



UNIVERSIDAD DE BURGOS
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
Grado en Ingeniería Informática



**TFG del Grado en Ingeniería
Informática**

**Diseño de un sistema de
identificación de personas
Documentación Técnica**



Presentado por Víctor de Castro Hurtado
en Universidad de Burgos — 19 de junio
de 2018

Tutor: César Represa

Índice general

Índice general	I
Índice de figuras	III
Índice de tablas	v
Apéndice A Plan de Proyecto Software	1
A.1. Introducción	1
A.2. Planificación temporal	2
A.3. Estudio de viabilidad	16
Apéndice B Especificación de Requisitos	17
B.1. Introducción	17
B.2. Objetivos generales	18
B.3. Catalogo de requisitos	19
B.4. Especificación de requisitos	22
Apéndice C Especificación de diseño	31
C.1. Introducción	31
C.2. Diseño de datos	31
C.3. Diseño procedimental	31
C.4. Diseño arquitectónico	31
Apéndice D Documentación técnica de programación	39
D.1. Introducción	39
D.2. Estructura de directorios	39
D.3. Manual del programador	39

D.4. Compilación, instalación y ejecución del proyecto	39
D.5. Pruebas del sistema	39
Apéndice E Documentación de usuario	45
E.1. Introducción	45
E.2. Requisitos de usuarios	45
E.3. Instalación	46
E.4. Manual del usuario	46
Bibliografía	53

Índice de figuras

A.1. Primer commit.	3
A.2. Commit con el que finaliza la parte del planteamiento del proyecto.	3
A.3. Commit con los recursos instalados en el proyecto.	7
A.4. Commit con las primeras imágenes de prueba.	8
A.5. Commit con el que finaliza la fase de abrir, capturar, guardar y modificar una imagen.	8
A.6. Commit que solucionaba el problema de recursos no compatibles con las nuevas versiones de python.	8
A.7. Commit con la implementación de la captura de la cámara.	9
A.8. Commit con la localización del rostro en una imagen implementada.	9
A.9. Commit con la normalización de la iluminación de la imagen.	9
A.10.Reconocimiento facial utilizando el método LBPH.. . . .	10
A.11.Commit con cambios en la implementación de los métodos que permiten el reconocimiento facial (parte I).	10
A.12.Commit con cambios en la implementación de los métodos que permiten el reconocimiento facial (parte II).	10
A.13.Commit con cambios en la implementación de los métodos que permiten el reconocimiento facial (parte III).	11
A.14.Commit con cambios en la implementación de los métodos que permiten el reconocimiento facial (parte I).	11
A.15.Commit con la implementación de ventana de la nueva interfaz.	11
A.16.Commit con el menú final de cara al usuario final.	12
A.17.Commit con la implementación de la barra de progreso.	12
A.18.Commit con el 'popup' y la información extra.	12
A.19.Commit solucionando el problema de las ventanas 'popup'.	13
A.20.Commit con el ejecutable base y su mejora.	13
A.21.Commit con la primera versión de la memoria en LaTeX.	13

A.22.Commit con una de las actualizaciones del fichero README.md.	14
A.23.Grafo con el número de commits por semana.	15
B.1. Diagrama con los principales casos de uso de nuestra aplicación.	22
C.1. Ejemplo de patrón Adaptador utilizado al comienzo del desarrollo del proyecto.	32
C.2. Ejemplo de patrón Abstract Factory utilizado al comienzo del desarrollo del proyecto.	33
C.3. Ejemplo de patrón Singleton utilizado en la clase GUI.	33
C.4. Flujograma inicial de primer nivel.	34
C.5. Flujograma inicial de 2º nivel.	34
C.6. Flujograma inicial de tercer nivel: Capturar imagen.	35
C.7. Flujograma inicial de tercer nivel: Localizar rostro.	35
C.8. Flujograma inicial de tercer nivel: Extraer características.	36
C.9. Flujograma inicial de tercer nivel: Extraer patrón.	37
C.10.Flujograma inicial de tercer nivel: Entrenar red.	37
C.11.Requisitos funcionales generales del proyecto.	38
D.1. Fallo al entrenar por haber 0 imágenes en la base de datos. . . .	43

