capítulo 5: Arquitectura y modelo de datos. Se expone la información necesaria a nivel técnico de cómo está estructurado el proyecto y las herramientas informáticas usadas.
- Capítulo 6: Desarrollo del proyecto. En este capítulo se explican los pasos llevados a cabo para desarrollar el proyecto, exponiendo los detalles de cada parte.
- Capítulo 7: Discusión. Se discuten los resultados obtenidos y se realiza una evaluación del proyecto desarrollado, realizando comparativas con otras herramientas similares.
- Capítulo 8: Conclusiones y trabajo futuro. En este capítulo se exponen las conclusiones a las que se ha llegado tras el desarrollo del proyecto, así como el trabajo a futuro para poder añadir al presente proyecto.
- Capítulos 9 y 10: Traducción al inglés del capítulo 1 y el capítulo 8, respectivamente.
- Apéndice: Manual de usuario. En este apéndice se expone un manual de uso para los usuarios de la herramienta desarrollada.

Capítulo 2 - Estado de la cuestión

En este capítulo se tratan los aspectos base sobre los que se ha desarrollado el proyecto, determinando su objetivo y su problemática a resolver.

2.1 . Lesiones de la Mucosa Oral

En esta sección se va a realizar una breve introducción a las lesiones de la mucosa oral, dado que el objetivo del sistema desarrollado consiste en el diagnóstico precoz de las mismas. Dichas lesiones se han clasificado en tres bloques según su gravedad: lesiones benignas, lesiones potencialmente malignas y lesiones malignas. A continuación, se van a describir las principales características de cada una de ellas.

2.2.1. Lesiones de la mucosa oral benignas

Las lesiones de la mucosa oral benignas engloban todos aquellos casos que, si bien pueden asociarse a una molestia o malestar en el paciente, no representan un riesgo importante para la salud de estos. A continuación, enumeraremos y describiremos las lesiones de la mucosa oral benignas que se han utilizado para el aprendizaje de los algoritmos del presente trabajo.

2.2.1.1. Aftas Orales

Las aftas orales o también llamadas estomatitis aftosa recurrente son las lesiones de la mucosa oral más comunes [12]. Las lesiones se presentan comúnmente como úlceras ubicadas en la mucosa oral no queratinizada. Son muy dolorosas y pueden causar problemas al hablar, masticar o al tragar [13]. En función del tamaño y del número de úlceras, se pueden clasificar en menores, mayores o herpetiformes.

No está clara su etiología, pero se han relacionado con alteraciones genéticas, trauma o estrés. También se han asociado a enfermedades sistémicas, deficiencias nutricionales, alergias alimenticias o alteraciones autoinmunes.

La figura 2 muestra un ejemplo de dos aftas orales.



Figura 2. Aftas orales. Imagen cedida por la Prof^a. López-Pintor.

2.2.1.2. Úlceras orales por citomegalovirus

El citomegalovirus es un tipo de infección viral que afecta habitualmente a pacientes inmunosuprimidos e inmunocomprometidos [14]. La manifestación más común de este tipo de virus en el tracto digestivo, incluyendo la mucosa oral, es la aparición de úlceras orales. Normalmente para su tratamiento se utilizan tratamientos antivirales [15].

La figura 3 muestra una úlcera por citomegalovirus



Figura 3. Ulceras orales por citomegalovirus. *Imagen cedida por el Prof. Hernández Vallejo.*

2.2.1.3. Epulis fisurado

El Epulis fisurado es un tumor benigno asociado al uso de dentaduras mal adaptadas, debida a la irritación crónica producida por las prótesis dentales en los tejidos blandos del surco vestibular [16]. El tratamiento indicado para este tipo de lesiones es la escisión quirúrgica con la mejora de la prótesis dental.

La figura 4 muestra un ejemplo de Epulis fisurado.



Figura 4. Epulis fisurado. *Imagen cedida por la Profª. López-Pintor.*

2.2.1.4. Exostosis

La exostosis es un sobrecrecimiento de hueso maxilar que se encuentra bajo la mucosa oral [17]. También es una tumoración benigna. Solo requieren de tratamiento cuando molestan al paciente. Hay una relación entre esta lesión y la edad, siendo más propensa a aparecer a mayor edad [18].

La figura 5 muestra un ejemplo de Exostosis.



Figura 5. Exostosis. Imagen cedida por la Profª. López-Pintor.

2.2.1.5. Fibroma

El fibroma es un tipo de tumor benigno, que por lo general es asintomático y se puede dar en cualquier lugar de la mucosa oral. Uno de los tratamientos más habituales es la extirpación mediante cirugía [19].

La figura 6 muestra un ejemplo de Fibroma.



Figura 6. Fibroma. Imagen cedida por la Profª. López-Pintor.

2.2.1.6. Queratosis friccional

La queratosis friccional es una lesión asociada al roce de baja intensidad continuado. En estos casos, la mucosa oral adquiere un color blanco producto de la defensa del epitelio, produciendo un aumento de la capa de queratina [20].

Las lesiones blancas friccionales son asintomáticas y no se desprenden al raspado. Las ubicaciones más frecuentes de estas lesiones son zonas de roces, espacios edéntulos o zonas de oclusión dentaria.

La figura 7 muestra un ejemplo de una queratosis friccional.



Figura 7. Queratosis friccional. *Imagen cedida por la Profª. López-Pintor.*

2.2.1.7. Leucoedema

El leucoedema es una lesión blanca por acumulación de líquido en la mucosa oral, sobre todo en la mucosa yugal [21]. Estas lesiones son asintomáticas y aparecen más frecuentemente en personas de raza negra, sin tomar predilección por el sexo o la edad [22]. Normalmente desaparecen al estirar la mucosa yugal.

La figura 8 muestra un ejemplo de Leucoedema.



Figura 8. Leucoedema. *Imagen cedida por la Profª. López-Pintor.*

2.2.1.8. Lipoma

El lipoma es un tipo de tumor benigno por acumulación de grasa. Es una de las neoplasias más comunes, aunque no suele presentarse con frecuencia en la cavidad oral [23]. Son más comunes en hombres que en mujeres, y la edad de aparición suele ser en pacientes mayores de 40 años. La mejilla o mucosa yugal es el sitio más común donde se pueden encontrar. El tratamiento más recomendado es la extirpación quirúrgica.

La figura 9 muestra un ejemplo de Lipoma.



Figura 9. Lipoma. *Imagen cedida por el Prof. Hernández Vallejo.*

2.2.1.9. Diapneusia

La diapneusia es un tipo de fibroma relacionado con la succión debido a la presencia de diastemas (separaciones dentales) u otros traumatismos [24]. Las localizaciones más frecuentes son las mejillas, labios o lengua. El tratamiento más efectivo es la extirpación de la lesión y la eliminación del hábito de succión.

La figura 10 muestra un ejemplo de diapneusia.



Figura 10. Diapneusia oral. *Imagen cedida por el Prof. Hernández Vallejo.*

2.2.1.10. Fibroma osificante

El fibroma osificante es un tipo de tumoración benigna formada por tejido óseo y fibroso, que consiste en el aumento de tamaño de la parte afectada. El tipo más común es el fibroma osificante periférico, localizado normalmente en la encía [25].

La lesión puede darse en cualquier grupo de edad, predominando la segunda década de vida. Las lesiones suelen ser únicas, crecen lentamente y suelen generar enrojecimiento y úlceras. Cuando ocurre en zonas situadas entre dientes, estas lesiones pueden provocar la separación de estos.

La figura 11 muestra un ejemplo de fibroma osificante.



Figura 11. Fibroma Osificante. *Imagen cedida por la Profª. López-Pintor.*

2.2.1.11. Osteonecrosis de los maxilares

La osteonecrosis de los maxilares consiste en la necrosis del hueso maxilar debido al uso de fármacos antireabsortivos como los bifosfonatos o el Denosumab. Estas lesiones se dan sobre todo en pacientes con mieloma múltiple y/o metástasis óseas que reciben estos fármacos [26]. La principal causa de esta lesión es la supresión excesiva del recambio óseo.

La figura 12 muestra un ejemplo de Osteonecrosis de los maxilares.



Figura 12. osteonecrosis de los maxilares. *Imagen cedida por la Profª. López-Pintor.*

2.2.1.12. Papiloma

El Virus del Papiloma Humano es uno de los virus más comunes que afecta la mucosa oral [27]. El tratamiento de elección suele ser la extirpación quirúrgica de dichas lesiones.

La figura 13 muestra un ejemplo de Papiloma.



Figura 13. Papiloma. *Imagen cedida por la Profª. López-Pintor.*

2.2.1.13. Granuloma periférico de células gigantes

El granuloma periférico de células gigantes consiste en una tumoración benigna en la que histológicamente se observan células gigantes multinucleadas. Es una lesión hiperplásica reactiva que se origina en el periostio o en el ligamento periodontal debido a irritación local o trauma crónico [28].

Clínicamente, este tipo de lesiones son tumoraciones firmes, pediculadas y que ocasionalmente pueden estar ulceradas. El tratamiento consiste en la extirpación quirúrgica, con una limpieza exhaustiva de la base de la lesión para evitar recidivas.

La figura 14 muestra un ejemplo de granuloma periférico de células gigantes.



Figura 14. Granuloma periférico de células gigantes. *Imagen cedida por el Prof. Hernández Vallejo*

2.2.1.14. Granuloma piogénico

El granuloma piogénico es una lesión que normalmente afecta a la encía, aunque también puede afectar a los labios, la mucosa bucal, la lengua y el paladar entre otros [29]. Se debe habitualmente a irritación crónica. El tratamiento de este tipo de lesión es la extirpación quirúrgica y del agente causal.

La figura 15 muestra un ejemplo de granuloma piogénico.



Figura 15. Granuloma piogénico. *Imagen cedida por la Profª. López-Pintor.*

2.2.1.15. Herpes simple recurrente

El herpes simple recurrente es una lesión común causada por el virus del herpes. Normalmente suele afectar al labio o a la mucosa queratinizada. Suele aparecer en periodos de inmunosupresión, estrés o larga exposición al frío o al calor [30].

La figura 16 muestra un ejemplo de herpes simple recurrente.



Figura 16. Herpes simple recurrente. *Imagen cedida por el Prof. Hernández Vallejo*

2.2.1.16. Tori o Torus

El Tori o Torus es una tumoración benigna ósea [31]. Los tori son asintomáticos y no causan dolor, lo que hace que normalmente sean descubiertos en revisiones odontológicas. La extirpación de los torus no es siempre necesaria, pero se puede contemplar como alternativa a la rehabilitación oral con implantes o prótesis removibles. Suelen aparecer en el rafe medio palatino y en la cara interna mandibular a nivel de los premolares (en este caso de forma bilateral).

La figura 17 muestra un ejemplo de Tori.

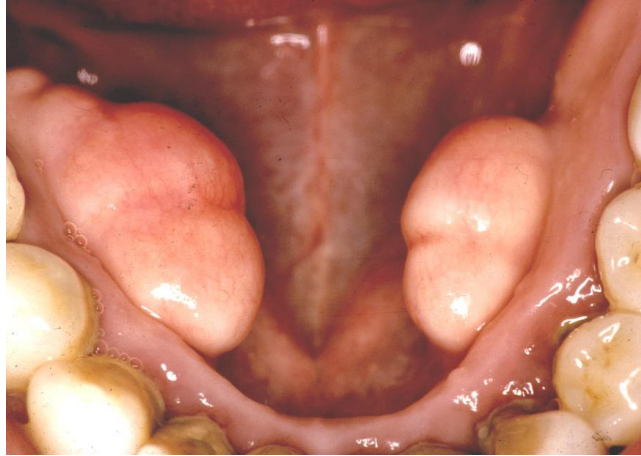


Figura 17. Tori. *Imagen cedida por el Prof. Hernández Vallejo*

2.2.1.17. Lesión traumática

Las lesiones traumáticas son aquellas producidas por mordisqueos, roce de alimentos... Son comunes en la práctica dental a la vez que diversas. Se manifiestan en la mucosa oral como úlceras crónicas o agudas [32]. El tratamiento más efectivo es la eliminación de los factores que causan la lesión.

La figura 18 muestra un ejemplo de lesión traumática.

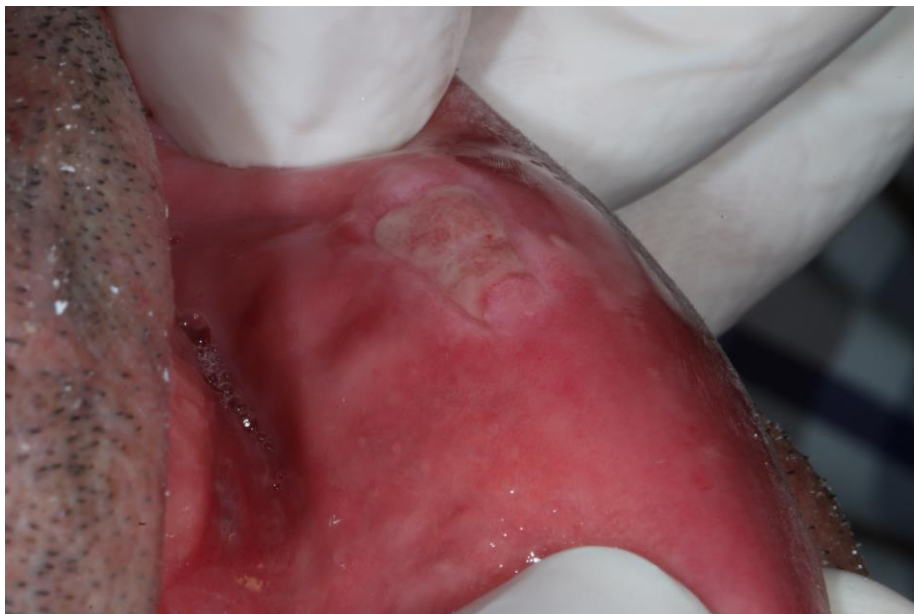


Figura 18. Lesión traumática. *Imagen cedida por la Profª. López-Pintor.*

2.2.2. Lesiones potencialmente malignas

Las lesiones potencialmente malignas son aquellas que no suponen un riesgo para la salud, pero que potencialmente pueden evolucionar al cáncer oral. A continuación, destacaremos las más frecuentemente observadas en la población española.

2.2.2.1. Leucoplasia

La leucoplasia es la lesión potencialmente maligna más común de la mucosa oral [33]. Consiste en una lesión blanca que no se desprende al raspado y que en algunos casos puede evolucionar al cáncer oral. No está clara su etiología, pero se ha relacionado con tabaco y hábitos alimenticios. Las zonas con mayor riesgo de sufrir leucoplasia son la lengua y el suelo de la boca. Su diagnóstico es clínico e histológico. Hoy en día no está claro si el tratamiento de la leucoplasia evita el desarrollo de cáncer oral pero el tratamiento más habitual sigue siendo el quirúrgico, en muchos casos mediante láser de CO2 [34].

Otras características de la Leucoplasia no homogénea son los bordes difusos que puede presentar componentes rojos, blancos y nodulares, mientras que las homogéneas tienen los bordes bien definidos y son blancas en su totalidad. No existen evidencias de irritación crónica y traumática en las áreas afectadas. La lesión no desaparece a raspar y eliminar el tejido, al igual que tampoco es reversible al intentar eliminar las causas traumáticas, por lo que la persistencia de la lesión es notable. [34]

La figura 19 muestra un ejemplo de leucoplasia.



Figura 19. Leucoplasia no homogénea. *Imagen cedida por la Prof^a. López-Pintor.*

2.2.2.3. Leucoplasia verrucosa proliferativa

La leucoplasia verrucosa proliferativa es un tipo de leucoplasia que se caracteriza por ser multifocal (varias lesiones de leucoplasia en el mismo paciente) y progresiva, ya que las placas blancas van aumentando de tamaño y adquieren un aspecto verrucoso o engrosado [35].

Este tipo de leucoplasia se da en mujeres fundamentalmente y es resistente a todo tipo de terapias y las recurrencias tras el tratamiento son frecuentes. Un alto porcentaje de leucoplasias verrugosas proliferativas (entre el 50 y 60%) desarrollan malignización, transformándose en carcinomas. Suele afectar con frecuencia la encía.

Este tipo de lesión, al ser progresiva, prolifera la expansión de los focos de leucoplasia y el aumento de su tamaño, desde un aspecto más plano y pequeño de color blanco hasta un aspecto más verrucoso y de mayor tamaño.

En algunos casos, las formas iniciales son similares a otra lesión denominada Líquen Plano que veremos a continuación, con el consecuente riesgo de que no sea tratado y que la malignidad avance [35].

La figura 20 muestra un ejemplo de leucoplasia verrucosa proliferativa.



Figura 20. Leucoplasia verrucosa proliferativa. *Imagen cedida por la Profª. López-Pintor.*

2.2.2.4. Liquen plano oral

El liquen plano oral es un tipo de lesión inflamatoria crónica muy común [36]. El liquen plano oral puede cursar con lesiones blancas reticulares, lesiones erosivas, atróficas y ulcerosas. Dichas lesiones son bilaterales. El paciente puede tener lesiones en otras mucosas (genital, digestiva...), piel y cuero cabelludo. El diagnóstico es clínico e histológico. El tratamiento se realiza sólo cuando hay lesiones atrófico-erosivas y ulcerosas. Fundamentalmente para su tratamiento se utilizan corticoides tópicos.

La figura 21 muestra un ejemplo de liquen plano oral.



