



UNIVERSIDAD DE BURGOS  
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR  
Grado en Ingeniería Informática



**TFG del Grado en Ingeniería  
Informática**  
**título del TFG**



Presentado por Nombre del alumno  
en Universidad de Burgos — 15 de abril  
de 2023

Tutor: nombre tutor







UNIVERSIDAD DE BURGOS  
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR  
Grado en Ingeniería Informática



D. nombre tutor, profesor del departamento de nombre departamento, área de nombre área.

Expone:

Que el alumno D. Nombre del alumno, con DNI dni, ha realizado el Trabajo final de Grado en Ingeniería Informática titulado título de TFG.

Y que dicho trabajo ha sido realizado por el alumno bajo la dirección del que suscribe, en virtud de lo cual se autoriza su presentación y defensa.

En Burgos, 15 de abril de 2023

Vº. Bº. del Tutor:

Vº. Bº. del co-tutor:

D. nombre tutor

D. nombre co-tutor





## **Resumen**

La retinopatía diabética es una de las mayores causas de ceguera en los países desarrollados, para determinar el grado de anomalía, se realiza una imagen de la retina del paciente, captada por un retinógrafo. Este procedimiento, tiene un coste elevado para la sanidad pública, y además, consta de que el paciente se desplace a un centro médico.

Por ello, se han desarrollado unos dispositivos, para las cámaras de los móviles, que permiten obtener las fotografías de las retinas; de esta forma, el paciente no tendría que desplazarse a un hospital que contenga el retinógrafo y el médico de familia le realizaría la foto al paciente.

En este trabajo, propone facilitar la labor del médico, haciendo una aplicación Android la cual realizaría un primer diagnóstico del paciente a partir de una imagen que se enviará esta foto a modelos de aprendizaje computacional existentes; haciendo que los pacientes que tengan algún grado de retinopatía diabética, se realice un estudio exhaustivo. Como resultado, se ha creado la aplicación RetinAI.

## **Descriptores**

Salud, retinopatía diabética, redes neuronales, aplicación Android.

## **Abstract**

Diabetic retinopathy is a leading cause of blindness in developed countries. To determine the degree of abnormality, the retinographer takes a image of patient's retina, but this procedure is costly for spanish public health system, also requires the patient to travel to a medical center.

To address this, there are some lenses which have been developed for mobile phone cameras to take retina photos. This way, the patient would not have to travel to a hospital that has a retinographer, and the family doctor would take the patient's photo.

This work proposes to make the doctor's labor easier by creating an Android app that would make a preliminary diagnosis of the patient based on the photo taken, this photo will be sent to existing computational learning models. This will allow patients with any degree of diabetic retinopathy to undergo a comprehensive study.

As a result, the app RetinAI has been created.

## **Keywords**

Health, diabetic retinopathy, neural networks, Android app.



---

# Índice general

---

<b>Índice general</b>	<b>iii</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>v</b>
<b>Índice de tablas</b>	<b>vi</b>
<b>Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Estructura . . . . .	2
<b>Objetivos del proyecto</b>	<b>5</b>
2.1. Objetivos generales . . . . .	5
2.2. Objetivos técnicos . . . . .	5
2.3. Objetivos personales . . . . .	6
<b>Conceptos teóricos</b>	<b>7</b>
3.1. Una seccion por cada red neuronal que se implemente . . . . .	7
3.2. Secciones . . . . .	7
3.3. Referencias . . . . .	8
3.4. Imágenes . . . . .	8
3.5. Listas de items . . . . .	8
3.6. Tablas . . . . .	9
<b>Técnicas y herramientas</b>	<b>11</b>
4.1. Metodologías . . . . .	11
4.2. Herramientas . . . . .	12
4.3. Patrones de diseño . . . . .	14
<b>Aspectos relevantes del desarrollo del proyecto</b>	<b>17</b>

<b>Trabajos relacionados</b>	<b>19</b>
6.1. Proyectos . . . . .	19
6.2. Comparativa del proyecto . . . . .	20
<b>Conclusiones y Líneas de trabajo futuras</b>	<b>23</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>25</b>