Índice de tablas

A.1. Distribución del desarrollo del proyecto según Milestones e Issues.	6
B.1. CU 1.- Gestionar la base de datos	23
B.2. CU 2.- Entrenar la red	24
B.3. CU 3.- Obtener imagen a identificar	25
B.4. CU 3.1.- Obtener imagen desde una captura	26
B.5. CU 3.2.- Obtener imagen desde un fichero	27
B.6. CU 3.3.- Obtener imagen en tiempo real	28
B.7. CU 4.- Reconocer caras	29
B.8. CU 5.- Mostrar resultados	30

Apéndice A

Plan de Proyecto Software

A.1. Introducción

Aunque nos hemos basado en un método de desarrollo en cascada [69], hemos incluido algunos elementos de la **metodología scrum** [72] como las reuniones mensuales/semanales.

En cuanto al desarrollo en cascada, hemos tomado la base de este método, ya que teníamos unos requisitos iniciales, que eran los objetivos primarios que teníamos que cumplir (se pueden encontrar en la sección *2_Objetivos_del_proyecto* de la memoria principal), a partir de los cuales se hizo un primer diseño del proyecto, tras lo cual se pasó al desarrollo e implementación.

En cuanto a la metodología scrum, incluimos reuniones con el tutor. Las primeras para ver que estructura tenía el proyecto y que posibles cambios iniciales se podrían realizar, y el resto de ellas para ver cómo iba avanzando el proyecto, lo que necesitaba ser mejorado o cambiado, o asignar nuevas tareas hasta la próxima reunión (en nuestro caso la mayoría fueron semanales o quincenales, en vez de mensuales).

A.2. Planificación temporal

Las fases que se han seguido a la hora de desarrollar el proyecto han sido [58]:

- **Definir el proyecto**

Al principio se tuvo que escoger el tipo de proyecto que se iba a realizar. En nuestro caso un proyecto medio, ya que no se tenían ni el tiempo ni los recursos necesarios para que fuera un proyecto demasiado grande, y tampoco podía ser un proyecto demasiado pequeño dado el objetivo del mismo.

También se tuvo que definir la idea principal, que en nuestro caso iba a ser reconocer gente.

- **Identificar información, recursos y requisitos**

A continuación, se definió qué tipo de información iba a tratar: íbamos a trabajar con imágenes en sus diferentes formatos, y con redes neuronales, las cuales íbamos a entrenar para que reconocieran a la gente almacenada en nuestra base de datos.

Los recursos de los que íbamos a disponer eran:

1. La imagen que obtuviéramos con la cámara.
2. Otras imágenes de gente a la que necesitáramos reconocer (en nuestro caso gente desaparecida o en busca y captura). Dichas imágenes se obtendrían de una base de datos oficial de la policía/gobierno.
3. Información básica sobre cada una de las personas que tuviéramos almacenadas en la base de datos de nuestro programa.

En cuanto a los requisitos que necesitábamos cumplir, se establecieron los siguientes (se entrará en más detalle en la sección *B_Requisitos* **B**):

1. Obtener imágenes en tiempo real.
2. Entrenar una red neuronal con machine-learning o derivados (deep learning, computer vision, etc).
3. Tener una base de datos con imágenes que usaríamos para entrenar dicha red.
4. Realizar una comparación satisfactoria de la persona identificada en la imagen en tiempo real.
5. Mostrar resultados e información en una interfaz al usuario.

Estas primeras fases del proyecto (identificación de recursos y requisitos, planteamiento del proyecto, definición y diseño del proyecto) duró aproximadamente dos semanas, desde la primera de Febrero que se creó el proyecto en Github **A.1**, hasta mediados del mismo mes, que se pasó a la fase de desarrollo al empezar a instalar el material necesario **A.2**.



Figura A.1: Primer commit.