Figura 21. Liquen plano oral. *Imagen cedida por la Profª. López-Pintor.*

2.2.2.5. Reacción liquenoide

Las reacciones liquenoides son lesiones clínicamente similares al liquen plano, con la diferencia de que están causadas por agentes etiológicos sistémicos o tópicos, como alergias a materiales dentales o fármacos sistémicos [37]. Adicionalmente, son unilaterales. El tratamiento consiste en la retirada del agente etiológico que causa la lesión.

La figura 22 muestra un ejemplo de reacción liquenoide.



Figura 22. Reacción liquenoide. *Imagen cedida por el Prof. Hernández Vallejo*

2.2.3. Lesiones malignas

Las lesiones malignas son aquellas tumoraciones que suponen un riesgo para la salud del paciente, poniendo en riesgo la vida de este. Deben ser tratadas para evitar complicaciones en la salud de los pacientes. En este sentido, se recomienda realizar revisiones periódicas para prevenir este tipo de lesiones. Entre estas lesiones malignas cabe destacar el Cáncer oral o carcinoma oral de células escamosas.

2.1.1 Carcinoma oral de células escamosas

El carcinoma oral de células escamosas es el cáncer de carácter maligno más frecuente en la cavidad oral. Existen tres formas clínicas: ulcerosa, exofítica o tumoral o

mixta. Este tipo de tumor maligno, aunque es visible al realizar una exploración oral, no es frecuente que sea detectado en etapas tempranas. En estadio temprano no es doloroso, pero a medida que avanza genera sensaciones de dolor, parestesias, alteraciones de movilidad, dificultad para tragar y hablar [38].

Las localizaciones orales más afectadas son la lengua, los labios y el suelo de la boca [3]. Algunos casos se desarrollan *de novo* pero pueden también derivarse de lesiones orales potencialmente malignas, como la leucoplasia o el liquen plano oral.

La lesión elemental más habitual que caracteriza esta lesión es una úlcera con bordes indurados que no desaparece tras eliminar el factor asociado a las dos semanas. Suele asociarse a adenopatías cervicales, por lo que la palpación del cuello es importante en estos casos [38].

El tratamiento más común consiste en el uso de cirugía resectiva, radioterapia y/o quimioterapia. Su pronóstico es malo siendo la supervivencia aproximadamente del 50% a los 5 años de su diagnóstico y tratamiento [1][2][3]. Además, su tratamiento deja múltiples secuelas estéticas y funcionales.

En muchos casos, el carcinoma oral no se detecta a tiempo y suele estar en estados muy avanzados [1][10]. El tratamiento en estados avanzados de la enfermedad reduce considerablemente la posibilidad de supervivencia, así como la efectividad de los tratamientos, suponiendo un mayor coste y mayores complicaciones [39][40].

Adicionalmente, existen estudios que indican que, tras el diagnóstico y los tratamientos de la enfermedad, se reduce considerablemente la esperanza de vida del paciente, así como su calidad de vida [41][42]

La figura 23 muestra un ejemplo de carcinoma oral de células escamosas.



Figura 23. Carcinoma oral de células escamosas. *Imagen cedida por el Prof. Hernández Vallejo*

2.2 . Herramientas digitales de predicción de diagnóstico

En esta sección se muestran algunos casos en los que se han implementado herramientas informáticas para ayudar a diagnosticar lesiones de la mucosa oral como lesiones orales potencialmente malignas y cáncer oral.

Uno de estos casos [43] valora la comparación entre las lesiones orales potencialmente malignas y el cáncer oral, utilizando redes neuronales para el reconocimiento de imágenes. Esta herramienta consiguió gran eficacia a la hora de clasificar 600 imágenes de casos clínicos, realizando distintas pruebas con varios modelos de redes neuronales y logrando una eficacia superior al 90% en algunos casos. Sin embargo, este proyecto no analizaba los datos clínicos y se centraba sólo en la clasificación de imágenes.

Otro proyecto [44] propuso un enfoque bayesiano como modelo de aprendizaje automático con el objetivo de interpretar y cuantificar las incertidumbres predictivas que puede llegar a haber en los procesos de clasificación, reduciendo así los errores potenciales en la toma de decisiones médicas. Sin embargo, este caso no predice diagnósticos, tan sólo se centra en las incertidumbres predictivas.

Por último, otro estudio [45] mostró el uso de modelos predictivos bayesianos para disipar errores en predicciones de diagnóstico realizadas por IA que usaba redes neuronales y otros modelos. En este caso, las predicciones correspondieron a todo tipo de casos médicos, no se centró en las predicciones orales y, adicionalmente, el proyecto se centró en la disipación de errores y la búsqueda de la efectividad de predicción.

Capítulo 3 - Especificación de requisitos

En este capítulo se van a exponer los requisitos necesarios y la descripción de los actores que intervienen.

3.1 Actores

A continuación, se especifican cuáles son los principales actores de los sistemas, su función y el sistema que utilizan:

- **Usuario clínico:** Este tipo de usuarios son aquellos encargados de usar la aplicación móvil. Principalmente son médicos de atención primaria y clínicos que no están especializados en lesiones orales. Su función es utilizar la aplicación móvil para registrar casos clínicos en la base de datos y poder apoyarse en las predicciones de la IA para derivar al paciente a un especialista.
- **Usuario especialista:** Estos usuarios se encargan de analizar los casos derivados por los usuarios clínicos, usando la aplicación web. Son principalmente, especialistas en lesiones orales y odontólogos. Sus funciones son analizar los casos que se presentan en la aplicación web, ver las predicciones generadas por la IA y determinar su propio diagnóstico, confirmando las predicciones o modificándolas en el caso de que estas sean erróneas.

3.2 Especificación de requisitos

En esta sección se van a detallar los casos de uso definidos para las aplicaciones, los cuales se pueden dividir en los siguientes:

1. Registro de datos en aplicación móvil
2. Análisis de casos en aplicación web

3.2.1 Registro de datos en aplicación móvil

Requisito	Registrar caso clínico	
Identificador	1.1	
Prioridad	Alta	
Precondición	Existe un paciente.	
Descripción	Los usuarios pueden registrar casos clínicos.	
Entrada	Datos clínicos del paciente.	
Salida	NA	
Secuencia normal	Paso	Acción
	1	El usuario accede a la aplicación móvil.
	2	El usuario pulsa la opción "Registrar datos".
	3	El sistema muestra un formulario de datos clínicos.
	4	El usuario rellena todos los campos.
	5	El usuario pulsa el botón "Registrar información".
	6	Se accede a la vista de detalles de imagen.
Postcondición	Se crean los datos clínicos	
Excepciones	Paso	Acción
	Todos	Se pierden los datos si el usuario cierra la aplicación.
Comentarios	NA	
Actores	Usuario clínico.	

Tabla 1. Registrar caso clínico.

Requisito	Registrar fotos y detalles	
Identificador	1.2	
Prioridad	Alta	

Precondición	Existen datos clínicos.	
Descripción	El usuario inserta imágenes del caso y sus respectivos detalles.	
Entrada	Imágenes y datos detallados de la imagen.	
Salida	NA	
Secuencia normal	Paso	Acción
	1	El usuario accede a la vista de "Detalles de imagen".
	2	El usuario toma foto.
	3	El usuario rellena los campos del formulario de detalles.
	4	El usuario pulsa el botón de "Registrar datos".
	5	Se accede a la vista menú.
Postcondición	Se crea la imagen y sus detalles	
Excepciones	Paso	Acción
	Todos	Se pierden los datos si el usuario cierra la aplicación.
	3	El usuario hace tap en la opción de "Insertar otra foto".
Comentarios	Si el usuario hace tap en la opción de "Insertar otra foto", se carga de nuevo la misma vista, para insertar otra imagen y sus detalles.	
Actores	Usuario clínico	

Tabla 2. Registrar fotos y detalles.

Requisito	Predecir diagnóstico
Identificador	1.3
Prioridad	Alta
Precondición	Existe un caso clínico creado.

Descripción	El usuario, con un caso creado, elige la opción de predecir diagnóstico por la IA para obtener el tipo de lesión del paciente.	
Entrada	Caso clínico con todos sus datos e imágenes.	
Salida	Predicción y porcentaje de acierto.	
Secuencia normal	Paso	Acción
	1	El usuario en la vista menú hace tap en "Predicción de cáncer oral".
	2	Se hacen dos peticiones al servidor de predicciones, una petición por modelo de predicción.
	3	Se obtienen predicción de diagnóstico y probabilidad de acierto y se muestran por pantalla.
	4	Se guardan datos en base de datos.
Postcondición	Se obtienen datos de predicción	
Excepciones	Paso	Acción
	2	El servidor no está desplegado.
	3	Faltan datos o imágenes.
	4	No es posible acceder a la base de datos.
Comentarios	NA	
Actores	Usuario clínico	

Tabla 3. Predecir diagnóstico.

Requisito	Guardar datos en base de datos
Identificador	1.4
Prioridad	Alta
Precondición	Caso clínico creado.

Descripción	El usuario guarda el caso clínico en base de datos.	
Entrada	Caso clínico con todos sus datos e imágenes.	
Salida	NA	
Secuencia normal	Paso	Acción
	1	El usuario en la vista menú hace tap en "Guardar datos en base de datos".
	2	Aparece mensaje de condiciones legales obre los datos.
	3	El usuario hace tap en "aceptar".
	4	Los datos se guardan en base de datos.
Postcondición	Se guardan los datos en base de datos	
Excepciones	Paso	Acción
	3	El usuario hace tap en "Rechazar".
	4	No es posible acceder a la base de datos.
Comentarios	NA	
Actores	Usuario clínico.	

Tabla 4. Guardar datos en base de datos.

Requisito	Volver a página principal
Identificador	1.5
Prioridad	Baja
Precondición	Caso clínico creado.
Descripción	El usuario vuelve a la página principal donde puede insertar otro caso clínico.
Entrada	NA

Salida	NA	
Secuencia normal	Paso	Acción
	1	El usuario en la vista menú hace tap en "Guardar datos en base de datos".
	2	El usuario accede a la vista principal.
Postcondición	NA	
Excepciones	Paso	Acción
Comentarios	NA	
Actores	Usuario clínico.	

Tabla 5. Volver a página principal.

3.2.2 Análisis de casos en aplicación web

Requisito	Ver datos	
Identificador	2.1	
Prioridad	Alta	
Precondición	Deben existir datos cargados en la tabla "clinicalDetails" en base de datos.	
Descripción	El usuario ve los datos existentes sin validar.	
Entrada	Casos clínicos.	
Salida	Casos clínicos.	
Secuencia normal	Paso	Acción
	1	El usuario se encuentra en la página principal de la aplicación web y hace scroll.

	2	El usuario puede ver los casos clínicos existentes.
Postcondición	NA	
Excepciones	Paso	Acción
	2	No existen datos en la tabla "clinicalDetails".
Comentarios	NA	
Actores	Usuario especialista.	

Tabla 6. Ver datos.

Requisito	Ver foto	
Identificador	2.2	
Prioridad	Alta	
Precondición	Deben existir datos cargados en la tabla "clinicalDetails" en base de datos.	
Descripción	El usuario elige una foto de un caso clínico y la visualiza.	
Entrada	Caso clínico.	
Salida	Fotografía del caso seleccionado.	
Secuencia normal	Paso	Acción
	1	El usuario está en la vista principal y visualiza un caso clínico.
	2	El usuario hace click en el botón "Ver foto" de un caso.
	3	El usuario accede a la página de la foto y puede verla.
Postcondición	Se visualiza la foto elegida.	
Excepciones	Paso	Acción
	3	No existe foto para el caso seleccionado.

Comentarios	El usuario elige dentro de un caso clínico una foto, y pincha en el botón "Ver foto". Si esta foto no existe, aparece un mensaje informativo comunicando que la imagen no se puede encontrar. Para salir de esta página el usuario debe hacer click en "Volver".
Actores	Usuario especialista.

Tabla 7. Ver foto.

Requisito	Ver predicción	
Identificador	2.3	
Prioridad	Alta	
Precondición	Deben existir datos cargados en la tabla "predictions" en base de datos para el caso concreto.	
Descripción	El usuario elige la opción "Ver predicción" de un caso clínico elegido.	
Entrada	Caso clínico.	
Salida	Predicción de caso clínico.	
Secuencia normal	Paso	Acción
	1	El usuario está en la vista principal y visualiza un caso clínico.
	2	El usuario hace click en el botón "Ver predicción" de un caso.
	3	El usuario accede a la predicción del caso escogido y puede visualizarla.
Postcondición	Se muestra la predicción del caso seleccionado.	
Excepciones	Paso	Acción
	3	No se muestra predicción.

Comentarios	El usuario elige un caso clínico y pincha en el botón "Ver predicción". Si esta predicción no existe, aparece un mensaje informativo comunicando que la predicción no existe. Para salir de esta página el usuario debe hacer click en "Volver".
Actores	Usuario especialista.

Tabla 8. Ver predicción.

Requisito	Editar predicción	
Identificador	2.4	
Prioridad	Alta	
Precondición	Deben existir datos cargados en la tabla "predictions" en base de datos para el caso concreto.	
Descripción	El usuario modifica la predicción y la actualiza en base de datos.	
Entrada	Predicción de caso clínico.	
Salida	Actualización de predicción de caso clínico.	
Secuencia normal	Paso	Acción
	1	El usuario está en la vista de una predicción.
	2	El usuario modifica parámetros en los campos de la predicción.
	3	El usuario hace click en la opción "Editar predicción".
	4	La predicción se actualiza en base de datos.
Postcondición	Predicción actualizada en base de datos	
Excepciones	Paso	Acción
	4	No se puede conectar a la base de datos.

Comentarios	Al hacer click en "Editar predicción", se actualizan los valores de la base de datos por los valores insertados en los campos de la vista.
Actores	Usuario especialista.

Tabla 9. Editar predicción.

Requisito	Eliminar predicción	
Identificador	2.5	
Prioridad	Alta	
Precondición	Deben existir datos cargados en la tabla "predictions" en base de datos para el caso concreto.	
Descripción	El usuario elimina la predicción de la vista en que se encuentra.	
Entrada	Predicción de caso clínico.	
Salida	Eliminación de predicción de caso clínico.	
Secuencia normal	Paso	Acción
	1	El usuario está en la vista de una predicción.
	2	El usuario hace click en la opción "Borrar predicción".
	3	La predicción se elimina de la base de datos.
Postcondición	La predicción se elimina de base de datos y no aparece en la vista al recargar.	
Excepciones	Paso	Acción
	3	Fallo al conectar con la base de datos.
Comentarios	Una vez eliminada la predicción, el caso aparecerá sin predicción. No se puede volver a insertar.	
Actores	Usuario especialista.	

Tabla 10. Eliminar predicción.

Requisito	Eliminar datos	
Identificador	2.6	
Prioridad	Alta	
Precondición	Deben existir datos cargados en la tabla "clinicalDetails" en base de datos.	
Descripción	El usuario elimina el caso clínico, sus imágenes y sus predicciones.	
Entrada	Caso clínico.	
Salida	Caso clínico eliminado.	
Secuencia normal	Paso	Acción
	1	El usuario está en la vista principal y visualiza un caso clínico.
	2	El usuario hace click en el botón "Eliminar" de un caso.
	3	Se elimina el caso y deja de aparecer en la vista principal al recargar página.
Postcondición	El caso clínico deja de existir junto con su predicción.	
Excepciones	Paso	Acción
	3	Fallo al conectar con base de datos.
Comentarios	NA	
Actores	Usuario especialista	

Tabla 11. Eliminar datos.

Requisito	Almacenar datos
Identificador	2.7

Prioridad	Alta	
Precondición	Deben existir datos cargados en la tabla "clinicalDetails" en base de datos	
Descripción	El usuario hace click en "Almacenar" y guarda el caso clínico junto con su predicción verificada en la tabla de datos verificados de la base de datos.	
Entrada	Caso clínico.	
Salida	Caso clínico y predicción validada.	
Secuencia normal	Paso	Acción
	1	El usuario está en la vista principal y visualiza un caso clínico.
	2	El usuario hace click en el botón "Almacenar" de un caso.
	3	El caso clínico, junto con la predicción validada se guardan en la tabla "verifiedData" en base de datos, se elimina el caso y la predicción de base de datos y deja de aparecer en la vista principal al recargar página.
Postcondición	Datos almacenados en "verifiedData" y dejan de mostrarse en la página principal.	
Excepciones	Paso	Acción
	3	Fallo al conectar con base de datos.
Comentarios	NA	
Actores	Usuario especialista	

Tabla 12. Almacenar datos

Capítulo 4 - Tecnologías utilizadas

En este capítulo se van a detallar las tecnologías empleadas en el desarrollo de este proyecto. Este tipo de tecnologías son en su mayoría entornos de desarrollo integrado y frameworks que permiten la construcción del software correspondiente.

A continuación, se muestran las tecnologías usadas clasificadas en función de la parte que ha sido desarrollada.

4.1 Android Studio

Es un entorno de desarrollo integrado diseñado específicamente por Google para desarrollar en el sistema operativo Android. También se ha utilizado su funcionalidad de simulador a la hora de probar la aplicación. Dentro de Android Studio se han habilitado las funcionalidades de la cámara, internet y el acceso al almacenamiento externo. Adicionalmente, se ha habilitado el tráfico de datos para poder comunicarse con el servidor, y se han incluido las librerías de Firebase, Junit, Android Volley y Gson, todas ellas para realizar las correspondientes peticiones y el tratamiento de estas [46].

Se ha utilizado para desarrollar la aplicación web.