---

# Índice de figuras

---

3.1. Autómata para una expresión vacía . . . . .	8
--	---

---

# Índice de tablas

---

3.1. Herramientas y tecnologías utilizadas en cada parte del proyecto	9
6.1. Comparativa de las características de los proyectos. . . . .	20

---

# Introducción

---

La discapacidad visual afecta a más de 2200 millones de personas en el mundo, siendo las principales causas de la pérdida de visión: degeneración macular relacionada con la edad, cataratas, retinopatía diabética, glaucoma y errores de refracción no corregidos.[1]

Entre las personas con discapacidad visual, hay al menos 1000 millones de personas que tienen un deterioro moderado o grave de la visión.[1]

En Estados Unidos, cada año la retinopatía diabética suma un 12 % de nuevos casos de ceguera.

La retinopatía diabética es una complicación de la diabetes, que afecta al sistema ocular del ser humano. Es causada por el daño a los vasos sanguíneos de la retina a lo largo del tiempo. Esta anomalía, encabeza las causas de ceguera en los países desarrollados. Según la Organización Mundial de la Salud, hasta 1 millón de personas tienen ceguera debido a la diabetes. [2] Hay varios grados de la patología de la retinopatía diabética entre los que se encontrarían por orden de menor a mayor peligrosidad: NPDR (Non-proliferative diabetic retinopathy), este grado se caracteriza por la ausencia de retinopatía; como siguiente grado se encontraría NPDR leve, donde los vasos sanguíneos empiezan a debilitarse, creando protuberancias llamadas micro-aneurismas; en tercer se encuentra NPDR moderada, donde los vasos sanguíneos se siguen debilitando, se producen más hemorragias, pudiendo provocar visión borrosa; siguiendo por NPDR severo, en esta etapa, los vasos sanguíneos están dañados, causando falta de oxígeno en la retina y en la formación de nuevos vasos; por ultimo, se encuentra retinopatía diabética proliferativa, donde los vasos sanguíneos anormales que crecen en la retina y en el vítreo. Estos vasos pueden sangrar y provocar desprendimiento de retina, provocando la pérdida de visión. [4]

Para determinar el grado que tiene un paciente de retinopatía diabética, se tiene que desplazar al hospital donde le hacen una imagen de la retina con un retinógrafo. Pero, para la sanidad publica tiene un coste elevado, y provoca que el paciente se tenga que desplazar a un centro hospitalario.

Como solución a este problema, se propone realizar una aplicación móvil, que permita al paciente o al médico hacer una foto de la retina, utilizando una lente para el dispositivo móvil. Además, para facilitar la labor del médico, esta aplicación móvil, proporciona redes neuronales ya entrenadas, con los que se obtendría un primer análisis, proporcionando un estudio más intenso a aquellas personas que hayan dado algún grado de retinopatía diabética.

De esta forma, al instalar la aplicación RetinAI creada con el objetivo de ser útil para el sistema sanitario, usando una interfaz sencilla para médicos sin experiencia previa en aplicaciones Android. Además, la aplicación facilita la creación de un informe médico ya que interpreta los resultados obtenidos de las imágenes, dando prioridad a aquellos casos que tengan más gravedad; y descartando aquellos casos que no tengan retinopatía diabética. Evitando una lentitud en el sistema sanitario debido a pacientes que no tienen esta complicación. Permitiendo a los médicos centrar su atención en aquellos pacientes que realmente tienen retinopatía diabética.

## 1.1. Estructura

La memoria se puede organizar en los siguientes apartados:

- **Introducción:** Apartado que dispone el tema y resume el contenido del trabajo.
- **Objetivos del proyecto:** Apartado donde se explican los objetivos que se buscan conseguir.
- **Conceptos teóricos:** Apartado del documento donde se exponen los conceptos claves del proyecto.
- **Técnicas y herramientas:** Apartado donde se explican las metodologías y herramientas utilizadas durante la realización del proyecto.
- **Aspectos relevantes:** Apartado donde se recogen los datos más importantes del desarrollo.
- **Trabajos relacionados:** Apartado donde se compara el trabajo realizado, con otros anteriores.

- **Conclusiones y líneas de trabajo futuras:** Apartado donde se expone de forma crítica el trabajo realizado, indicando posibles mejoras a realizar en un futuro.