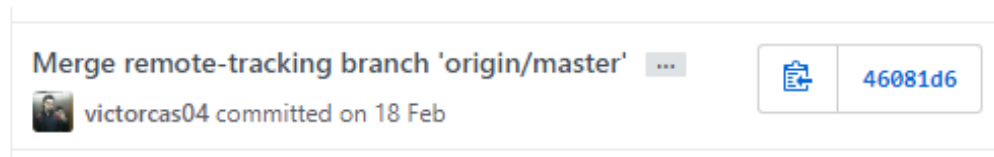


Figura A.2: Commit con el que finaliza la parte del planteamiento del proyecto.

■ Fase de planificación

Cuando se empezó a desarrollar el proyecto, se sabía cual era el objetivo general del proyecto, aunque no el camino exacto que iba a seguir, de manera que se optó por seguir una serie de hitos principales, enumerados en el apartado anterior, y a partir de esos hitos ir creando otros más pequeños y asequibles a la hora del desarrollo.

No se pretendía ir completando los hitos uno por uno y que no se pudiera empezar a desarrollar uno hasta que se acabara el anterior, de manera que el progreso se ha ido realizando sobre todos ellos de manera más o menos equivalente.

Los hitos grandes no tenían fecha prevista de ser completados, sino que se completarían cuando no quedaran tareas pendientes relacionadas con dicho hito, de manera que era complicado planificar el desarrollo para que coincidiera con unos plazos concretos, así que se planificaron el resto de tareas más pequeñas, completando varias para cada reunión.

Dichas reuniones se llevaban a cabo en función del trabajo planteado de una a otra, así que no eran todas las semanas, sino que se adaptaban un poco al trabajo pendiente, aunque si que es cierto que se han tenido reuniones cada (como máximo) dos semanas, para llevar un seguimiento más o menos regular del desarrollo y que no se quede el mismo estancado en el mismo punto demasiado tiempo.

En las herramientas que se han barajado utilizar respecto a la planificación, se barajó utilizar *Trello* [6], aunque se descartó ya que, sin otros miembros que aporten contenido, no tenía sentido tener una lista de tareas 'to do' o 'doing' para una sola persona.

También se pensó en utilizar *Zenhub* [75] para la planificación de hitos, tareas y sprints, aunque se descartó la idea al no tener unos plazos fijos de entrega para cada una de ellas.

■ Fase de investigación

A la vez que se realizaba la planificación de las tareas semanales, se iba realizando un proceso de investigación e información, tanto de conceptos y mecánicas como de seguimiento de tutoriales, documentación y diferentes referencias sobre los temas tratados en el proyecto (para más información consultar el apartado *3_Conceptos_teóricos* de la memoria principal).

Aunque fue durante esta fase cuando se realizó la mayor parte de investigación, ha sido un proceso continuo y constante de aprendizaje, realizando nuevos descubrimientos hasta la última semana de desarrollo.

■ Desarrollo

En este apartado hemos ido realizando el desarrollo del propio proyecto, tanto la estructura de la fase de planificación como el propio código. Para ello se ha seguido un orden lógico de desarrollo, centrándonos primero en la funcionalidad básica de tomar una imagen de la cámara y compararla con las de la base de datos, para pasar más tarde a ampliar el número de muestras de nuestra red para mejorar el ratio de acierto de las predicciones, crear un interfaz gráfico para mostrar los resultados y que al usuario le resulte más sencilla su interpretación y crear un ejecutable para evitar tener que ejecutar nuestro código completo en un editor.

Estas últimas modificaciones se toman para facilidad del usuario, intentando automatizar todo lo posible el proceso, aunque es cierto que se necesitan ciertos datos por parte del usuario, además de permitirle cierta libertad (por ejemplo, podríamos entrenar la red a cada ejecución, incluso si nuestras muestras no han variado y la red está correctamente entrenada, pero supondría una pérdida de tiempo y recursos en muchos casos, de manera que se opta por darle opción al usuario).

En la tabla A.1 se pueden observar tanto los milestones principales del desarrollo del proyecto como las issues o tareas asociadas a cada uno.

Tabla A.1: Distribución del desarrollo del proyecto según Milestones e Issues.