4.2 Visual Studio Code

Entorno de desarrollo integrado de Microsoft útil para ser utilizado con cualquier tipo de lenguaje de programación. Se ha empleado este IDE por su facilidad de combinar los dos lenguajes usados en la aplicación web, HTML junto Javascript, y su amplia variedad de librerías disponibles. Se ha empleado la librería "Live Server" para poder desplegar a modo de servidor la aplicación web y para aplicar los cambios de manera inmediata [47].

Esta herramienta se ha utilizado tanto para el desarrollo del servidor local de predicción como para el desarrollo de la aplicación web.

4.3 Python

Se ha empleado el lenguaje de programación Python para el desarrollo de los predictores, ya que este lenguaje es una potente herramienta que cuenta con múltiples frameworks y librerías para poder desarrollar el aprendizaje automático necesario para los predictores [48].

4.4 Jupyter Notebook

Se ha utilizado el IDE de Jupyter Notebook para desarrollar los predictores en primera instancia. Jupyter Notebook permite agrupar conjuntos código de Python para ejecutarlos, sin necesidad de ejecutar todo el código. Esto es útil para poder concretar los cambios a realizar mientras se desarrolla el código [49].

Se ha utilizado para desarrollar los modelos de predicción.

4.5 FlaskAPI

Para el servidor local de predicciones, se ha usado FlaskAPI. FlaskAPI es un framework que permite la construcción de servidores RESTAPI de una manera sencilla [50].

Puede tratar peticiones de tipo REST, como GET, POST y PUT, entre otras. Su rapidez constituye una ventaja para la construcción de servidores sencillos y de una utilidad concreta.

Esta herramienta se ha empleado para crear el servidor de predicciones.

4.6 Tensorflow

Es una biblioteca de código abierto orientada específicamente para el aprendizaje automático en Python. Esta herramienta es muy útil para desarrollar los algoritmos de aprendizaje automático y, posteriormente, de predicción [51].

4.7 Keras

Es una biblioteca de código abierto en Python especializada en los algoritmos de redes neuronales. Se puede utilizar combinadamente con otras librerías, como Tensorflow [52].

4.8 Numpy

Es una biblioteca de Python especializada en funciones matemáticas, así como vectores y matrices multidimensionales [53].

Se ha utilizado en los modelos de predicción y en el servidor de predicción.

4.9 Pandas

Es una biblioteca de Python, escrita como extensión de Numpy, que está especializada en estructuras de datos y operaciones para manipular y analizar datos [54].

Se ha utilizado en los modelos de predicción.

4.10 Modelo Mobilenet_v2

Mobilenet es un modelo de redes neuronales preentrenado y especializado en clasificación de imágenes. Su funcionalidad consiste en separar las imágenes en matrices de bytes, y analizar los valores de estas matrices buscando patrones y ejecutando algoritmos de clasificación. Se ha utilizado en este proyecto la versión de Mobilenet_v2 de Tensorflow [55].

Se ha utilizado en el modelo de predicción de imágenes.

Capítulo 5 - Arquitectura y modelo de datos

En este capítulo se van a tratar las especificaciones acerca de la arquitectura de los sistemas y de cómo están organizados los datos en este proyecto, cómo se tratan, qué tipología tienen y cómo se almacenan.

5.1 Arquitectura

Este proyecto está organizado en varios sistemas que permiten el funcionamiento y el cumplimiento de los objetivos marcados para resolver las problemáticas planteadas en la presente memoria.

Existen dos sistemas principales, los cuales son usados por los profesionales de la salud. El principal, es la aplicación móvil, desarrollada en Android, cuyo objetivo es ser usada por los clínicos (dentistas y médicos de atención primaria). El otro sistema, es la aplicación web, cuyo uso está destinado a los especialistas y odontólogos.

La conexión entre estos dos sistemas se realiza mediante una base de datos, desarrollada en Firebase, mediante la cual los datos se almacenan y pueden ser editados, modificados, eliminados y traspasados dentro de la base de datos.

El funcionamiento de la aplicación móvil consiste en el almacenamiento de datos clínicos e imágenes en la base de datos, mientras que la aplicación web puede consultar, editar, eliminar y traspasar en otras tablas estos datos.

Adicionalmente, existe un servidor local al que sólo tiene acceso la aplicación móvil. Este es el servidor RESTful de predicciones, cuyo funcionamiento consiste recibir peticiones POST en las que se pasan los datos clínicos e imágenes y este se encarga de devolver como resultado una predicción de diagnóstico por cada predictor (imágenes y datos clínicos).

La figura 26 esquematiza el funcionamiento del proyecto.

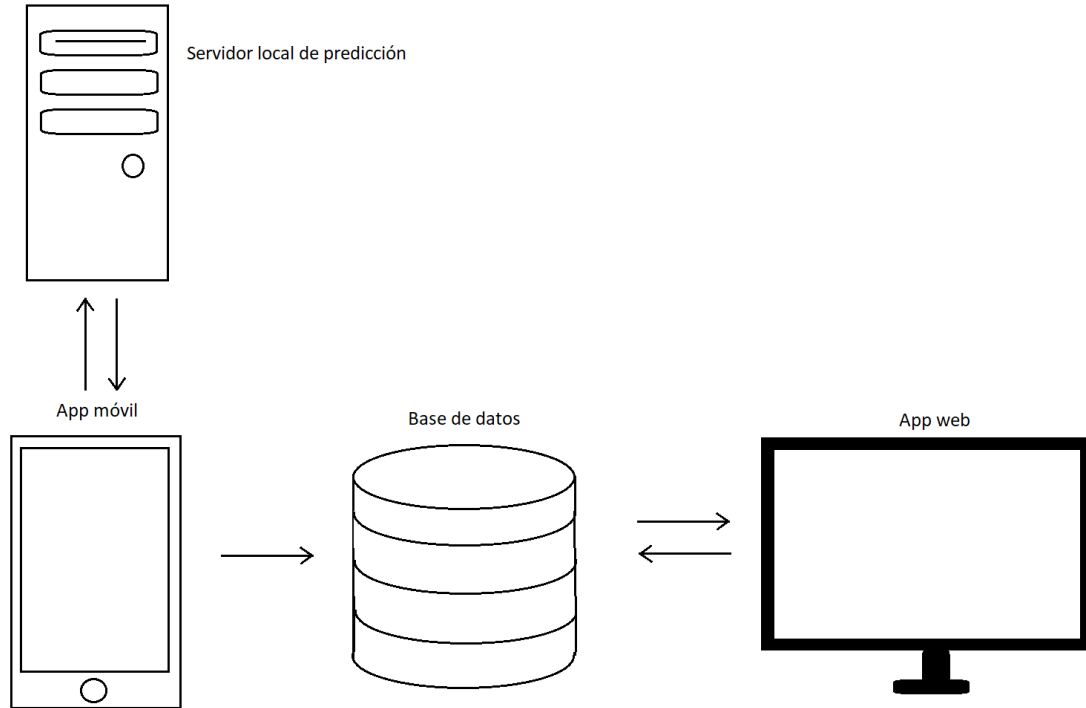


Figura 26. Arquitectura del proyecto

5.2 Modelo de datos

La manera de almacenar los datos tiene unas especificaciones que se aplican a todos los sistemas y son iguales entre sí, de manera que existe un formato único para facilitar la lectura y el traspaso de datos entre sistemas.

Respecto a la base de datos, esta está estructurada de la siguiente manera:

- Para las imágenes se usa Firebase Storage. Esta funcionalidad de Firebase permite almacenar las imágenes que se toman desde el dispositivo móvil. La nomenclatura que tienen estas imágenes permite clasificarlas con los datos clínicos correspondientes. Esta nomenclatura es la siguiente: "Timestamp" – "nº de foto tomada", donde el timestamp corresponde al valor que originalmente se asigna como id a los datos clínicos, y el nº de foto corresponde al número de orden cardinal en el que fue tomada la foto.
- Para los datos clínicos se usa Firebase Storage. Esta herramienta permite almacenar datos en forma de colecciones y en formato JSON. Este

proyecto se ha desarrollado con 3 tablas en la base de datos, estas tablas son las siguientes:

- verifiedData: Tabla que contiene las colecciones correspondientes a los datos clínicos que han sido validados y que tienen un diagnóstico verificado y correcto. En esta tabla, las colecciones tienen como identificador el timestamp correspondiente a la creación de los datos y, las colecciones se componen de los datos clínicos de los pacientes y los detalles de las fotos correspondientes en formato JSON.
- predictions: Tabla que contiene las colecciones correspondientes a las predicciones generadas por la IA sobre los datos clínicos e imágenes recogidas por la aplicación móvil. Las colecciones de esta tabla tienen como identificador los timestamp de los datos clínicos recogidos en la aplicación móvil, y sirve para ser relacionado con estos datos. Los datos pertenecientes a cada colección se componen de un JSON con 3 campos. Estos campos son:
 - Comments: Comentarios del especialista encargado de revisar las predicciones. Este campo se usa para introducir el tipo de lesión identificada. Es decir, este campo se rellena sólo cuando el especialista verificador revisa los datos clínicos y las predicciones.
 - Diagnose: Diagnóstico generado automáticamente por los predictores. Sólo existen 3 valores posibles: "Benigno", "Potencialmente maligno", "Maligno".
 - Percentage: Porcentaje de acierto calculado por los predictores. Este porcentaje viene dado por la propia IA, la cual, al predecir, calcula el porcentaje de acierto que ha tenido al clasificar el caso concreto en función de los casos de prueba con los que ha sido entrenada.

- `clinicalDetails`: Es la tabla en la que se almacenan los datos clínicos recogidos por la aplicación móvil. En esta tabla, las colecciones tienen como identificador el timestamp correspondiente a la creación de los datos y, las colecciones se componen de los datos clínicos de los pacientes y los detalles de las fotos correspondientes en formato JSON.

5.2.1 Modelo de datos en Aplicación Android

Es preciso conocer cómo se recogen en primera instancia los datos clínicos y las imágenes en la aplicación móvil.

Los especialistas inicialmente introducen los datos clínicos del paciente y, posteriormente, toman una fotografía e introducen los datos correspondientes a la fotografía, en los que se detallan las características. Adicionalmente, se pueden insertar más fotos, con sus correspondientes datos asociados a estas imágenes.

La estructura para insertar los datos clínicos en Android consiste en un objeto tipo `Map <String, Object>`, que consiste en un mapa en el que se inserta un `String` como identificador de campo y un `Object` con el valor del campo. Este mapa se compone siempre de los mismos campos, que son los siguientes:

- `Id_timestamp`: Campo en el que se inserta el valor numérico del timestamp en el que se ejecuta la inserción de datos. Este valor es importante, ya que se usa como identificador para el conjunto de datos clínicos que se están tratando.
- `Email`: En este campo, el especialista inserta su email a modo de identificador y de contacto personal en el caso de que fuese necesario.
- `Age`: Valor numérico que indica la edad del paciente.
- `Gender`: Valor cualitativo que indica el género del paciente.
- `Tobacco`: Valor cualitativo que indica si el paciente fuma o no.
- `Number_cigarettes`: Valor numérico que indica el número de cigarrillos que fuma el paciente al día.

- Alcohol: Valor cualitativo que indica si el paciente bebe alcohol o no.
- Number_alcohol: Valor numérico que indica el número de dosis de alcohol que bebe el paciente.
- Drugs: Valor cualitativo que indica los medicamentos o drogas que consume el paciente.
- Comorbidities: Valor cualitativo que indica las comorbilidades o enfermedades del paciente.
- List_Photo_Details: Array de mapas que contienen los datos correspondientes a las imágenes tomadas. El tamaño del array será directamente proporcional a las imágenes tomadas.

Respecto a los detalles de las imágenes tomadas, la estructura se compone de un objeto tipo Map <String,Object>, que consiste en un mapa en el que se inserta un String como identificador de campo y un Object con el valor del campo. Este mapa también tiene siempre de los mismos campos, que son los siguientes:

- Localization: Valor cualitativo que indica la localización de la lesión.
- Shape: Valor cualitativo que indica la morfología de la lesión.
- Colour: Valor cualitativo que indica el color de la lesión.
- Size: Valor cuantitativo que indica el tamaño de la lesión en mm².
- Unique: Valor cualitativo que indica si la lesión es única.
- Multiple: Valor cualitativo que indica si la lesión es múltiple.
- Edges: Valor cualitativo que indica la dureza de los bordes de la lesión.
- Indurated_Edges: Valor cualitativo que indica si los bordes de la lesión están endurecidos.
- Exophytic: Valor cualitativo que indica si la lesión es exofítica.
- Ulcerated: Valor cualitativo que indica si la lesión está ulcerada.
- Mixed: Valor cualitativo que indica si la lesión tiene áreas ulceradas y exofíticas al mismo tiempo.

- Consistency: Valor cualitativo que indica la consistencia de la lesión (blanda o dura).
- Evolution_Time: Valor cuantitativo que indica el tiempo transcurrido de evaluación de la lesión. El valor puede indicar meses o días.
- Pain: Valor cualitativo que indica si la lesión produce dolor.
- Cervical_Lymph_Nodes: Valor cualitativo que indica si el paciente tiene adenopatías (ganglios inflamados) cervicales.

Todos estos datos se agrupan y conforman el conjunto de datos clínicos que engloban tanto los datos de los pacientes como los datos de las lesiones.

En cuanto a las imágenes, una vez se ha tomado la fotografía, se obtiene la uri del archivo creado, que es la localización en la que está guardada temporalmente, y se guardan en un array de Uris, mediante el cual la Uri indica la imagen asociada.

5.2.2 Modelo de Datos en aplicación web

Respecto a la aplicación web, no existen estructuras de datos diseñadas específicamente para esta aplicación. El funcionamiento de la aplicación web es mostrar los datos en función a cómo estén almacenados en Firebase. Es decir, la aplicación web se encarga de extraer los JSON correspondientes a los datos almacenados, y estos se muestran organizados con la misma estructura que en Firebase.

Respecto a su funcionamiento, en la página principal, se muestran todos los datos de la tabla "clinicalDetails" de Firebase. En cada caso clínico, existen los botones de "Ver predicción", "Eliminar" o "Almacenar". También se muestran los datos detallados de cada foto, con un botón de "ver foto" para visualizar la imagen correspondiente.

La manera en la que se pueden visualizar predicciones, imágenes y almacenar datos verificados toma importancia con el id del timestamp, ya que las imágenes y las colecciones toman como nombre e identificador este valor. Es decir, cada caso clínico tendrá una predicción que tenga como id el timestamp del caso clínico. Cada imagen tendrá como nombre el timestamp correspondiente y, adicionalmente, el número de foto para concretar a qué conjunto de datos descriptivos de la imagen corresponde. Adicionalmente, al eliminar datos, se eliminan todas las colecciones e imágenes que

tengan ese timestamp. De la misma manera, al almacenar datos verificados, se crea una nueva colección en la tabla "verifiedData" con los valores correspondientes y se eliminan de las demás tablas, exceptuando las imágenes, que no se eliminan.

Capítulo 6 - Desarrollo del proyecto

En este capítulo se describen la funcionalidad de la herramienta desarrollada, así como las decisiones tomadas para ello.

6.1 Descripción de los datos de entrenamiento

El conjunto de datos iniciales proporcionados se compone de un Excel en el que se exponen los datos y características de 161 registros correspondientes a diferentes lesiones de la mucosa oral junto a un conjunto de 218 imágenes correspondientes a los 161 registros del Excel.

La razón por la que existen más imágenes que registros en el Excel es debido a que se contempla la posibilidad de que un mismo caso pueda tener asignadas varias imágenes, ya que algunas de las lesiones pueden ser múltiples, como es el caso por ejemplo del liquen plano oral. Esta razón se ha tenido en cuenta a la hora de desarrollar la aplicación móvil, haciendo posible que un caso pueda tener una o más fotografías asignadas, con el objetivo de aumentar la eficacia al diagnosticar una lesión.

Los registros aportados en Excel se componen de los siguientes campos (en inglés):

1. Patient code: Clasificación del diagnóstico y el número de la entrada a la tabla. Por ejemplo: Fibroma 1, Squamous cell carcinoma 7. Si hay varias imágenes del mismo caso por ejemplo en una entidad que se llama liquen plano oral (Oral Lichen Planus) se denominan Oral Lichen Planus 1a, Oral Lichen Planus 1b...
2. Age: Edad del paciente
3. Gender: Sexo del paciente. Hay 2 casos: M=male; F=female
4. Tobacco: Variable que indica si el paciente fuma. Hay 2 posibles valores: Yes/No.
5. Number cigarettes/day: Variable que indica el número de cigarrillos que fuma el paciente al día.

6. Alcohol: Variable que indica si el paciente bebe alcohol. Hay 2 posibles valores: Yes/No.
7. Number of doses of alcohol/day: Variable que indica el número de dosis de alcohol que bebe el paciente al día.
8. Drugs: Variable que recoge los fármacos que habitualmente toma el paciente.
9. Comorbidities: Variable que registra las enfermedades sistémicas del paciente.
10. Localization: Localización oral de la lesión (encía, cara dorsal de la lengua, cara lateral de la lengua, suelo de la boca, cara interna de labio, cara externa de labio...). Hay hasta 8 valores.
11. Shape: Morfología de la lesión. Hay hasta 9 valores.
12. Colour: Color de la lesión. Hay hasta 5 valores.
13. Size: Tamaño de la lesión en mm².
14. Unique: Valor que indica si la lesión es única: Hay 2 valores: Yes/no.
15. Multiple: Valor que indica si la lesión es múltiple: Hay 2 valores: Yes/no.
16. Edges: Valor que indica la dureza de los bordes de la lesión: Hay 2 valores: hard/soft.
17. Exophytic: Valor que indica si la lesión es exofítica: Hay 2 valores: yes/no.
18. Ulcerated: Valor que indica si la lesión está ulcerada: Hay 2 valores: yes/no.
19. Mixed: Valor que indica si la lesión es exofítica y además está ulcerada. Hay 2 valores: yes/no.
20. Consistency: Valor que indica si la consistencia de la lesión: Hay 2 valores: hard/soft.
21. Evolution time: Valor que indica si la evolución en el tiempo de la lesión. Se utilizan valores como days/months.