Además, se adjunta como anexo los siguientes apartados:

- **Plan de proyecto:** Apartado donde se explica como se ha organizado el proyecto, y estudios sobre la rentabilidad tanto económica como legal tiene el proyecto.
- **Requisitos:** Apartado donde se explican los requisitos funcionales y no funcionales que tiene el proyecto.
- **Diseño:** Apartado donde se describe la fase de diseño del proyecto.
- **Manual del programador:** Apartado donde se recogen los aspectos que necesitaría un programador, tanto como para seguir el trabajo, como para poder entender el funcionamiento.
- **Manual del usuario:** Apartado donde se realiza una guía de usuario, con los pasos a seguir para un correcto funcionamiento de la aplicación.





---

# Objetivos del proyecto

---

Los objetivos del proyecto se pueden dividir en 3 apartados, los cuales se verán a continuación.

## 2.1. Objetivos generales

- Desarrollar una aplicación Android, que permita realizar un estudio de la retinopatía diabética sobre los pacientes.
- Agilizar el sistema sanitario, haciendo que los médicos de familia puedan dar un diagnóstico preliminar a partir de los datos proporcionados.

## 2.2. Objetivos técnicos

- Desarrollar una aplicación Android con soporte API 21, siendo compatible con dispositivos Android 5.0 (Lollipop) y superiores.
- Hacer uso de Material 3 como fuente para que la aplicación sea más accesible al usuario.
- Hacer uso de Gradle para la automatización de la construcción de software.
- Hacer uso de GitHub como herramienta para alojar proyectos.
- Hacer uso de Git como herramienta de control de versiones.
- Hacer uso de la metodología SCRUM haciendo uso a su vez de la herramienta ZenHub.

- Hacer uso de GitKraken para hacer uso de una interfaz que facilite las acciones con el repositorio en GitHub.
- Hacer uso de pruebas, automáticas y manuales de forma que no se produzcan errores de ejecución.
- Hacer uso de Python para convertir un modelo keras con formato “.h5” a un modelo tensorflow Lite con formato “.tflite”.

## **2.3. Objetivos personales**

- Hacer uso de los conocimientos vistos durante la carrera.
- Aprender como desarrollar aplicaciones, en las que hay que implementar una red neuronal.
- Realizar una aplicación para dispositivos Android, que se pueda ejecutar en la mayoría de estos teléfonos, facilitando de esta forma la integración en el sistema sanitario.

---

# Conceptos teóricos

---

En aquellos proyectos que necesiten para su comprensión y desarrollo de unos conceptos teóricos de una determinada materia o de un determinado dominio de conocimiento, debe existir un apartado que sintetice dichos conceptos.

Algunos conceptos teóricos de  $\text{\LaTeX}$ <sup>1</sup>.

## 3.1. Una seccion por cada red neuronal que se implemente

## 3.2. Secciones

Las secciones se incluyen con el comando `section`.

### Subsecciones

Además de secciones tenemos subsecciones.

### Subsubsecciones

Y subsecciones.

---

<sup>1</sup>Créditos a los proyectos de Álvaro López Cantero: Configurador de Presupuestos y Roberto Izquierdo Amo: PLQuiz

### 3.3. Referencias

Las referencias se incluyen en el texto usando cite [5]. Para citar webs, artículos o libros [3].

### 3.4. Imágenes

Se pueden incluir imágenes con los comandos standard de  $\text{\LaTeX}$ , pero esta plantilla dispone de comandos propios como por ejemplo el siguiente:



Figura 3.1: Autómata para una expresión vacía

### 3.5. Listas de items

Existen tres posibilidades:

- primer item.
- segundo item.

1. primer item.
2. segundo item.