Milestones	Issues	Type of Issue
1.- Install and Configure		
	Install environment	Develop
	Create class diagram	Develop
	Basic readme	Develop
2.- Image manipulation		
	Open image from file	Develop
	Save images	Develop
	Tensorflow Tutorials	Develop
	Meeting	Meeting
3.- Basic image recognition		
	Import OpenCV	Develop
	Capture image from camera	Develop
	Normalize illumination	Enhancement
	Create basic parameters	Develop
	Facial recognition (I)	Develop
	Meeting	Meeting
4.- Apply computer vision		
	Improve camera recording	Enhancement
	Change face location display	Enhancement
	Facial recognition (II)	Develop
	Meeting	Meeting
	Acquire camera	Enhancement
5.- Create database		
	Create local storage	Develop
	Get more images	Enhancement
6.- Interface		
	Basic interface	Develop
	Dynamic window	Enhancement
	Facial recognition (III)	Enhancement
	Camera view	Enhancement
	Result images	Develop
	Compare bar/percentage	Develop
	Meeting	Meeting

Continúa en la siguiente página...

Tabla A.1 – Continúa desde la página anterior...

Milestones	Issues	Type of Issue
	Result information Executable	Develop Develop
7.- Report		
	Basic report Meeting Clean and order code Update readme Final report Video	Develop Meeting Enhancement Enhancement Enhancement Develop

El tiempo que nos ha llevado esta fase ha sido el restante desde finales de Febrero hasta mediados de Junio (algo más de tres meses), siendo la parte más importante del proyecto, a continuación se detalla el tiempo requerido en cada uno de los apartados (*milestones* en Github) en los que hemos dividido el proyecto:

- Instalación y configuración

En este apartado se han incluido pequeñas tareas como pueden ser: instalar el entorno, crear diagrama de clases, crear algunos ficheros básicos del proyecto, etc. En esta fase se instalaron todos los requisitos técnicos, librerías y dependencias.

El tiempo medio empleado en esta fase fue de una semana, como se puede ver en el primer A.3 commit de esta fase.

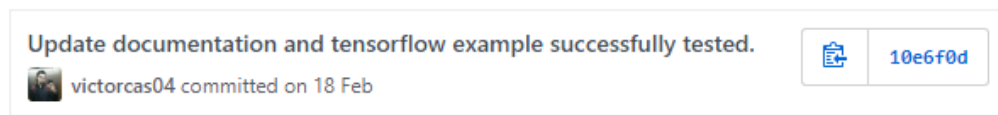


Figura A.3: Commit con los recursos instalados en el proyecto.

- Captura y manipulación de imágenes

En este apartado se hacen diversos commits de tareas en las que teníamos que implementar una forma de abrir y guardar imágenes, así como completar algunos tutoriales on-line sobre el funcionamiento de aplicaciones de machine-learning.

El tiempo medio empleado en esta fase fue de casi un mes, desde finales de Febrero A.4 hasta mediados de Marzo A.5.

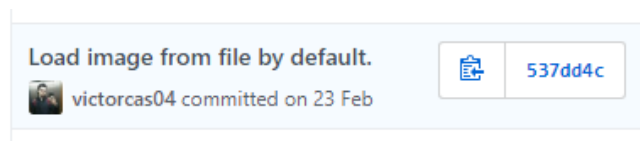


Figura A.4: Commit con las primeras imágenes de prueba.

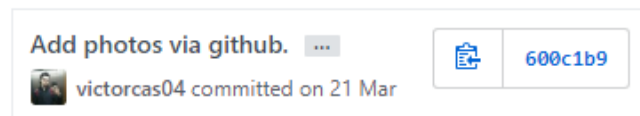


Figura A.5: Commit con el que finaliza la fase de abrir, capturar, guardar y modificar una imagen.

Además, en esta fase se encontró un problema derivado de una de las librerías (*OpenCV*), el cual hacía que dicha librería no fuera compatible con nuestra versión de python (*Python 3.6* en un principio), por lo que se cambió la configuración del proyecto para trabajar con *python 2.7* A.6.