Estos campos pueden dividirse en 2 grandes grupos según a qué hacen referencia:

- Campos relativos a los datos personales del paciente. Campos del 1 al 9.
- Campos relativos a la lesión, relacionados con la imagen tomada. Campos del 10 al 22.

Esta división en grupos se ha usado para el registro de datos en la aplicación móvil.

Los datos proporcionados incluyen las siguientes lesiones (descritas en el apartado 2.2 de la presente memoria):

- Lesiones benignas:
 - Aphthae
 - Cytomegalovirus infection
 - Epulis fissuratum
 - Exostoses
 - Fibroma
 - Frictional queratosis
 - Leukoedema
 - Lipoma
 - Oral diaphneusia-fibroma
 - Ossifying fibroma
 - Osteonecrosis of the jaws
 - Papilloma
 - Peripheral giant cell granuloma
 - Pyogenic granuloma
 - Recurrent herpes simplex
 - Tori

- Traumatic lesion
- Lesiones potencialmente malignas
 - Leukoplakia
 - Leukoplakia candidiasis
 - Proliferative verrucous leukoplakia
 - Lichen planus
 - Lichenoid reaction
- Lesiones malignas
 - Abrikossoff's tumor
 - Squamous cell carcinoma

6.2 Desarrollo de los modelos de predicción.

En esta sección, se exponen los dos modelos de predicción utilizados en el proyecto, usados para generar, mediante IA, predicciones de diagnóstico acerca de las imágenes y de los datos clínicos tomados en la aplicación por los usuarios de esta. La razón por la que hay dos predictores es que uno está especializado y entrenado para reconocer imágenes y el otro está entrenado para reconocer patrones en los campos de los datos clínicos insertados.

6.2.1 Desarrollo de predictor de imágenes

Para el predictor de imágenes se ha usado un modelo de redes neuronales invertidas, el mobilenetv2, caracterizado por su alta precisión en clasificación de imágenes mediante patrones.

Para ello, se ha usado la librería ImageDataGenerator, perteneciente a tensorflow.keras.preprocessing.image, para configurar la disposición de las imágenes usadas para el entrenamiento y para la validación, estableciendo parámetros para

normalizar todas las imágenes. Se ha establecido una relación de 80% de las imágenes de prueba para entrenamiento y un 20% para validación.

También se han usado las librerías de tensorflow y tensorflow_hub, que han permitido la utilización de sus funciones para extraer, construir, configurar y ejecutar el modelo de entrenamiento. Mediante la función KeraLayer, se ha extraído el modelo preentrenado Mobilenet_v2, un modelo de redes neuronales especializado en clasificación de imágenes. Posteriormente, a partir de este modelo, se ha construido el modelo específico de este proyecto, estableciendo el orden secuencial y la profundidad de las capas, configurando el optimizador 'Adam' para la compilación, una pérdida de entropía categórica y unas métricas basadas en precisión.

Por último, se ha ejecutado el modelo con 50 épocas en las que la precisión de entrenamiento llega a alcanzar el 85% y la pérdida es inferior a 0,4. Sin embargo, la precisión y la pérdida de la validación muestra unos valores irregulares que oscilan entre 40% y 60% para la precisión y de entre 0,8 y 1,2 para la pérdida. Estos valores en la etapa de validación son debidos al pequeño número de ejemplos que existen.

Este predictor se ha desarrollado entrenando 218 imágenes de prueba. Este reducido número de casos por cada categoría muestra que el predictor no es lo suficientemente eficiente para generar predicciones fiables, ya que para ello se necesitan más casos de ejemplo que puedan usarse tanto en la validación como en el entrenamiento.

Adicionalmente, es necesario tener en cuenta que se agruparon los distintos tipos de lesiones en 3 grupos (benignos, potencialmente malignos y malignos). Dificultando aún más la predicción, ya que, aunque pertenezcan al mismo grupo, las imágenes no son similares entre sí.

6.2.2 Desarrollo de predictor de texto

El predictor de texto usa la librería de Tensorflow, Keras, que incluye múltiples tareas de aprendizaje automático usando redes neuronales de alta capacidad. Keras también es capaz de encontrar patrones con alta eficiencia en conjuntos de datos mixtos, que incluyen tanto valores cuantitativos como cualitativos.

Este predictor se ha desarrollado con los 161 registros disponibles en el Excel de prueba proporcionado, teniendo el entrenamiento de texto peores resultados que el predictor de imágenes en la pérdida y la precisión, siendo estos, resultados muy malos. Esto es debido, al igual que con las imágenes, al reducido número de casos de prueba respecto al número de lesiones propicia un bajo rendimiento en el entrenamiento. Adicionalmente, hay que destacar el gran número de campos de valores existentes que, al ser agrupados los casos según la gravedad de la lesión, son muy distintos entre sí, lo que dificulta aún más obtener resultados precisos.

Previo a la construcción del modelo de entrenamiento, se han obtenido los datos de prueba y se han normalizado en función de sus valores, con el objetivo de que todos los campos estuviesen normalizados entre sí para facilitar el entrenamiento. Posteriormente se ha construido un modelo con Keras, con unas densidades de capas de 64 y de 1. Se ha utilizado el optimizador 'Adam' y se han ejecutado 10 épocas, ya que con más épocas el resultado no varía.

Los resultados muestran una pérdida negativa y una precisión muy baja (inferior al 45%). Debido a la problemática comentada anteriormente sobre la complejidad y el escaso número de datos disponibles.

También, es preciso destacar que los datos usados para entrenar el modelo debieron ser primeramente separados entre valores numéricos y valores de texto, para luego ser normalizados antes del entrenamiento.

6.3 Desarrollo de la aplicación móvil

La aplicación móvil está desarrollada en Android, utilizando el framework Android Studio. Es una aplicación cuyo objetivo es que los especialistas recojan los casos clínicos que desean evaluar y tomen las imágenes y los datos correspondientes de las lesiones que están analizando. Adicionalmente, el especialista cuenta con la opción de predecir el diagnóstico, donde se ejecuta el modelo de predicción desarrollado con Inteligencia Artificial, y de guardar los datos tomados con el objetivo de que sean revisados y validados por un especialista.

La aplicación se compone de varias vistas cuyo objetivo es facilitar el proceso de diagnóstico de los especialistas.

6.3.1 Vista principal

La figura 27 muestra la pantalla principal

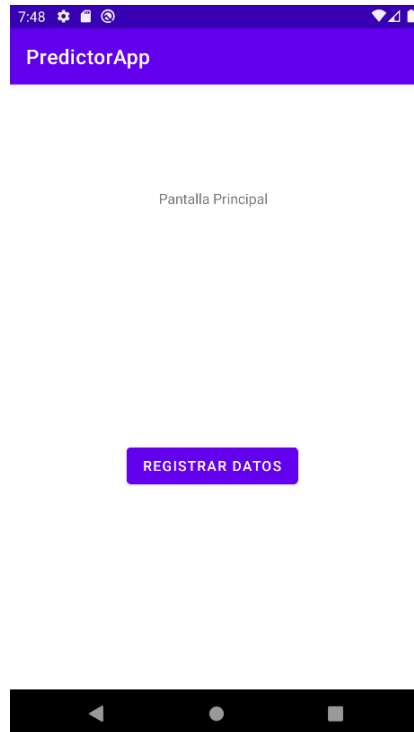


Figura 27. Vista principal

La vista principal tiene una interfaz sencilla, su única funcionalidad es el botón existente que permite acceder a la pantalla de inserción de datos.

6.3.2 Vista de Detalles clínicos

La funcionalidad de esta vista es poder registrar los datos clínicos del paciente, para así tener referencias de sus características físicas, sus hábitos y las medicaciones que toma. Los datos que se recogen de la vista se guardan en un HashMap en el que se establece la relación clave-valor para cada uno de los campos. Posteriormente, este HashMap se almacena en una variable global que usa la aplicación para mantener temporalmente los datos clínicos mientras el usuario navega por la aplicación. Existe

también un campo booleano que impide que los valores sean guardados si hay valores vacíos o no se han respondido correctamente los campos spinner.

La figura 28 muestra la vista de Detalles Clínicos.

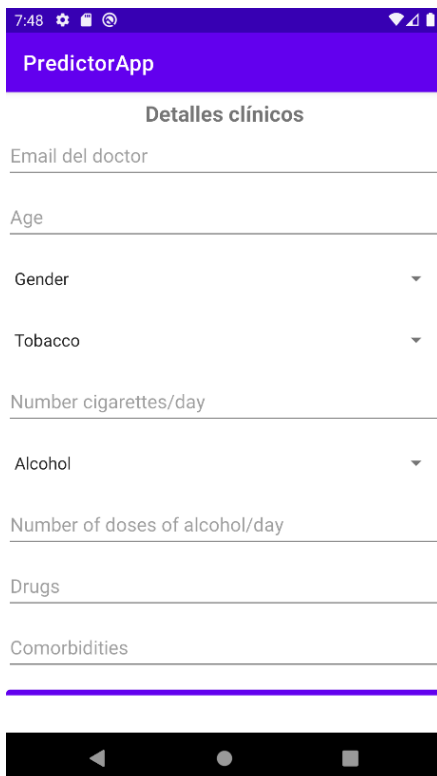


Figura 28. Vista detalles clínicos.

Esta vista contiene un formulario con los campos correspondientes al grupo de datos personales del paciente. Adicionalmente, cuenta con el campo Email del doctor, cuyo objetivo es identificar al profesional que toma los datos para que así se vea reflejado al insertar los datos en la Base de Datos. Y poder dar feedback si fuera necesario.

Los campos con 2 únicos valores se han desarrollado con spinners selectores que no dan opción a insertar otros datos que no sean los preestablecidos. Estos campos con spinner tienen como valor por defecto el nombre del campo al que hacen referencia. Estos campos deben tener uno de los valores predefinidos para poder acceder a la siguiente vista, ya que existe una restricción que impide cambiar de vista si no se insertan los valores correctos.

Adicionalmente, existe un botón que permite confirmar los datos insertados y acceder a la siguiente vista.

La figura 29 muestra en el código cómo se crea el HashMap para poder guardar los datos y su posterior almacenamiento en la variable global.

```
photoDetails = new <Map>ArrayList();

if (send) {
    clinicalDetails = new HashMap<>();
    clinicalDetails.put( k "id_timestamp", timeStamp);
    clinicalDetails.put( k "email", valor_email);
    clinicalDetails.put( k "age", valor_age_int);
    clinicalDetails.put( k "gender", valor_gender);
    clinicalDetails.put( k "tobacco", valor_tobacco);
    clinicalDetails.put( k "number_cigarettes", valor_number_cigarettes_int);
    clinicalDetails.put( k "alcohol", valor_alcohol);
    clinicalDetails.put( k "number_alcohol", valor_number_alcohol_int);
    clinicalDetails.put( k "drugs", valor_drugs_string);
    clinicalDetails.put( k "comorbidities", valor_comorbidities_string);
    clinicalDetails.put( k "list_photo_details", photoDetails);

    ((GlobalData) this.getApplication()).setClinicalDetails(clinicalDetails);

    startActivity(i);
}
```

Figura 29. Funcionalidad de la Vista de detalles clínicos.

6.3.3 Vista de detalles de la foto

En esta vista, la funcionalidad principal es tomar fotos y rellenar campos con datos descriptivos, de manera que se completen los datos referentes a las lesiones. Existe la opción de almacenar varias fotografías con sus respectivos datos, almacenándose todos ellos en la variable global HashMap. En esta vista existe también un booleano que impide procesar los datos si existe algún valor nulo o incorrecto para los spinner.

Esta vista se caracteriza por las funciones empleadas para la toma de fotografías, entre las que se encuentran la propia función de tomar la fotografía usando la cámara del teléfono, la función de crear el archivo de imagen, la función de cambiar el formato

de imagen y la de obtener la uri. La figura 30 muestra la función de tomar foto que se usa.

```
static final int REQUEST_TAKE_PHOTO = 1;
public void tomarFoto(View view) {
    Intent takePictureIntent = new Intent(MediaStore.ACTION_IMAGE_CAPTURE);
    // Ensure that there's a camera activity to handle the intent
    if (takePictureIntent.resolveActivity(getPackageManager()) != null) {
        // Create the File where the photo should go
        File photoFile = null;
        try {
            photoFile = createImageFile();
        } catch (IOException ex) {
            // Error occurred while creating the File
        }
        // Continue only if the File was successfully created
        if (photoFile != null) {
            Uri photoURI = FileProvider.getUriForFile(context, this,
                authority: "com.rodrigo.lagartera.android.fileprovider",
                photoFile);

            takePictureIntent.putExtra(MediaStore.EXTRA_OUTPUT, photoURI);
            startActivityForResult(takePictureIntent, REQUEST_TAKE_PHOTO);
        }
    }
}
```

Figura 30. Función tomarFoto.

Las imágenes 31 y 32 muestran la vista de detalles de la foto, ofreciendo en la figura 31 la parte superior de tomar fotos y en la figura 32 la parte inferior de recogida de datos clínicos.

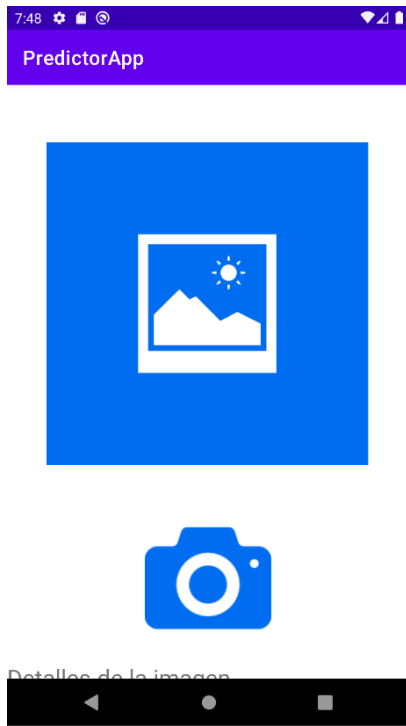


Figura 31. Vista detalles de foto.

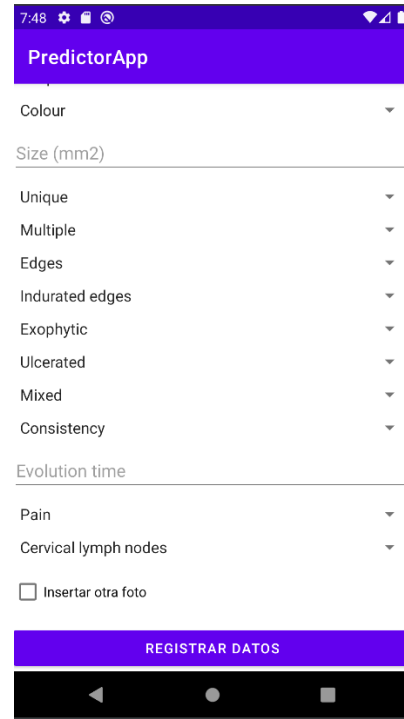


Figura 32. Vista detalles de foto.

Esta vista es la encargada de tomar las fotografías de las lesiones, así como rellenar los datos correspondientes al grupo de detalles de la foto.

Al igual que la vista anterior existen campos con valores fijos, que vienen dados al desplegar la vista de los spinners. De la misma manera, existen restricciones para evitar que los campos con spinners se envíen con el nombre del campo en lugar con uno de sus valores predeterminados.

La principal característica de esta vista es la existencia de un campo check para insertar otra foto, cuya funcionalidad es que se vuelva a cargar la misma vista para insertar otra foto con sus detalles correspondientes.

Finalmente, existe un botón para registrar datos cuya funcionalidad es guardar los datos insertados y, dependiendo de si el botón check está seleccionado, volver a cargar la misma vista para insertar otra foto o cargar la siguiente vista.

6.3.4 Vista menú

La funcionalidad de esta vista tiene como objetivo el tratamiento de los datos de la variable global HashMap, ya sean para ser utilizados en el predictor o para ser guardados en la nube.

El funcionamiento del predictor consiste realizar dos peticiones POST al servidor de predicciones en el que se le pasan, por un lado, las imágenes tomadas al predictor de imágenes y, por otro, los datos clínicos al predictor de texto. Al ser dos predictores, se devuelven 2 resultados con sus predicciones y sus porcentajes de aciertos, por lo que se realiza la media aritmética para obtener un único resultado final. La figura 33 muestra una imagen de una parte del código usado en la función de llamada a los predictores.

```
public void prediccionCancer (View view) throws JSONException {
    String url = "http://192.168.1.35:80/imagePredict";
    queue = Volley.newRequestQueue( context: this);
    Map<String, Object> currentPhoto;
    String img="", timeStamp="";
    JSONArray jsonArray = new JSONArray();

    clinicalDetails = ((GlobalData) this.getApplication()).getClinicalDetails();
    timeStamp = (String) clinicalDetails.get("id_timestamp");
    photoDetails = (ArrayList) clinicalDetails.get("list_photo_details");
    for (int i=0; i< photoDetails.size(); i++){
        currentPhoto = (Map<String, Object>) photoDetails.get(i);
        img = (String) currentPhoto.get("img");
        JSONObject jsonImg = new JSONObject();
        jsonImg.put( name: "img", img);
        jsonArray.put(jsonImg);
    }
    JSONObject jsonBody = new JSONObject();
    jsonBody.put( name: "imgArray", jsonArray);

    String finalTimeStamp = timeStamp;
    JsonObjectRequest jsonObjectRequest = new JsonObjectRequest(Request.Method.POST, url,
        @Override
        public void onResponse(JSONObject response) {
            Log.i( tag: "LOG_VOLLEY", response.toString());
            double prediccion, porcentaje;
            String diagnose = null;
            String comentarios = "";
        }
    );
}
```

Figura 33. Parte del código de la función prediccionCancer.