Herramientas	App	AngularJS	API REST	BD	Memoria
HTML5		X			
CSS3		X			
BOOTSTRAP		X			
JavaScript		X			
AngularJS		X			
Bower		X			
PHP			X		
Karma + Jasmine		X			
Slim framework			X		
Idiorm			X		
Composer			X		
JSON		X	X		
PhpStorm		X	X		
MySQL				X	
PhpMyAdmin				X	
Git + BitBucket		X	X	X	X
MikTeX					X
TeXMaker					X
Astah					X
Balsamiq Mockups		X			
VersionOne		X	X	X	X

Tabla 3.1: Herramientas y tecnologías utilizadas en cada parte del proyecto

**Primer item** más información sobre el primer item.

**Segundo item** más información sobre el segundo item.

■

### 3.6. Tablas

Igualmente se pueden usar los comandos específicos de  $\text{\LaTeX}$  o bien usar alguno de los comandos de la plantilla.



---

# Técnicas y herramientas

---

## 4.1. Metodologías

### SCRUM

SCRUM es una metodología ágil basada en una estrategia continua e incremental, cuyo objetivo es proporcionar un producto funcional al final de cada periodo de trabajo planeado (*sprint*), haciendo reuniones diarias y antes y después de cada *sprint* otras reuniones donde se explican los problemas que se han tenido y como se va a planear el siguiente.

El impedimento más notorio de esta metodología, es que hay un equipo de personas entre las que se encuentra el *product owner*, el *SCRUM master* y el equipo de desarrollo. Además el equipo se recomienda ser de entre 3 a 9 personas para un buen desarrollo, por tanto, en este trabajo ha sido complicado ir haciendo todas las acciones que se piden en la metodología SCRUM.

### GitFlow

GitFlow es un flujo de trabajo, en el cual se ramifica el proyecto en *branches* donde cada una, contiene una parte del proyecto; de esta forma, se puede dejar una parte funcional sin modificar que seria la rama principal, y otras ramas, donde se van realizando los cambios, cuando en estas ramas, se termina la tarea que se esta realizando, haciendo un producto funcional, se realiza una operación de *pull request* para combinar ambas ramas. Esta operación es aceptada o denegada por el equipo de desarrollo que no haya participado en la realización de esta rama.

En mi proyecto, se han creado tres *branches*, que son:

- *main*: es la rama principal, donde se alberga la versión estable del proyecto.
- *boceto*: es una rama secundaria, donde se realizan los cambios que se están realizando en la aplicación móvil.
- *latex*: es la rama secundaria donde se realizan los cambios que se están realizando en el documento LaTeX.

### Método del pato de goma

El método del pato de goma, o *rubber duck debugging*, es un método informal para revisión de código.

Este método es utilizado por muchos programadores y surgió porque normalmente los programadores han tenido experiencias donde han tenido que explicar el problema a otra persona que no entiende sobre programación, y mientras se está explicando el código, encontrar posibles soluciones.

Por tanto, este método, consiste en vez de explicar el código a otra persona, en explicárselo a un pato de goma.

## 4.2. Herramientas

### Repositorio

Entre las opciones para realizar el repositorio, se pensó en GitLab y en GitHub, tomando esta última por conocimiento de uso de esta.

GitHub es una plataforma web de alojamiento de repositorios que utiliza Git como sistema de control de versiones.

Por tanto, como GitHub utiliza Git de forma nativa, no fue necesario la elección de un sistema de control de versiones porque ya estaba incluido.

### Gestión del proyecto

Entre las opciones para gestionar el proyecto, se pensó en poder realizarlo con GitHub Projects, con Jira, con ZenHub y Trello; tomando la opción de ZenHub, por ya estar familiarizado con la herramienta.

ZenHub es una herramienta de gestión de proyectos que se integra con GitHub. Proporciona una tabla Kanban, donde se ponen las actividades a realizar durante el *sprint*. Permite poner una prioridad a las tareas, siguiendo



una estimación de poker, y además, ofrece la posibilidad de ver gráficos *burndown* donde se representa las actividades que faltan por hacer en el *sprint*, también ofrece otros gráficos como *cumulative flow* y *velocity tracking*.

## Guía de diseño

Para la realización de la aplicación, es necesario una guía de diseño que facilite al usuario la interacción con la aplicación. Por ello, se utilizó la última guía ofrecida por Google, llamada Material 3.

Material 3 es la última versión del sistema de diseño del *open source* de Google. En el documento, viene información de recomendación de componentes ante el mismo problema.