Figura A.6: Commit que solucionaba el problema de recursos no compatibles con las nuevas versiones de python.

- Reconocimiento de imágenes: localización del rostro y extracción de características

Antes de empezar con esta fase, al final de la fase anterior se dejaron los tutoriales de TensorFlow aparte, ya que suponían una inversión enorme de tiempo, y se optó por una opción más sencilla: *OpenCV* A.6.

En este apartado se desarrolla la captura por pantalla de un frame A.7. A continuación, se implementa la primera parte del reconocimiento facial, donde se localizan los rostros de la gente en dicha imagen A.8, previamente normalizada A.9, además de extraer las características de cada uno de esos rostros (en nuestro caso hemos limitado el número de caras que puede reconocer en cada imagen a uno para evitar falsos positivos).

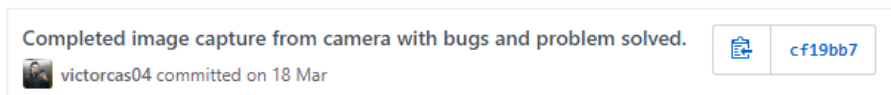


Figura A.7: Commit con la implementación de la captura de la cámara.

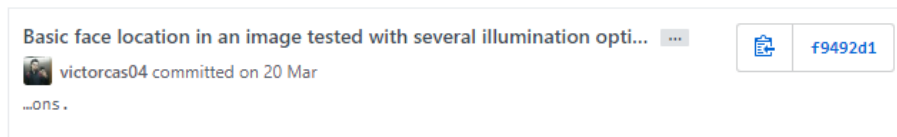


Figura A.8: Commit con la localización del rostro en una imagen implementada.

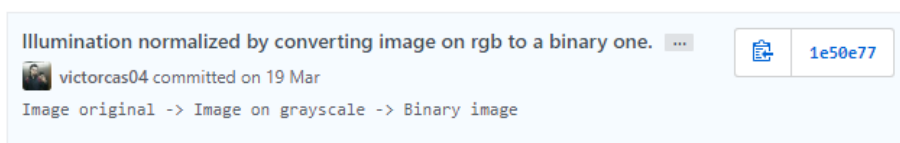


Figura A.9: Commit con la normalización de la iluminación de la imagen.

Además, se implementó una primera versión de reconocimiento facial a partir de la técnica *LBPH* A.10, explicada en la memoria principal, en la sección *3_conceptos_teoricos*.

El tiempo medio empleado en esta fase fue de casi un mes, desde mediados de Marzo hasta mediados de Abril.

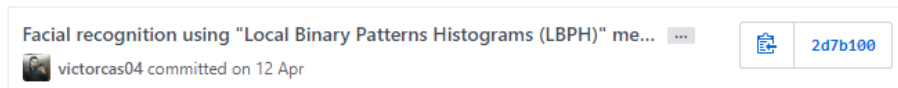


Figura A.10: Reconocimiento facial utilizando el método LBPH..

- Reconocimiento de imágenes: mejorar resultados de predicciones con computer vision

En esta parte se mejora el porcentaje de reconocimiento de una persona (aproximadamente, de un 40 50 % a un 60 70 %) A.11, A.12 restringiendo la zona de obtención de características del rostro y cambiando parámetros tanto de iluminación como de la predicción de la red A.13.

El tiempo medio empleado en esta fase fue de un mes, desde mediados de Abril hasta mediados de Mayo.

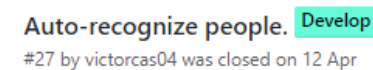


Figura A.11: Commit con cambios en la implementación de los métodos que permiten el reconocimiento facial (parte I).

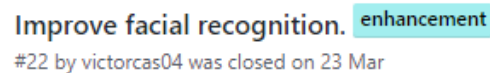


Figura A.12: Commit con cambios en la implementación de los métodos que permiten el reconocimiento facial (parte II).

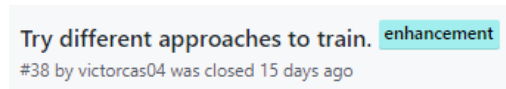


Figura A.13: Commit con cambios en la implementación de los métodos que permiten el reconocimiento facial (parte III).