Por otra parte, la funcionalidad del guardado de datos toma los datos de la variable global HashMap y realiza una petición a Firebase para almacenar los datos en la tabla "clinicalDetails". Antes de esto, existe la funcionalidad de aceptar las políticas de tratamiento de datos por parte del usuario. La figura 34 muestra parte de la funcionalidad de la inserción en Firebase y las condiciones que debe aceptar el usuario.

```
public void guardarDatos(View view){
    Button aceptar, rechazar;
    popupLegal.setContentView(R.layout.popup_legal_datos);
    aceptar=(Button) popupLegal.findViewById(R.id.aceptarLegal);
    rechazar=(Button) popupLegal.findViewById(R.id.rechazarLegal);
    clinicalDetails = ((GlobalData) this.getApplication()).getClinicalDetails();
    String timeStamp = (String) clinicalDetails.get("id_timestamp");

    arrayUris = ((GlobalData) this.getApplication()).getArrayImages();

    rechazar.setOnClickListener(new View.OnClickListener() {
        @Override
        public void onClick(View view) { popupLegal.dismiss(); }
    });

    aceptar.setOnClickListener(new View.OnClickListener() {
        @Override
        public void onClick(View view) {
            //Guardar datos
            db.collection( collectionPath: "clinicalDetails").document(timeStamp).set(clinicalDetails)
            .addOnSuccessListener(new OnSuccessListener<Void>() {
                @Override
                public void onSuccess(Void aVoid) {
                    Log.d( tag: "SUCCESS", msg: "DocumentSnapshot added with ID: " + timeStamp);
                }
            })
            .addOnFailureListener(new OnFailureListener() {
```

Figura 34. Código de la función guardarDatos

La figura 35 muestra la vista del menú.

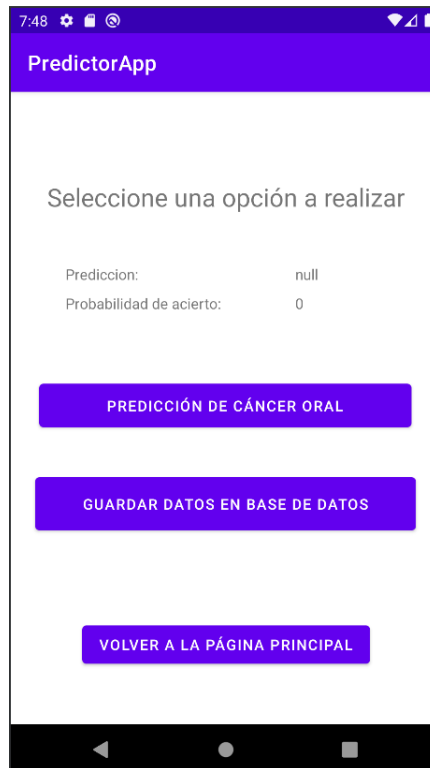


Figura 35. Vista menú

Esta vista muestra el menú de las opciones disponibles una vez insertados los datos correspondientes a la lesión. También existen en la vista los parámetros de los resultados de la predicción. Al inicio aparecen con valores nulos, ya que no se ha realizado la predicción, rellenándose cuando se pulsa el botón correspondiente. Existen 3 botones con las opciones existentes:

- Predicción de cáncer oral: Botón que ejecuta una llamada al servidor de predicciones y obtiene una predicción y un porcentaje de acierto. Estos resultados se muestran en la vista del menú, en los espacios habilitados. Hay 3 posibles tipos de predicciones: Benigno, Potencialmente maligno y maligno.
- Guardar datos en base de datos: Botón que ejecuta la llamada y guarda los datos insertados de la lesión en la base de datos de Firebase. Antes de guardar los datos, aparece un mensaje de advertencia sobre las condiciones del tratamiento de datos y su regulación. Si se aceptan las condiciones, los datos se guardan, si se cancelan, no se guardan.

- Volver a la página principal: Botón que no realiza ninguna acción, vuelve la vista principal para insertar de nuevo datos.

6.3.5 Variables globales HashMap

Los datos insertados se estructuran en un HashMap, cuyos valores se corresponden a los datos personales del paciente, que a su vez incluyen una lista con varios HashMap correspondientes a los detalles de las fotos tomadas. Este HashMap también incluye un campo Timestamp que actúa como identificador a la hora de insertar los datos en Firebase.

Existe un activity que define estos valores, que tienen el objetivo de poder almacenar temporalmente los datos que se van insertando. De la misma manera existen las variables para una lista de Uris, correspondientes a las Uris de las imágenes que se van tomando.

6.4 Servidor Python para predictores y conexión con aplicación móvil

El servidor Python de predictores consiste en un servicio RESTful local desarrollado con Flask, un framework de Python.

El servidor se compone de dos rutas, una para la predicción de imágenes y otra para la de texto. Ambas rutas funcionan como llamadas POST.

En la predicción de imágenes, se recibe un array de imágenes en formato base64, correspondientes a las imágenes tomadas en un caso concreto, y el predictor se encarga de decodificar cada imagen en formato array de floats. Posteriormente, se usa el modelo entrenado anteriormente, guardado en una carpeta local, y se ejecuta la predicción usando ese modelo entrenado. La predicción devuelve un diagnóstico y un porcentaje de acierto y, por último, se realiza la media de diagnóstico y porcentajes de todas las imágenes enviadas en el array, obteniendo así el resultado final.

En el predictor de texto, se reciben los datos personales del paciente junto con una lista de los datos correspondientes a los detalles de cada una de las imágenes. El funcionamiento del predictor de texto es similar al de las imágenes. Primero, se rescata el modelo entrenado guardado en local. Después, se ejecuta la función de predicción

para cada elemento de la lista. Por último, se realizan las medias de los diagnósticos y el porcentaje de acierto y se devuelve el resultado.

Antes de realizar la conexión con el servidor local, es necesario, desde Android, habilitar el tráfico de datos en la parte de Manifest mediante, insertando el flag de `android:usesCleartextTraffic` a "true".

Desde la aplicación móvil, se realiza una llamada a cada ruta del servidor local para obtener los resultados de las predicciones de los datos del caso registrado.

En la propia llamada de la aplicación móvil, se obtienen dos diagnósticos y dos porcentajes, uno de las imágenes y otro del texto. Para determinar el resultado final, se realiza la media de ambos.

Por último, los resultados finales se muestran en la vista del menú y, estos resultados, se guardan en la base de datos de Firebase, con el timestamp de los datos como identificador.

6.5 Despliegue de base de datos en Firebase y conexión con aplicación móvil

Firebase es una aplicación de Google Console Cloud que permite almacenar datos en la nube. Tiene un plan gratuito que permite usar hasta un límite mínimo de almacenamiento. Firebase, además, ofrece las herramientas necesarias para desarrolladores, permitiendo agregar cualquier tipo de aplicaciones, ya sean web o móviles.

Para el desarrollo de este proyecto se han utilizado las funcionalidades de Firestore Database y Storage de Firebase.

Firestore database permite almacenar colecciones de datos en formato JSON. Cada colección tiene un identificador que está relacionado con un grupo de datos. Estos grupos de datos son heterogéneos y pueden tener cualquier longitud. Se ha usado Firestore database para almacenar los datos correspondientes a los registros de texto insertados, para las predicciones y para los casos de ejemplo.

Storage permite almacenar elementos multimedia. En este proyecto se ha usado para almacenar las imágenes tomadas desde la aplicación, teniendo como nombre

cada elemento el timestamp correspondiente seguido de un número que indica el número de foto correspondiente a ese timestamp.

Este proyecto ha habilitado en Firebase dos accesos a aplicaciones, uno a la aplicación móvil y otro a la aplicación web.

La aplicación móvil tiene dos tipos de conexión con Firebase.

Uno se ejecuta al llevar a cabo la función de predicción. En este caso, se realizan las llamadas correspondientes al servidor de predicciones local, y cuando se obtienen los resultados finales, el diagnóstico y el porcentaje de acierto, se realiza una llamada a Firebase para guardar la predicción en la base de datos, en la colección "predictions". El identificador de la predicción es el timestamp de los datos procesados.

La otra llamada a Firebase se usa para guardar los datos registrados en la base de datos. Una vez el usuario acepta las condiciones del tratamiento de datos, se realiza una llamada a la colección de "clinicalDetails", donde quedan guardados todos los datos registrados por el especialista.

6.6 Desarrollo de la aplicación web

La aplicación web para administradores tiene como objetivo visualizar, eliminar, corregir y validar los datos registrados por los especialistas que han usado la aplicación. La funcionalidad de la aplicación web consiste en mostrar en la página principal los datos correspondientes a la tabla "clinicalDetails". Se muestran en la vista principal todos los casos que existen que aún no han sido validados y permite al usuario ver la predicción de ese caso concreto, ver su foto, eliminar el caso o verificarlo.

6.6.1 Página principal.

La página principal muestra todos los datos que no han sido validados aún, ofreciendo como dato identificador la fecha en la que se registró. Primero se muestran los datos de los pacientes y, posteriormente, el número de foto y los detalles de esa foto.

En esta página no se muestran las fotos. Para poder visualizarlas hay que hacer uso de los botones "Ver foto" que aparecen en los datos. Si no existe foto disponible, nos aparecerá un mensaje indicando que la foto no se puede visualizar.

El botón “Eliminar” elimina el registro mostrado.

El botón “Ver predicción” nos mostrará la predicción calculada para ese registro en una página nueva.

El botón “Almacenar” obtiene los datos existentes, la predicción junto con el diagnóstico del verificador y los almacena en la colección “verifiedData”, la colección en la que están los datos validados. Después de almacenar los datos, los elimina de las colecciones de “clinicalDetails” y “predictions”, ya que pasan a ser datos verificados.

La figura 36 muestra la vista de esta página, mientras que la figura 37 muestra el código parcial en el que se obtienen los datos de Firebase para mostrarlos en la pantalla. Estos datos se muestran automáticamente al cargar la pantalla.



Figura 36. Vista de la página principal

```

window.addEventListener('DOMContentLoaded', async() =>{
  onGetData((clinicalDetails) => {
    let html = ''
    clinicalDetails.forEach(doc => {
      const clinicalDetail = doc.data();
      const photoDetails = clinicalDetail.list_photo_details;

      html += `
        <div style="margin-left: 25%; margin-right: 25%; margin-bottom: 3%; padding:1%; border: thin solid #ccc;">
          <h3>Fecha: ${timeConverter(clinicalDetail.id_timestamp)}</h3>
          <h4>Email doctor: ${clinicalDetail.email}</h4>
          <p>Edad: ${clinicalDetail.age}</p>
          <p>Género: ${clinicalDetail.gender}</p>
          <p>Tabaco: ${clinicalDetail.tobacco}</p>
          <p>Numero de cigarrillos al dia: ${clinicalDetail.number_cigarettes}</p>
          <p>Alcohol: ${clinicalDetail.alcohol}</p>
          <p>Numero de dosis de alcohol: ${clinicalDetail.number_alcohol}</p>
          <p>Drogas: ${clinicalDetail.drugs}</p>
          <p>Comorbilidades: ${clinicalDetail.comorbidities}</p>
          <h4>Detalles de las fotos: <h4>

        `
    });

    let claves = Object.keys(photoDetails);
    for(let i=0; i< claves.length; i++){
      let clave = claves[i];
      const photoDetail = photoDetails[clave];
      const img = atob(photoDetail.img);
    }
  });
});

```

Figura 37. Fragmento de código de la página de la vista principal.

6.6.2 Predicción

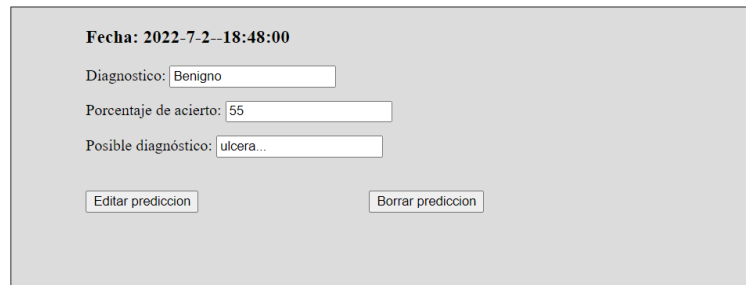
En esta página aparece el diagnóstico y la probabilidad de acierto que nos devuelve el servidor de predicción, obtenido de la tabla "predictions" de Firebase Firestore, tomada a través del identificador de colección, que es el timestamp de la imagen. Concretamente muestra la predicción obtenida para el caso concreto que selecciona el usuario.

Adicionalmente, aparece un campo extra para que el administrador o verificador pueda determinar su diagnóstico definitivo. En esta página se pueden editar los datos disponibles sobre la predicción y, también, se pueden eliminar. Si no existe predicción para los datos en cuestión, aparecerá un mensaje indicando que no existe predicción.

La figura 38 muestra la visualización de esta página, mientras que la figura 39 muestra un fragmento del código en el que se ve cómo carga esta página. Primero, realiza la consulta a Firebase para sacar las predicciones para ese caso concreto y, si existe, las muestra. También se puede ver la funcionalidad del botón editar, que permite

modificar los datos de predicción mostrados y añadir comentarios sobre el posible diagnóstico.

[Volver](#)



Fecha: 2022-7-2--18:48:00

Diagnostico:

Porcentaje de acierto:

Posible diagnóstico:

Figura 38. Vista de predicción

```
11 window.addEventListener('DOMContentLoaded', async() =>{
12   var idPrediction = document.location.search.split('idPrediction=')[1]
13   const prediction = await getPrediction(idPrediction)
14
15   if (prediction.data() == null){
16     let html = ''
17     html += `
18       <div>
19         <h3>No existen predicciones para el dato ${idPrediction}</h3>
20       </div>
21     `
22     predictionsForm.innerHTML = html;
23   }
24   else{
25     const tituloContainer = document.getElementById('titulo')
26     let html = ''
27     html += `<h3>Fecha: ${timeConverter(idPrediction)}</h3>`
28     tituloContainer.innerHTML = html;
29     predictionsForm['diagnostico'].value = prediction.data().diagnose
30     predictionsForm['porcentaje'].value = prediction.data().percentage
31     predictionsForm['posible_diagnostico'].value = prediction.data().comments
32
33     const btnsEditPred = predictionsForm.querySelectorAll('.btn-editarPred')
34     btnsEditPred.forEach(btn => {
35       btn.addEventListener('click', (e) => {
36         e.preventDefault()
37         updatePrediction(idPrediction, {
38           diagnose: predictionsForm['diagnostico'].value,
```

Figura 39. Fragmento de código de la vista de predicción

6.6.3 Visualización de foto

En esta página se visualiza la foto concreta del caso que se ha seleccionado, obtenido de Firebase Storage mediante el nombre de la imagen, que es una combinación del timestamp y el número del orden de la fotografía.

La figura 40 muestra la vista de la página de visualización de foto, mientras que la figura 41 muestra el fragmento de código usado para visualizar la imagen, extrayéndola de Firebase Storage.

[Volver](#)

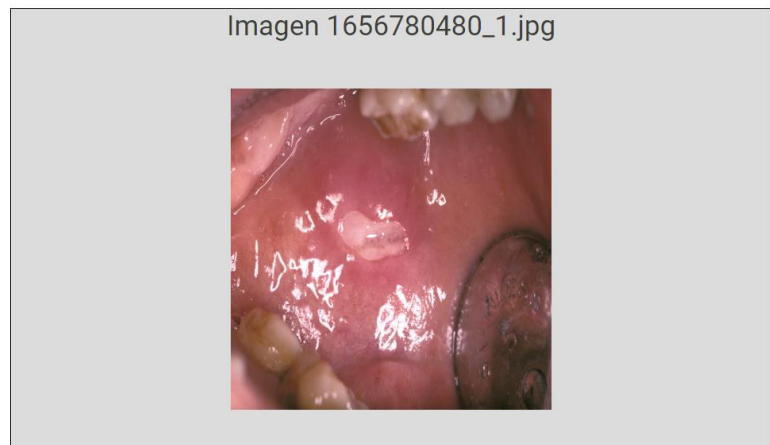


Figura 40. Página de visualización de imagen.

```

const btnsSeePic = clinicalDetailsContainer.querySelectorAll('.btn-seePic')
btnsSeePic.forEach(btn => {
  btn.addEventListener('click', async(e) => {
    e.preventDefault()

    let imgHtml=''
    try {
      let urlImage = await getUrlImage(e.target.dataset.id);
      imgHtml = `

```

Figura 41. Fragmento de código de visualización de la imagen.

6.7 Conexión de aplicación web con Firebase

Cada funcionalidad de la aplicación web usa llamadas a Firebase para poder mostrar, editar, almacenar o borrar datos.