## Herramienta de iconos

Para la adición de iconos en la aplicación, es necesario que las imágenes y/o iconos sean *open source* para ello, se estuvieron mirando páginas que ofrecían estos iconos, entre las páginas, al final se seleccionaron pixabay para la obtención de imágenes, puesto que ofrece licencia de uso para proyectos comerciales y no comerciales.

Por otro lado, para los iconos se utilizó Google Fonts y la galería que ofrece Android por defecto, se utilizó Google Fonts, porque en la guía de desarrollo se recomendaba y a su vez, es de código abierto y gratuito.

Para el logotipo de la aplicación, se ha utilizado DALL-E, una inteligencia artificial que convierte texto a imágenes, tras varios intentos, se logró conseguir un logotipo bastante bueno, y con ello, se hicieron unos retoques con el uso del programa de edición de imágenes GIMP, para la eliminación de ruido y para proporcionarle una gamma de colores; como resultado se obtuvo el icono actual.

## Entorno de desarrollo integrado (IDE)

Para el desarrollo de la aplicación móvil, se pensó en Eclipse, Android Studio y Unity.

Al final, se descartó Eclipse por no ofrecer una experiencia de desarrollo específica para aplicaciones Android. Y también se descartó Unity, aunque Unity sí que está especializado en aplicaciones móviles, por otro lado, se especializa en el desarrollo de videojuegos y en aplicaciones con realidad virtual. Por lo tanto, se seleccionó Android Studio, es el IDE oficial de

Android y está desarrollado por Google, basado en IntelliJ IDEA. Ofrece un emulador donde se compila la aplicación y poder comprobar el correcto funcionamiento de esta. Además, para la compilación hace uso de Gradle, separando el código de la aplicación, de la compilación.

El lenguaje utilizado ha sido Java, aunque Android Studio ofrece la opción de Kotlin, con Java no hacia falta aprender un nuevo lenguaje, puesto que se ha cursado durante la carrera.

## **LaTeX**

Para la realización del documento, se pensó utilizar MiKTeX, TeX Live u Overleaf.

Al final, se escogió Overleaf, puesto que las otras 2 herramientas eran locales, y Overleaf ofrece acceso desde la nube, además tiene integración con proyectos GitHub, facilitando la exportación al repositorio.

## **Comunicación**

Para la comunicación con los tutores, se uso tanto email, como tutorías presenciales, de esta forma, las cuestiones y los avances realizados se hacen por email, y en caso de mostrar el funcionamiento de la aplicación o alguna duda más importante, se realiza presencialmente para un mejor entendimiento.

## **4.3. Patrones de diseño**

### **Modelo-Vista-Presentador**

Es una derivación del patrón modelo-vista-controlador, la diferencia es que se cambia el controlador por un presentador, el cual sirve como intermediario entre el modelo y la interfaz.

- El modelo, define los datos que se utilizan en la interfaz.
- El presentador, funciona como intermediario, recuperando los datos del modelo, y cambiando la vista de la interfaz.
- La vista, es la interfaz de usuario.

Puesto que Android Studio, ya proporciona separaciones para hacer uso de un modelo-vista-presentador, su implementación ha sido sencilla, donde las *activities* son las diferentes interfaces, los archivos java del directorio `com.example.retinopatia` son los presentadores de las vistas, y en el directorio `DataBase` se encuentra el modelo de datos.



---

## Aspectos relevantes del desarrollo del proyecto

---

Este apartado pretende recoger los aspectos más interesantes del desarrollo del proyecto, comentados por los autores del mismo. Debe incluir desde la exposición del ciclo de vida utilizado, hasta los detalles de mayor relevancia de las fases de análisis, diseño e implementación. Se busca que no sea una mera operación de copiar y pegar diagramas y extractos del código fuente, sino que realmente se justifiquen los caminos de solución que se han tomado, especialmente aquellos que no sean triviales. Puede ser el lugar más adecuado para documentar los aspectos más interesantes del diseño y de la implementación, con un mayor hincapié en aspectos tales como el tipo de arquitectura elegido, los índices de las tablas de la base de datos, normalización y desnormalización, distribución en ficheros<sup>3</sup>, reglas de negocio dentro de las bases de datos (EDVHV GH GDWRV DFWLYDV), aspectos de desarrollo relacionados con el WWW... Este apartado, debe convertirse en el resumen de la experiencia práctica del proyecto, y por sí mismo justifica que la memoria se convierta en un documento útil, fuente de referencia para los autores, los tutores y futuros alumnos.