- Desarrollar una interfaz

Esta es la parte que va a ver el usuario: la interfaz visual, de manera que se han empleado algo más de dos meses, desde principios de Marzo hasta mediados de Mayo.

Una de las primeras tareas es la de ajusta el tamaño de las imágenes de salida para hacer dicha salida más estable a la hora de realizar comparativas o ejecuciones sucesivas [A.14](#), sin mencionar el reconocimiento en real-time, en cuyo caso, de no haber considerado estandarizar el tamaño de las imágenes, cada una ocuparía una parte diferente de la interfaz, y como esta cambia cada 0.5 segundos, habría sido demasiado caótico. También se modifica el grosor del rectángulo que rodea el rostro de manera automática, de manera que sea proporcional al tamaño de la imagen, y se hace una ventana de tamaño variable en función del tamaño de la pantalla en medidas relativas, para que dicha interfaz se adapte el dispositivo en que se ejecute [A.15](#), aunque no sea modificable por el usuario (se han inhabilitado las opciones de minimización y reescalado).



Figura A.14: Commit con cambios en la implementación de los métodos que permiten el reconocimiento facial (parte I).

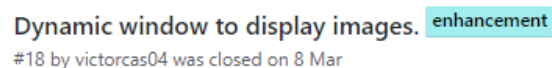


Figura A.15: Commit con la implementación de ventana de la nueva interfaz.

Se decide crear un pequeño pero intuitivo menú para el usuario. Las funcionalidades descritas en el menú ya estaban funcionales de etapas anteriores, pero se ha decidido incluir dicho menú para facilidad de uso por parte del usuario [A.16](#).



Figura A.16: Commit con el menú final de cara al usuario final.

En la ventana donde se muestran los resultados, se ha añadido también en esta etapa una barra de progreso, indicando en tanto por ciento (%) la probabilidad de que sea la persona correcta identificada [A.17](#).

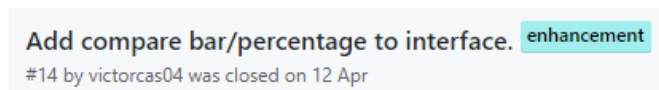


Figura A.17: Commit con la implementación de la barra de progreso.

Como un pequeño extra, se ha incluido algo de información de cada una de las personas en la base de datos (nombre, edad, etc), de manera que si se pulsa el botón de *More information*, nos creará una ventana emergente (*popup*) con dicha información [A.18](#).

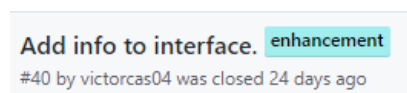


Figura A.18: Commit con el 'popup' y la información extra.

Durante la implementación de esta tarea, nos encontramos con un problema, y es que no podíamos abrir dos ventanas de la misma interfaz al mismo tiempo ya que daba fallos de compatibilidad (por motivos de seguridad, para evitar que unas ventanas creen otras de forma recursiva), pero al final se consiguió solucionar este pequeño contratiempo añadiendo algunos parámetros en la creación de este 'popup' para evitar que la ventana principal siguiera ejecutándose [A.19](#).



Figura A.19: Commit solucionando el problema de las ventanas 'popup'.

Para terminar con el entorno de usuario, se ha creado un pequeño script ejecutable (fichero `.bat`) que ejecuta el proyecto desde la consola de comandos, mostrando alguna información por dicha consola (más por curiosidad que por utilidad, al usuario medio lo que haga internamente el programa no le importa, pero para este proyecto se ha decidido incluirlo para propósitos académicos), aunque la información importante se mostrará en la interfaz explicada anteriormente A.20.



Figura A.20: Commit con el ejecutable base y su mejora.

- Memoria y anexos

Esta parte consiste en escribir la memoria con todos los anexos, desarrollando cada punto y dando explicación a algunas preguntas interesantes A.21.