En la página principal se usa la llamada para obtener todos los registros almacenados en "clinicalDetails".

El botón "Ver foto" usa la llamada para obtener la foto en cuestión en función del timestamp y del número de foto seleccionado.

El botón "Delete" usa la llamada para eliminar de la tabla "clinicalDetails" el registro correspondiente al timestamp seleccionado.

El botón "Ver Predicción" usa la llamada a para obtener los datos almacenados en "predictions" para el timestamp seleccionado.

El botón "Almacenar" usa cinco llamadas a la base de datos. Una para obtener el registro de "clinicalDetails" correspondiente al timestamp seleccionado, otra para

obtener el registro de "predictions", otra para insertar en "verifiedData" los datos correspondientes al registro y a la predicción correspondiente y otras dos para eliminar el registro correspondiente de "clinicalDetails" y de "predictions".

Dentro de la vista de "verPredicción", existen dos botones que también hacen llamadas a la base de datos.

El botón "Editar predicción" actualiza los valores del registro de "predictions" seleccionado en base de datos.

El botón "Borrar predicción" elimina los valores del registro seleccionado de "predictions" en base de datos.

Capítulo 7 - Discusión

En este capítulo se van a tratar los resultados obtenidos, analizándolos y comprobando si satisfacen la problemática existente, las ventajas y limitaciones que presenta y la comparación con otras herramientas.

En el desarrollo de este proyecto, se ha conseguido abordar una de las problemáticas que existen respecto al diagnóstico temprano de las lesiones de la mucosa oral, ya que muchas veces los médicos de atención primaria y los odontólogos no son capaces de diagnosticar y diferenciar lesiones benignas, potencialmente malignas y malignas. Por ello, la implementación de la aplicación móvil permite apoyar a estos sanitarios en la detección temprana de lesiones que puedan ser potencialmente malignas o malignas. La capacidad de la aplicación de recoger tanto imágenes como datos clínicos, permite un diagnóstico más completo que otras aplicaciones existentes, detalladas en el apartado 2.3 de esta memoria. En esos casos, o bien sólo utilizaban imágenes para la predicción de diagnósticos, o bien sólo eran empleados para la eliminación de posibles incertidumbres y casos que no eran claros, sin proporcionar ningún tipo de diagnóstico. Es por ello que este proyecto está más enfocado a apoyar a los especialistas sanitarios a predecir un diagnóstico teniendo en cuenta tanto imágenes como datos clínicos. Adicionalmente, el proyecto cuenta con la parte de la aplicación web, donde un especialista puede verificar, rechazar o modificar estas predicciones, contando así con un criterio más fiable, que combina la acción humana y la IA.

Durante el desarrollo de este trabajo, hay un principal inconveniente que ha influido de manera importante para el funcionamiento del sistema predictor. Este inconveniente es el limitado número de casos de ejemplo disponibles, cuya información se ha usado como datos de entrenamiento y validación para construir los modelos de predicción. Los sistemas de aprendizaje automático requieren de un número considerable de casos de ejemplo para poder funcionar correctamente y predecir casos con un porcentaje alto de precisión. Si bien se puede conseguir que un sistema de aprendizaje automático funcione bien con un número reducido de casos de prueba, estos casos deben ser fácilmente distinguibles y estar separados en una pequeña

cantidad de categorías. En este proyecto, los datos proporcionados pertenecían a un grupo numeroso de posibles categorías (24 tipos de lesión oral), los campos de los valores descriptivos también son numerosos (22 campos) y las imágenes son muy similares entre sí, ya que todas corresponden a lesiones cuya ubicación es la boca, los colores y formas son parecidos entre sí y las fotos, aunque pertenezcan a una misma enfermedad, pueden estar tomadas con distinto ángulo y calidad, lo que disminuye la semejanza entre sí. Otro de los inconvenientes a la hora de entrenar los modelos de predicción ha sido la agrupación en 3 grupos de lesiones según su gravedad: benignos, potencialmente malignos y malignos. El motivo de realizar esta agrupación es la enorme dificultad de entrenar un modelo que identifique 24 tipos distintos de lesiones con una cantidad tan pequeña de datos como entrenamiento (en algunos casos sólo había 1 ejemplo por cada lesión). El agrupar diferentes lesiones con distintas características en un mismo tipo dificulta aún más a la IA encontrar patrones para poder clasificar correctamente los casos a los que se enfrenta.

Capítulo 8 - Conclusiones y trabajo futuro

En este capítulo, se exponen las conclusiones obtenidas sobre los resultados obtenidos. Adicionalmente, se aportan algunas líneas de trabajo a futuro para ampliar este proyecto, mejorarlo y dotarlo de más funcionalidades.

8.1 Conclusiones

El principal objetivo de este proyecto es disponer de un sistema que asista a los especialistas odontólogos y a los médicos de atención primaria a diagnosticar lesiones orales, mediante el uso de IA con un sistema de predicción de imágenes y de datos clínicos cualitativos y cuantitativos. Se pretende que este sistema pueda proporcionar información al especialista para que este tome una decisión respecto al diagnóstico y derive lo antes posible, en los casos de lesiones orales potencialmente malignas y cáncer oral, a un servicio de atención especializada de Medicina Oral o Cirugía maxilofacial. La aportación a esta problemática es una aplicación móvil que facilita y apoya a estos sanitarios de primera instancia para que puedan determinar con mayor exactitud el diagnóstico de la lesión a la que se enfrentan y puedan derivar urgentemente a un servicio de atención especializada los casos de cáncer oral. En este caso, la aplicación móvil permite recoger datos clínicos e imágenes del caso concreto y dispone de una funcionalidad para predecir, mediante IA, un diagnóstico que ayude al usuario. Adicionalmente, existe una aplicación web, que muestra todos los casos registrados por la aplicación y tiene el objetivo de que los especialistas verifiquen o evalúen correctamente las predicciones de diagnósticos provistas por la aplicación.

La solución desarrollada presenta limitaciones, ya que el número inicial de casos con los que se han entrenado los modelos de IA son escasos e insuficientes para poder dar la efectividad necesaria para poder generar diagnósticos con fiabilidad. Es por esto por lo que la solución propuesta aún es mejorable. Sin embargo, el planteamiento de la aplicación puede seguir desarrollándose para mejorar su funcionamiento y hacerlo más efectivo. En el siguiente apartado, se plantean un conjunto de líneas de trabajo futuro que permiten ampliar la funcionalidad y mejorar su funcionamiento.

8.2 Trabajo futuro

En primer lugar, tal como se ha comentado en la memoria, una limitación de la implementación actual del sistema se encuentra en la no disponibilidad de un gran número de casos de ejemplo. Esta situación hace que el sistema presente altas tasas de error en las predicciones. En este sentido, una mejora consiste en implementar la funcionalidad necesaria para poder retroalimentarlo con nuevos casos de ejemplo verificados que se usarían para entrenar los modelos, con el objetivo de que el sistema fuera escalable y realizara mejores predicciones.

Otra propuesta de trabajo futuro es la mejora del alojamiento de los modelos de predicción, y de las imágenes y datos verificados que se utilizan para entrenarlos. Actualmente, los modelos de predicción se entrenan y generan en un sistema local, de manera que para usarlos posteriormente es necesario recuperarlos e instalarlos de forma manual en los dispositivos que los van a utilizar. El objetivo de esta mejora consiste en utilizar los recursos que ofrece la nube. En primer lugar, se utilizaría como medio de almacenamiento tanto de los modelos de predicción generados como de los datos utilizados para el entrenamiento y generación de los modelos. De esta forma se permitiría un acceso y gestión más flexible e independiente del dispositivo. Y, además, facilitaría el incremento de los recursos de procesamiento que podrían producirse al incrementarse el uso de los modelos o aumentar los datos utilizados para entrenar los modelos. En segundo lugar, como medio de automatización del proceso de generación de nuevos modelos de entrenamiento. Para ello, se implementaría un servicio que extraería los datos de entrenamiento almacenados en la nube, y los usaría para entrenar y generar nuevos modelos de predicción cada vez que el usuario lo solicitara. Los nuevos modelos generados se almacenarían en la nube y sustituirían a los anteriores modelos almacenados.

Por último, se propone como mejora futura, incrementar la funcionalidad de las aplicaciones, tanto web como móvil, con nuevos servicios que sirvan a los especialistas para obtener diagnósticos más precisos o encontrar cuáles son los tratamientos más adecuados en las lesiones detectadas.

Capítulo 9 - Introduction

9.1 Motivation

Oral cancer is the most common malignancy of the head and neck [1]. This type of cancer has a low survival rate (between 40% and 50% 5 years after treatment). The most frequently affected oral sites are the tongue, lip, jugal mucosa, gingiva and alveolar mucosa [1][2][3]. Oral cancer usually affects elderly patients, mostly male smokers and/or drinkers, although it can also appear in patients who do not meet these characteristics [4][5][6].

Different types of lesions can appear in the oral cavity: benign, potentially malignant or malignant. Although potentially malignant oral disorders are not cancerous lesions, they potentially constitute a risk, since scientific evidence has shown that they are oral lesions that can evolve into oral cancer. Therefore, it is very important to perform periodic check-ups with the aim of detecting as soon as possible any changes in these oral lesions that are suspicious for oral cancer. In this way, these lesions can be prevented from becoming malignant and pose a risk to the life of the patient. However, there is a problem of diagnostic delays. This is due to the limited knowledge of clinicians (dentists and primary care physicians) in the area of oral medicine. These professionals are often unable to accurately diagnose each oral lesion and in other cases make several interconsultations before referring patients with these lesions to specialists. Delaying the definitive diagnosis and therefore the treatment of the patient [7][8].

Since the main problem with oral lesions is the delay in diagnosis, equipping clinicians (primary care physicians and dentists) with tools capable of diagnosing oral lesions efficiently would be a solution that could speed up the diagnosis of patients. The period of time between a patient's visit to the physician and the diagnosis of an oral lesion is very important, as early detection of malignant lesions can mean early treatment and a consequent increased chance of cure [9][10][11]. Therefore, having a tool that uses artificial intelligence to recognize and predict lesions can be a step forward in the time spent on diagnosis. This system would perform the work of a specialist, examining the data and clinical characteristics of the case, and the imaging characteristics of the lesion. The

system would be able to recognize patterns and would be able to make a diagnosis. However, the prediction of this system should always be taken as a result to justify the referral of the patient to the specialist, and not to issue a definitive diagnosis.

The solution proposed in this project consists of the use of Artificial Intelligence (AI), by means of machine learning, to predict oral lesions and predict diagnoses with a certain percentage of success. The development of a mobile application is proposed, whose functionality is to assist the specialists who use it. The application will allow taking clinical data and images of lesions, predicting diagnoses through the use of AI and saving the data generated, both predictions and clinical data. Additionally, it is proposed to develop a web application in which the saved data from the mobile application will appear, so that a specialist can validate, correct diagnoses or eliminate erroneous cases in order to increase the database of correctly labeled data and increase the accuracy of the tool in the future.

9.2 Objectives

The main objective of the project is to develop a tool to assist clinicians (primary care doctors and dentists) in the diagnosis of oral lesions (benign, potentially malignant and oral cancer). For this purpose, AI and new technologies will be used and implemented in a mobile application. It is necessary to specify that this project is not intended to replace the work of specialists, but to serve as support and help when making diagnoses, in order to dissipate any doubts that the clinician may have. Subsequently, it will always be necessary to refer the patient to the specialist in those cases necessary to make a final diagnosis.

The main objective is decomposed into the following more specific objectives:

- Development of a mobile application that allows taking clinical data and photographs of the lesions, generating diagnostic predictions with these data and stores them in a database for subsequent validation.
- Development of a web application that displays all the data taken from the mobile application that have been saved, together with their predictions. The objective of this web application is to allow specialists to

confirm or correct the cases, in order to save them in a database containing "validated" and reliable cases.

- Development of two Artificial Intelligences capable of analyzing the registered cases and making a prediction of the diagnosis. The reason for the existence of 2 predictors is the ability to analyze, on the one hand, the data recorded as text and, on the other hand, to analyze the images.
- Deployment of a cloud storage system to store the recorded data and images, as well as the predictions taken. With the aim of, in the future, being able to validate or correct the predictions and thus have more example cases that serve to retrain the AI and improve their effectiveness and success rate.

9.3 Plan of work

To reach the objectives, the following tasks have been carried out:

1. Development of a simple Android application that collects clinical data (age, sex, risk factors such as alcohol and tobacco, drugs or medications, comorbidities, location, shape, color, size, whether it is single, multiple, the hardness of its edges, whether it is exophytic, whether it is ulcerated, whether it is mixed, the consistency and the period of evolution) and images in a standard structure, which allows data storage and data processing.
2. Normalization of training data, development of prediction algorithms, creation of trained models and development of the predictor, prepared to receive data.
3. Creation of a simple local server that receives data and images and returns predictions corresponding to text data and images.
4. Deployment and activation of a database, using Google Firebase (Firestore for data and Storage for images).
5. Connecting the Android app to the local prediction server and to the Firestore DB.

6. Deployment of a web application, using HTML and javascript, that obtains, edits, inserts, updates and deletes data from the Firestore DB.

The work plan describes the steps that have been carried out to develop this project. During the development of this, it has been necessary to deep into the theoretical aspects of machine learning algorithms, to obtain the most effective in each case. Figure 1 shows the percentage of time spent on each task with respect to the total time spent, each task is divided into the percentage that each component of the project has spent on it.

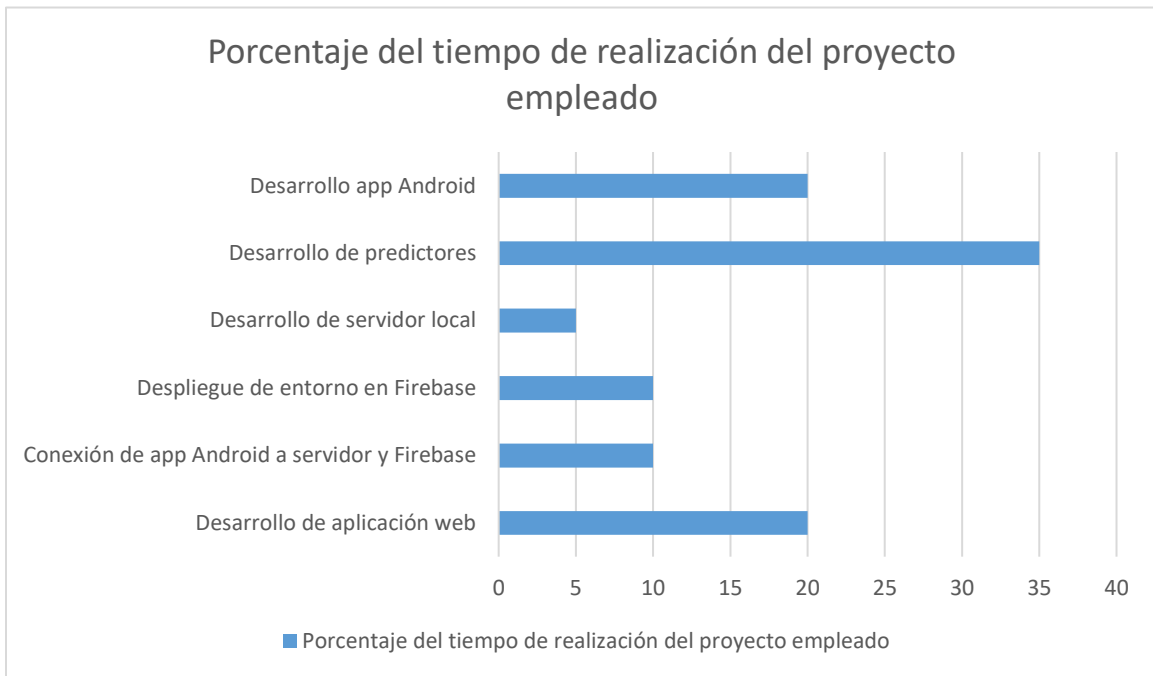


Figure 1. Percentage of time spent in each task.

9.4 Memory structure

This report is structured in a way that clearly explains the procedures and the reasons for developing this project. This report is divided into the following chapters:

- Chapter 1: Introduction. The motivation and objectives in the development of this project are presented, as well as the work plan followed and the structure of this report.
- Chapter 2: State of the question. All the necessary information used in the development of this project is presented. It can be classified into 2 main sections, Artificial Intelligence technologies and oral mucosal lesions.
- Chapter 3: Specification of requirements. This chapter sets out the requirements necessary to develop the project.
- Chapter 4: Technologies used. The technologies and tools used are detailed.
- Chapter 5: Architecture and data model. The necessary technical information on how the project is structured and the IT tools used are presented.
- Chapter 6: Project development. This chapter explains the steps carried out to develop the project, explaining the details of each part.
- Chapter 7: Discussion. The results obtained are discussed and an evaluation of the developed project is made, making comparisons with other similar tools.
- Chapter 8: Conclusions and future work. This chapter presents the conclusions reached after the development of the project, as well as the future work to be added to the present project.
- Chapters 9 and 10: English translation of Chapter 1 and Chapter 8, respectively.
- Appendix: User's manual. This appendix contains a user's manual for the users of the developed tool.

Capítulo 10 - Conclusions and future work

This chapter presents the conclusions reached on the results obtained. In addition, some lines of future work are provided in order to expand this project, improve it and provide it with more functionalities.