---

## Trabajos relacionados

---

### 6.1. Proyectos

#### Ret-iN CaM

Ret-iN CaM es la aplicación que se ha tomado de referencia para hacer el proyecto. Es una aplicación iOS que posteriormente sacó una versión para Android. Es una aplicación que permite realizar imágenes y vídeos de la retina con una gran resolución, proporcionando los informes del paciente, los cuales se pueden exportar para ser compartidos con otros especialistas. A su vez, tiene una interfaz simple e intuitiva, lo que facilita a los usuarios interactuar fácilmente con ella. Principal motivo por el que se ha escogido esta aplicación.

#### D-EYE 2.0

Es un proyecto que permite la toma de imágenes y vídeos de alta calidad; permite a los médicos ver el nervio óptico sin necesidad de dilatar las pupilas; permite a los médicos ver si el paciente tiene trastornos neurológicos relacionados con el ojo.

## 6.2. Comparativa del proyecto

Características	RetinAI	Ret-iN CaM	D-EYE 2.0
Aplicación Android	X	X	
Aplicación iOS		X	X
Creación de usuarios			X
Cambio de modo oscuro y claro	X		
Permite iniciar sesión como invitado	X		
Permite guardar la sesión		X	X
Permite elegir el paciente	X	X	X
Ver historial del paciente	X	X	X
Crear nuevos informes	X	X	X
Permite diferenciar entre ojos	X	X	X
Permite hacer imágenes	X	X	X
Permite hacer vídeos		X	X
Escoger imágenes desde la galería	X		
Red neuronal para los resultados	X		
Versión gratuita	X	X	X

Tabla 6.1: Comparativa de las características de los proyectos.

De esta forma, se puede ver las ventajas que ofrece el proyecto.

- Actualmente, hay más móviles con sistema operativo Android que con iOS, por tanto, se ha realizado la aplicación en un sistema Android por este motivo.
- No se permite la creación de usuarios, puesto que como la aplicación esta destinada a médicos de la sanidad publica, la entidad encargada les proporcionará las cuentas para la aplicación.
- La aplicación tiene la opción de cambiar entre modo oscuro y modo claro, de esta forma, permite al usuario adaptarla a su preferencia.
- Al iniciar sesión como usuario, los médicos podrán tener un diagnostico rápido de un paciente, sin que se almacene el informe en la base de datos.
- A la hora de seleccionar pacientes, se ha considerado la protección de datos de los pacientes y para que el médico seleccione a uno, tendrá que poner el DNI.



- Como es posible que se analice una foto tomada desde otro dispositivo. Se ha considerado esta idea mostrando en el explorador de archivos las imágenes.
- Ofrece una red neuronal ya entrenada, la cual determina el grado de retinopatía diabética que tiene el paciente. Característica en la que se basa la aplicación.



---

## **Conclusiones y Líneas de trabajo futuras**

---

Todo proyecto debe incluir las conclusiones que se derivan de su desarrollo. Éstas pueden ser de diferente índole, dependiendo de la tipología del proyecto, pero normalmente van a estar presentes un conjunto de conclusiones relacionadas con los resultados del proyecto y un conjunto de conclusiones técnicas. Además, resulta muy útil realizar un informe crítico indicando cómo se puede mejorar el proyecto, o cómo se puede continuar trabajando en la línea del proyecto realizado.



---

## Bibliografía

---

- [1] Organización Mundial de la Salud. Ceguera y discapacidad visual, 2022. [Online; Accedido 10-febrero-2023].
- [2] Organización Mundial de la Salud. Diabetes, 2022. [Online; Accedido 18-febrero-2023].
- [3] John R. Koza. *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*. MIT Press, 1992.
- [4] Cecelia Koetting OD, FAAO. The four stages of diabetic retinopathy. *Modern Optometry*, 2019.
- [5] Wikipedia. Latex — wikipedia, la enciclopedia libre, 2015. [Internet; descargado 30-septiembre-2015].