10.1 Conclusions

The main objective of this project is to provide a system that assists dental specialists and primary care doctors to diagnose oral lesions, using AI with an image prediction system and qualitative and quantitative clinical data. It is expected that this system can provide information to the specialist so that he can make a decision regarding the diagnosis and refer as soon as possible, in cases of potentially malignant oral lesions and oral cancer, to a specialized service of Oral Medicine or Maxillofacial Surgery. The contribution to this problem is a mobile application that facilitates and supports these healthcare professionals in the first instance so that they can determine with greater accuracy the diagnosis of the lesion they are facing and can urgently refer to an oral cancer specialized care service. In this case, the mobile application allows the collection of clinical data and images of the specific case and has a functionality to predict, through AI, a diagnosis that helps the user. Additionally, there is a web application, which shows all the cases registered by the application and has the objective of allowing specialists to verify or correctly evaluate the diagnostic predictions provided by the application.

The developed solution has limitations, since the initial number of cases with which the AI models have been trained are limited and insufficient to provide the necessary effectiveness to be able to generate accurate diagnoses. This is why the proposed solution can still be improved. However, the application proposal can be further developed to improve its performance and make it more effective. In the following section, a set of lines of future work are proposed to extend the functionality and improve its operation.

10.2 Future work

First, as mentioned in the report, one limitation of the current implementation of the system is the unavailability of a large number of example cases. This situation causes the system to present high error rates in the predictions. In this context, an improvement consists of implementing the necessary functionality to be able to feed it back with new verified example cases that would be used to train the models, with the aim of making the system scalable and performing better predictions.

Another proposal for future work is to improve the hosting of the prediction models, and of the images and verified data used to train them. Currently, the prediction models are trained and generated in a local system, so that to use them later it is necessary to retrieve and install them manually in the devices that are going to use them. The objective of this improvement is to use the resources offered by the cloud. Firstly, it would be used as a storage medium for both the prediction models generated and the data used for training and generating the models. This would allow more flexible and device-independent access and management. It would also facilitate the increase in processing resources that could occur as the use of the models increases or the data used to train the models increases. Secondly, as a means of automating the process of generating new training models. To this end, a service would be implemented that would extract the training data stored in the cloud and use it to train and generate new prediction models whenever the user requests it. The new models generated would be stored in the cloud and would replace the previous models stored.

Finally, it is proposed as a future improvement, to increase the functionality of the applications, both web and mobile, with new services that will help specialists to obtain more accurate diagnoses or to find the most appropriate treatments for the lesions detected.

Bibliografía

[1] Sofi-Mahmudi A, Masinaei M, Shamsoddin E, Tovani-Palone MR, Heydari MH, Shoaee S, Ghasemi E, Azadnajafabad S, Roshani S, Rezaei N, Rashidi MM, Kalantar Mehrjadi R, Hajebi AA, Larijani B, Farzadfar F. Global, regional, and national burden and quality of care index (QCI) of lip and oral cavity cancer: a systematic analysis of the Global Burden of Disease Study 1990-2017. *BMC Oral Health*. 2021 Nov 2;21(1):558.

doi: 10.1186/s12903-021-01918-0.

[2] Bjerkli IH, Jetlund O, Karevold G, Karlsdóttir Á, Jaatun E, Uhlin-Hansen L, Rikardsen OG, Hadler-Olsen E, Steigen SE. Characteristics and prognosis of primary treatment-naïve oral cavity squamous cell carcinoma in Norway, a descriptive retrospective study. *PLoS One*. 2020 Jan 16;15(1):e0227738.

doi: 10.1371/journal.pone.0227738.

[3] Yang Y, Zhou M, Zeng X, Wang C. The burden of oral cancer in China, 1990-2017: an analysis for the Global Burden of Disease, Injuries, and Risk Factors Study 2017. *BMC Oral Health*. 2021 Jan 28;21(1):44.

doi: 10.1186/s12903-020-01386-y.

[4] Nocini R, Lippi G, Mattiuzzi C. The worldwide burden of smoking-related oral cancer deaths. *Clin Exp Dent Res*. 2020 Apr;6(2):161-164.

doi: 10.1002/cre2.265. Epub 2019 Nov 26.

[5] Bosetti C, Carioli G, Santucci C, Bertuccio P, Gallus S, Garavello W, Negri E, La Vecchia C. Global trends in oral and pharyngeal cancer incidence and mortality. *Int J Cancer*. 2020 Aug 15;147(4):1040-1049.

doi: 10.1002/ijc.32871.

[6] Kwon Y, Won J-H, Kim BJ, Paik MC. Uncertainty quantification using Bayesian neural networks in classification: Application to biomedical image segmentation.

Computational Statistics & Data Analysis. 2020;142:106816.

[7] Warnakulasuriya S, Kujan O, Aguirre-Urizar JM, Bagan JV, González-Moles MÁ, Kerr AR, Lodi G, Mello FW, Monteiro L, Ogden GR, Sloan P, Johnson NW. Oral potentially malignant disorders: A consensus report from an international seminar on nomenclature and classification, convened by the WHO Collaborating Centre for Oral Cancer. *Oral Dis.* 2021 Nov;27(8):1862-1880.

doi: 10.1111/odi.13704.

[8] Walsh T, Warnakulasuriya S, Lingen MW, Kerr AR, Ogden GR, Glennly AM, Macey R. Clinical assessment for the detection of oral cavity cancer and potentially malignant disorders in apparently healthy adults. *Cochrane Database Syst Rev.* 2021 Dec 10;12(12):CD010173.

doi: 10.1002/14651858.CD010173.pub3.

[9] Onizawa K, Nishihara K, Yamagata K, Yusa H, Yanagawa T, Yoshida H. Factors associated with diagnostic delay of oral squamous cell carcinoma. *Oral Oncol.* 2003 Dec;39(8):781-8.

doi: 10.1016/s1368-8375(03)00075-7.

[10] Lima AM, Meira IA, Soares MS, Bonan PR, Mélo CB, Piagge CS. Delay in diagnosis of oral cancer: a systematic review. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2021 Nov 1;26(6):e815-e824.

doi: 10.4317/medoral.24808.

[11] Pakravan F, Abbasi F, Garshasbi MA, Isfahani MN. Relationship between oral cancer stage and elapsed time from the onset of signs and symptoms to diagnosis and treatment. *Cancer Treat Res Commun.* 2021;28:100428.

doi: 10.1016/j.ctarc.2021.100428. Epub 2021 Jun 24.

[12] Ship, J. A. (1996). Recurrent aphthous stomatitis: an update. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 81(2), 141-147. Extraído el 12/08/22 de:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1079210496804033>

Doi: [https://doi.org/10.1016/S1079-2104\(96\)80403-3](https://doi.org/10.1016/S1079-2104(96)80403-3).

[13] Barrons, R. W. (2001). Treatment strategies for recurrent oral aphthous ulcers. *American journal of health-system pharmacy*, 58(1), 41-50. Extraído el 12/08/22 de: <https://academic.oup.com/ajhp/article-abstract/58/1/41/5150184?login=false>

Doi: <https://doi.org/10.1093/ajhp/58.1.41>

[14] Epstein, J. B., Sherlock, C. H., & Wolber, R. A. (1993). Oral manifestations of cytomegalovirus infection. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology*, 75(4), 443-451. Extraído el 12/08/22 de:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0030422093901684>

Doi: [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(93\)90168-4](https://doi.org/10.1016/0030-4220(93)90168-4)

[15] Avery, R. K., Marty, F. M., Strasfeld, L., Lee, I., Arrieta, A., Chou, S., ... & Villano, S. (2010). Oral maribavir for treatment of refractory or resistant cytomegalovirus infections in transplant recipients. *Transplant Infectious Disease*, 12(6), 489-496. Extraído el 12/08/22 de: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1399-3062.2010.00550.x>

Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3062.2010.00550.x>

[16] Monteiro, L. S., Mouzinho, J., Azevedo, A., Câmara, M. I. D., Martins, M. A., & La Fuente, J. M. (2012). Treatment of epulis fissuratum with carbon dioxide laser in a patient with antithrombotic medication. *Brazilian dental journal*, 23, 77-81. Extraído el 12/08/22 de: <https://www.scielo.br/j/bdj/a/PFLT8Rgv3k47GNC63s7bVgd/abstract/?lang=en>

Doi: <https://doi.org/10.1590/S0103-64402012000100014>

[17] Antoniades, D. Z., Belazi, M., & Papanayiotou, P. (1998). Concurrence of torus palatinus with palatal and buccal exostoses: case report and review of the literature. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 85(5), 552-557. Extraído el 12/08/22 de:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1079210498902906>

Doi: [https://doi.org/10.1016/S1079-2104\(98\)90290-6](https://doi.org/10.1016/S1079-2104(98)90290-6)

[18] Jainkittivong, A., & Langlais, R. P. (2000). Buccal and palatal exostoses: prevalence and concurrence with tori. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 90(1), 48-53. Extraído el 12/08/22 de:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1079210400694684>

Doi: <https://doi.org/10.1067/moe.2000.105905>.

[19] Correa, P. E., & Arias Mendieta, S. (2016). Resección de fibroma en mucosa oral. Técnica del estrangulamiento. CES Odontología, 29(1), 82-87. Extraído el 13/08/22 de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-971X2016000100009

[20] Somacarrera Pérez, M. L., López Sánchez, A. F., Martín Carreras-Presas, C., & Díaz Rodríguez, M. (2015). Lesiones traumáticas en la mucosa oral de los adultos mayores. Avances en Odontoestomatología, 31(3), 129-134. Extraído el 13/08/22 de: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0213-12852015000300003

Doi: <https://dx.doi.org/10.4321/S0213-12852015000300003>

[21] Waitzer, S., & Fisher, B. K. (1984). Oral leukoedema. Archives of Dermatology, 120(2), 264-266. Extraído el 13/08/22 de: <https://jamanetwork.com/journals/jamadermatology/article-abstract/544852>

Doi: [doi:10.1001/archderm.1984.01650380124028](https://doi.org/10.1001/archderm.1984.01650380124028)

[22] Archard, H. O., & Stanley, H. R. (1968). Leukoedema of the human oral mucosa. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, 25(5), 717-728. Extraído el 13/08/22 de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0030422068900418>

Doi: [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(68\)90041-8](https://doi.org/10.1016/0030-4220(68)90041-8)

[23] Hatziotis, J. C. (1971). Lipoma of the oral cavity. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, 31(4), 511-524. Extraído el 13/08/22 de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0030422071903483>

Doi: [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(71\)90348-3](https://doi.org/10.1016/0030-4220(71)90348-3).

[24] Sicard, L., Benmoussa, L., Moreau, N., Salmon, B., & Ejeil, A. L. (2018). Orthodontics and oral mucosal lesions in children and teenagers. Journal of Dentofacial Anomalies and Orthodontics, 21(2), 207. Extraído el 13/08/22 de: <https://www.jdao-journal.org/articles/odfen/pdf/2018/02/odfen180056.pdf>

Doi: <https://doi.org/10.1051/odfen/2018056>

[25] Kumar, S. K., Ram, S., Jorgensen, M. G., Shuler, C. F., & Sedghizadeh, P. P. (2006). Multicentric peripheral ossifying fibroma. Journal of oral science, 48(4), 239-243. Extraído

el 13/08/22 de: https://www.jstage.jst.go.jp/article/josnusd/48/4/48_4_239/article/-char/ja/

Doi: <https://doi.org/10.2334/josnusd.48.239>

[26] Woo, S. B., Hellstein, J. W., & Kalmar, J. R. (2006), Systematic review: bisphosphonates and osteonecrosis of the jaws. *Annals of internal medicine*, 144(10), 753-761. Extraído el 13/08/22 de: <https://www.acpjournals.org/doi/abs/10.7326/0003-4819-144-10-200605160-00009>

Doi: <https://doi.org/10.7326/0003-4819-144-10-200605160-00009>

[27] Kumaraswamy, K. L., & Vidhya, M. (2011), Human papilloma virus and oral infections: an update. *Journal of cancer research and therapeutics*, 7(2), 120. Extraído el 13/08/22 de: <https://www.cancerjournal.net/article.asp?issn=0973-1482;year=2011;volume=7;issue=2;spage=120;epage=127;auiast=Kumaraswamy>

Doi: [10.4103/0973-1482.82915](https://doi.org/10.4103/0973-1482.82915)

[28] Shadman, N., Ebrahimi, S. F., Jafari, S., & Eslami, M. (2009). Peripheral giant cell granuloma: a review of 123 cases. *Dental Research Journal*, 6(1), 47. Extraído el 13/08/22 de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3075451/>

PMID: 21528029

[29] Kamal, R., Dahiya, P., & Puri, A. (2012). Oral pyogenic granuloma: Various concepts of etiopathogenesis. *Journal of oral and maxillofacial pathology: JOMFP*, 16(1), 79–82. Extraído el 13/08/22 de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3303528/>

Doi: <https://doi.org/10.4103/0973-029X.92978>

[30] Spruance SL. The natural history of recurrent oral-facial herpes simplex virus infection. *Seminars in Dermatology*. 1992 Sep;11(3):200-206. Extraído el 13/08/22 de: <https://europepmc.org/article/med/1390034>

PMID: 1390034

[31] Hsu, C. L., Hsu, C. W., Chang, P. C., Huang, W. H., Weng, C. H., Yang, H. Y., ... & Yen, T. H. (2016). Oral tori in chronic peritoneal dialysis patients. *PloS One*, 11(6), e0156988.

Extraído el 13/08/22 de:

<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0156988>

Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156988>

[32] Ariyawardana, Anura. (2014). Traumatic oral mucosal lesions: a mini review and clinical update. *Oral health and dental management*, 13, 254-9. Extraído el 13/08/22

de: [https://www.researchgate.net/profile/Anura-](https://www.researchgate.net/profile/Anura-Ariyawardana/publication/263742868_Traumatic_oral_mucosal_lesions_a_mini_review_and_clinical_update/links/54c9a32e0cf298fd2626646d/Traumatic-oral-mucosal-lesions-a-mini-review-and-clinical-update.pdf)

[Ariyawardana/publication/263742868 Traumatic oral mucosal lesions a mini review and clinical update/links/54c9a32e0cf298fd2626646d/Traumatic-oral-mucosal-lesions-a-mini-review-and-clinical-update.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Anura-Ariyawardana/publication/263742868_Traumatic_oral_mucosal_lesions_a_mini_review_and_clinical_update/links/54c9a32e0cf298fd2626646d/Traumatic-oral-mucosal-lesions-a-mini-review-and-clinical-update.pdf)

[33] Van der Waal, I., Schepman, K. P., Van der Meij, E. H., & Smeele, L. E. (1997). Oral leukoplakia: a clinicopathological review. *Oral oncology*, 33(5), 291-301. Extraído el 14/08/22 de:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136883759700002X>

Doi: [https://doi.org/10.1016/S1368-8375\(97\)00002-X](https://doi.org/10.1016/S1368-8375(97)00002-X).

[34] Kumar, A., Cascarini, L., McCaul, J. A., Kerawala, C. J., Coombes, D., Godden, D., & Brennan, P. A. (2013). How should we manage oral leukoplakia?. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 51 (5), 377-383. Extraído el 14/08/22 de:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0266435612005980>

Doi: <https://doi.org/10.1016/j.bjoms.2012.10.018>

[35] Warnakulasuriya, S., Kujan, O., Aguirre-Urizar, J. M., Bagan, J. V., González-Moles, M. Á., Kerr, A. R., ... & Johnson, N. W. (2021). Oral potentially malignant disorders: A consensus report from an international seminar on nomenclature and classification, convened by the WHO Collaborating Centre for Oral Cancer. *Oral diseases*, 27(8), 1862-1880. Extraído el 26/08/22 de

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/odi.13704>

Doi: [10.1111/odi.13704](https://doi.org/10.1111/odi.13704)

[36] Capella, D. L., Gonçalves, J. M., Abrantes, A. A. A., Grando, L. J., & Daniel, F. I. (2017). Proliferative verrucous leukoplakia: diagnosis, management and current

advances☆. Brazilian journal of otorhinolaryngology, 83, 585-593. Extraído el 14/08/22 de: <https://www.scielo.br/j/bjorl/a/jGTrhxL9k6bVyJCP5SZjBtk/?format=html&lang=en>

Doi: <https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2016.12.005>

[37] Scully, C., & Carrozzo, M. (2008). Oral mucosal disease: Lichen planus. British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 46(1), 15-21. Extraído el 14/08/22 de:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0266435607003725>

Doi: <https://doi.org/10.1016/j.bjoms.2007.07.199>

[38] Do Prado, R. F., Marocchio, L. S., & Felipini, R. C. (2009). Oral lichen planus versus oral lichenoid reaction: difficulties in the diagnosis. Indian Journal of Dental Research, 20(3), 361. extraído el 14/08/22 de:

<https://www.ijdr.in/article.asp?issn=0970-9290;year=2009;volume=20;issue=3;spage=361;epage=364;aulast=Do>

Doi: [10.4103/0970-9290.57375](https://doi.org/10.4103/0970-9290.57375)

[39] Markopoulos, A. K. (2012). Current aspects on oral squamous cell carcinoma. The open dentistry journal, 6, 126. Extraído el 14/08/22 de:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3428647/>

Doi: <https://doi.org/10.2174%2F1874210601206010126>

[40] Wang W, Adeoye J, Thomson P, Choi SW. Multiple tumour recurrence in oral, head and neck cancer: Characterising the patient journey. J Oral Pathol Med. 2021

Nov;50(10):979-984.

Doi: [10.1111/jop.13182](https://doi.org/10.1111/jop.13182).

[41] Jehn P, Linsen SS, Zeller AN, Eckstein FM, Neuhaus MT, Gellrich NC, Krüskemper G, Lentge F, Spalthoff S, Korn P. Gender-specific differences concerning psychosocial aspects and functional impairments that influence quality of life in oral cancer treatment. Support Care Cancer. 2022 Feb 16.

Doi: [10.1007/s00520-022-06907-9](https://doi.org/10.1007/s00520-022-06907-9).

[42] Kao NH, Iyer NG, Chua A, Nagadia RH. Early quality of life outcomes after surgery in head and neck cancer survivors with EORTC QLQ-C30 and EORTC QLQ-HN35 in an

Asian tertiary centre. Support Care Cancer. 2022 Feb 4.

Doi: [10.1007/s00520-022-06871-4](https://doi.org/10.1007/s00520-022-06871-4)

[43] Warin K, Limprasert W, Suebnukarn S, Jinaporntham S, Jantana P. Performance of deep convolutional neural network for classification and detection of oral potentially malignant disorders in photographic images. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2021 Sep 18:S0901-5027(21)00321-0.

Doi: [10.1016/j.ijom.2021.09.001](https://doi.org/10.1016/j.ijom.2021.09.001).

[44] Kwon Y, Won J-H, Kim BJ, Paik MC. Uncertainty quantification using Bayesian neural networks in classification: Application to biomedical image segmentation. *Computational Statistics & Data Analysis*. 2020;142:106816.

[45] Ruhe, D., Cina, G., Tonutti, M., de Bruin, D., & Elbers, P. (2019). Bayesian modelling in practice: Using uncertainty to improve trustworthiness in medical applications. arXiv preprint arXiv:1906.08619.

Doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1906.08619>

[46] Android Studio. Extraído el 07/09/22 de: <https://developer.android.com/studio?hl=es>

[47] Visual Studio Code. Extraído el 07/09/22 de: <https://code.visualstudio.com/>

[48] Python. Extraído el 07/09/22 de: <https://www.python.org>

[49] Jupyter Notebook. Extraído el 07/09/22 de: <https://jupyter.org/>

[50] FlaskAPI. Extraído el 07/09/22 de: <https://fastapi.tiangolo.com/>

[51] Tensorflow. Extraído el 07/09/22 de: <https://www.tensorflow.org/>

[52] Keras. Extraído el 07/09/22 de: <https://keras.io/>

[53] Numpy. Extraído el 07/09/22 de: <https://numpy.org/>

[54] Pandas. Extraído el 07/09/22 de: <https://pandas.pydata.org/>

[55] Modelo Mobilenet_v2. Extraído el 07/09/22 de: <https://keras.io/api/applications/mobilenet/>

Apéndice 1: Manual de instalación

En este apéndice se van a detallar los pasos para desplegar las aplicaciones móvil y web, así como el servidor de predicciones, necesario para poder realizar las peticiones correspondientes a los predictores de imágenes y texto.

Servidor RESTful de predictores

Este servidor local se encarga de recibir peticiones POST desde la aplicación móvil y de devolver los resultados correspondientes. Aloja las rutas correspondientes de los modelos de predicción y ejecuta estos modelos para obtener las predicciones en función de los parámetros de entrada.

Para poder desplegar este servidor es necesario descargar el código, estando este disponible en el siguiente enlace de github, en la subcarpeta de "Api-Flask":
<https://github.com/rodrigolagartera/TFM-PredictorApp.git>

También es necesario guardar los modelos de predicción en una carpeta local y modificar la ruta que aparece en "ImgPred.py" y "TextPred.py", colocando la ruta del modelo de imágenes y de texto, respectivamente en cada archivo.

El modelo de predicción de imágenes puede descargarse desde el siguiente enlace:
<https://drive.google.com/drive/folders/1yBnaxTio593OUCTgIhjy8XZixrYLDgR?usp=sharing>

El modelo de predicción de texto puede descargarse desde el siguiente enlace:
https://drive.google.com/drive/folders/1EkCDMSyp_GTL8Bo7GZE7EZSAqnkWtqim?usp=sharing

Para desplegar el servidor, es necesario ejecutar en la terminal el siguiente comando: "py main.py". Posteriormente, se desplegará y en la terminal aparecerán las urls en las que está desplegada. Es importante copiar la url en la que aparece la IP, para posteriormente utilizarla en la aplicación móvil. La figura 41 muestra un ejemplo de ejecución:

```
WARNING: This is a development server. Do not use it in a production deployment.
Use a production WSGI server instead.
* Debug mode: off
* Running on all addresses (0.0.0.0)
WARNING: This is a development server. Do not use it in a production deployment.
* Running on http://127.0.0.1:80
* Running on http://192.168.18.8:80 (Press CTRL+C to quit)
```

Figura 41. Ejecución del servidor de predicción

Aplicación móvil

La aplicación móvil está desarrollada en Android, pero no está desplegada en Google Store, por lo que es necesario desplegarla en el simulador de Android Studio.

Android Studio puede descargarse desde la página web de developers de Android, en el siguiente enlace: <https://developer.android.com/studio>.

Una vez descargado, es necesario obtener el código del proyecto, e importarlo en Android Studio. El código puede descargarse desde el siguiente enlace de GitHub, en la subcarpeta de "Application": <https://github.com/rodrigolagartera/TFM-PredictorApp.git>

También es necesario cambiar las url del método "prediccionCancer" en el activity "MenuActivity.java" por las url que proporciona el despliegue del servidor de predicciones.

Cuando el proyecto está cargado en el IDE, es necesario ejecutar el botón de "Make project" para compilar el proyecto y, posteriormente, pulsar el botón de "Run 'app'". Posteriormente, se abrirá la aplicación desarrollada y se podrán ejecutar los pasos descritos en los capítulos de esta memoria.

Aplicación web

Para desplegar la aplicación web, es necesario tener un IDE que permita ejecutar el despliegue de servidores web. Una manera de desplegarlo es con el IDE de Visual Studio Code, usando la extensión "Live Server", que se puede descargar dentro de la opción de buscar del propio IDE.

El código de la aplicación web puede encontrarse en el siguiente enlace de Github: <https://github.com/rodrigolagartera/TFM-PredictorApp-WebApp.git>

Una vez abierto el código con el IDE, se pulsa la tecla F1, se busca "Live Server" y se ejecuta la opción. Al hacer esto, se despliega la aplicación web y se abre en el navegador.

Apéndice 2: Manual de usuario

En este apéndice se detallan los pasos e instrucciones necesarios para ejecutar las aplicaciones web y móvil. También se explican las funcionalidades disponibles.

Aplicación móvil

El uso de la aplicación móvil es intuitivo, ya que la propia aplicación va guiando los pasos al usuario para que este pueda utilizarla y rellenar los casos clínicos a los que se enfrenta.

En primer lugar, como indica la figura 42, aparece la página principal, en la que sólo existe la opción de registrar datos. Por lo que es necesario pulsar este botón para continuar.

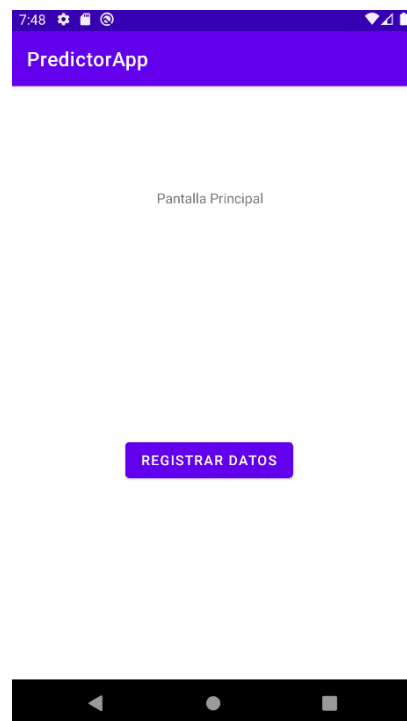


Figura 42. Página principal

La siguiente pantalla nos muestra un formulario en el que el usuario deberá introducir su email como medida identificatoria y los datos personales y clínicos del paciente. La figura 43 muestra este formulario relleno con datos de ejemplo.



Figura 43. Ejemplo de inserción de detalles clínicos.

Una vez insertados todos los datos, el usuario deberá pulsar el botón "Registrar datos" para continuar.

En la siguiente pantalla, aparecerá el icono de una cámara de fotos. Esta opción nos llevará a la cámara del dispositivo para realizar la fotografía. Una vez tomada la imagen (en este caso se ha usado una imagen ficticia), en el resto de la vista aparece un formulario para completar con los datos de la imagen tomada, como indican las figuras 44 y 45.



Figura 44. Foto y detalles de la imagen.

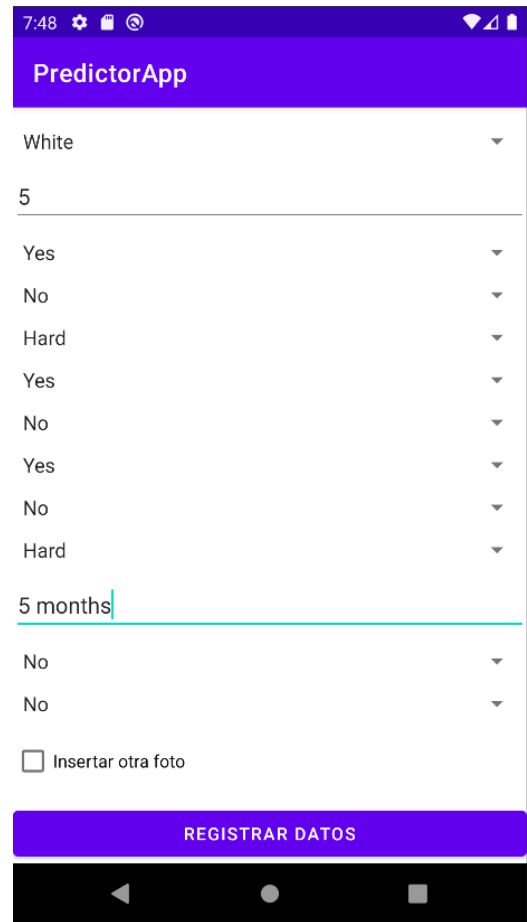


Figura 45. Detalles de la imagen.

Al final del formulario, podemos ver una opción de selección llamada "Insertar otra foto". Si se selecciona esta opción y se pulsa el botón "Registrar datos", la aplicación mostrará la misma vista con la intención de que el usuario vuelva a introducir otra imagen y sus detalles correspondientes. Esta opción se puede ejecutar tantas veces como desee el usuario.

Cuando el usuario pulsa el botón de "Registrar datos" sin tener la opción de insertar otra foto activada, la aplicación nos redirige a la vista del menú de opciones.

Existen 3 opciones disponibles: Predicción de cáncer oral, Guardar datos en la base de datos y Volver a la página principal.

Si se pulsa la opción de "Predicción de cáncer oral", la aplicación enviará peticiones POST al servidor de predicción para obtener los diagnósticos de la inteligencia artificial. Tras obtener los datos, automáticamente se guardan los resultados

de la predicción en la tabla “predictions” de la base de datos de Firebase. La figura 46 muestra la vista de la página tras pulsar la opción de predicción.

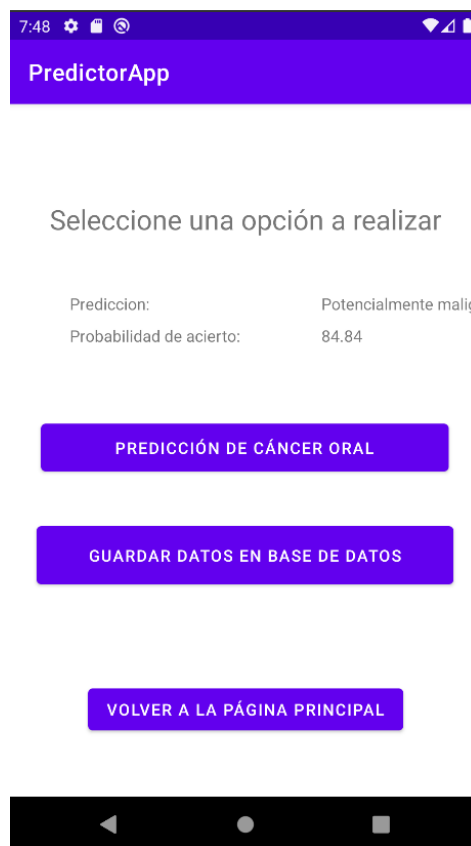


Figura 46. Vista menú tras pulsar la opción de predicción

La opción de “Guardar datos en base de datos” muestra al usuario un popup legal con las condiciones legales sobre la protección de datos. Para que se puedan guardar en la base de datos, el usuario debe aceptar las condiciones especificadas, si no las acepta, no se guardan en la base de datos y el usuario vuelve a la página menú, pudiendo ejecutar de nuevo la opción. La figura 47 muestra el aviso legal que aparece al elegir esta opción.

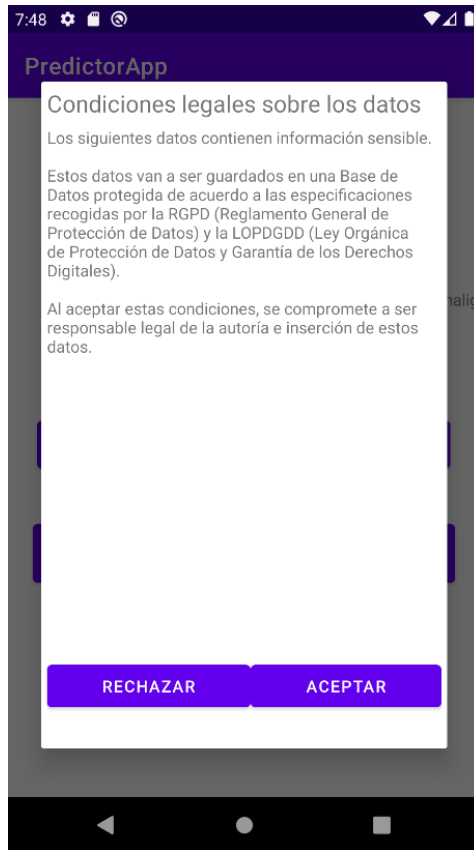


Figura 47. Aviso legal con opciones de Rechazar y Aceptar.

Por último, la opción de “Volver a la página principal”, lleva al usuario a la vista inicial de la figura 42 donde se puede repetir el proceso.

Es necesario destacar que para que se guarden las predicciones y los datos clínicos e imágenes, es necesario que el usuario seleccione estas opciones respectivamente de los datos que desee guardar en la base de datos, por lo que cabe la opción de que vuelva a la página principal sin haber guardado nada.

Aplicación web

La aplicación web está diseñada para que sea utilizada por los especialistas encargados de verificar y determinar los diagnósticos definitivos.

En la página principal, se pueden observar los datos clínicos que se han insertado por la aplicación y están pendientes de validación. Las figuras 48 y 49 muestran cómo se veía el ejemplo insertado anteriormente en la aplicación.

Fecha: 2022-9-9--00:37:55
Email doctor: ejemplo@gmail.com
Edad: 54
Género: M
Tabaco: Yes
Numero de cigarrillos al dia: 6
Alcohol: Yes
Numero de dosis de alcohol: 2
Drogas: No
Comorbilidades:
Detalles de las fotos:
Foto: 1

Figura 48. Detalles identificativos y clínicos del paciente en la aplicación web.

Detalles de las fotos:
Foto: 1
Localización: Buccal mucosa
Forma: Rounded
Color: White
Tamaño (mm2): 5
Único: Yes
Múltiple: No
Bordes: Hard
Ulcerado: Yes
Mezclado: No
Consistencia: Hard
Periodo de evolución: 5 months
Dolor: No
Ganglios linfáticos cervicales: No

Figura 49. Detalles de la imagen insertada.

En la parte inferior se pueden ver las opciones disponibles para el usuario, entre las que están: Ver foto, Eliminar, Ver Predicción y Almacenar.

Si se selecciona la opción "Ver foto", la aplicación nos lleva a una página donde se puede visualizar la imagen tomada, en esta vista no hay funcionalidades, sólo es posible volver a la página principal. La figura 50 muestra la vista de foto.



Figura 50. Vista de la imagen tomada.

La opción "Eliminar" borra de la base de datos los datos clínicos, la imagen y la predicción generada correspondiente al caso seleccionado.

La opción "Ver predicción" dirige al usuario a otra página en la que se muestran los resultados de la predicción. En esta vista, los campos son editables, con el objetivo de que el usuario, siendo especialista, confirme el diagnóstico generado por la IA o lo modifique para conseguir un diagnóstico verídico. Existe un campo vacío que debe rellenar el usuario llamado "Posible Diagnóstico". En esta vista existen dos funcionalidades:

- Editar predicción: El usuario puede modificar los valores que considere necesarios y, una vez que pulse este botón, los datos se actualizarán en base de datos.
- Borrar predicción: El usuario puede eliminar la predicción asociada a este caso.

La figura 51 muestra la vista de esta página con sus opciones.

[Volver](#)

Fecha: 2022-9-9-00:37:55

Diagnostico:

Porcentaje de acierto:

Posible diagnóstico:

Figura 51. Vista predicción con opciones disponibles

Por último, la opción "Almacenar" permite al usuario verificar los datos disponibles y la predicción, almacenándolos en la tabla "verifiedData" y eliminando el caso de la tabla "predictions" y "clinicalDetails". Al estar validado el caso, dejaría de aparecer en la página principal.