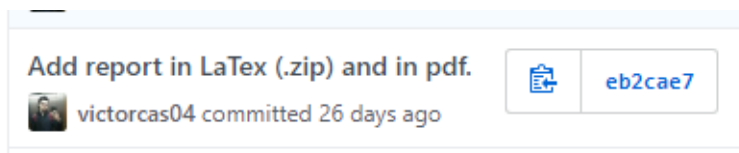


Figura A.21: Commit con la primera versión de la memoria en LaTeX.

También se ha actualizado el fichero *Readme.md* que sirve como carta de presentación de nuestro proyecto en *Github* [A.22](#).

Esta tarea se lleva desarrollando desde principios de Mayo, y hasta la fecha (principios de Junio) se sigue desarrollando.

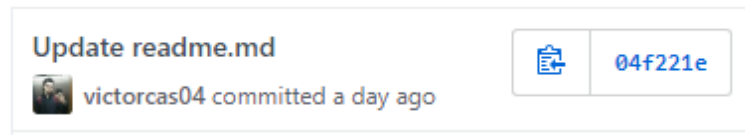


Figura A.22: Commit con una de las actualizaciones del fichero README.md.

■ Revisión y control continuo

Aunque esta parte no es una fase la cual haya que planificar como las demás, si que se han ido teniendo reuniones (semanales o bisemanales) mencionadas en la planificación, además de haber ido llevando un control de errores por cuenta propia, que se iban resolviendo inmediatamente si eran urgentes, o después de realizar las tareas asignadas para esa semana si no afectaban al uso general del programa.

Con el proyecto en *Github*, ha sido sencillo seguir el progreso y desarrollo del mismo, sabiendo en todo momento qué tareas estábamos realizando, cuales nos quedaban por realizar, cuales eran los objetivos generales, etc.

■ Histórico de commits

Se puede ver un gráfico con el histórico de commits en Github en la imagen A.23. Como se puede observar, se ha mantenido un flujo más o menos constante salvo determinados días, correspondientes a épocas sin exámenes o con algo más de tiempo libre en el que se podía avanzar libremente en el proyecto.

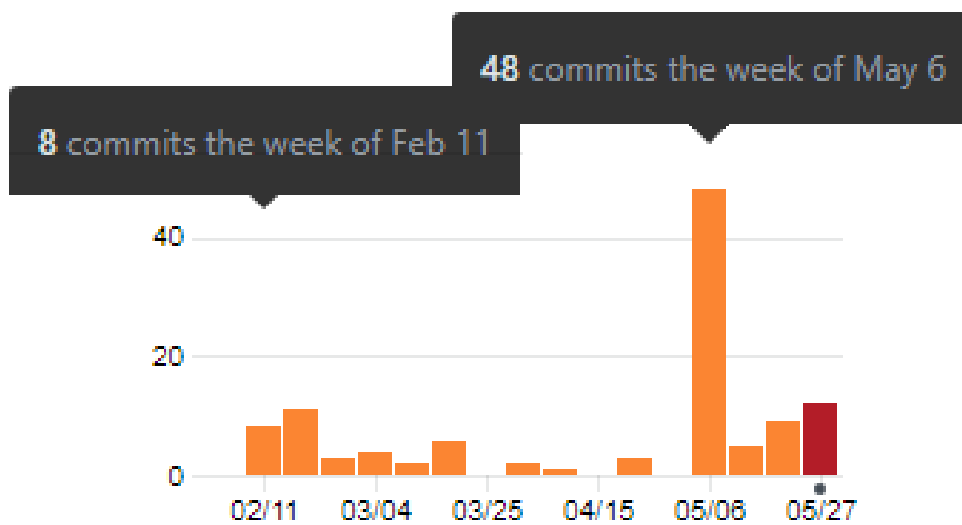


Figura A.23: Grafo con el número de commits por semana.

A.3. Estudio de viabilidad

¿Es viable?

Esta pregunta es un poco ambigua, y vamos a entrar más en detalle en cada una de sus posibles ramificaciones, pero para los impacientes, la respuesta breve es SI en el ámbito tecnológico y DEPENDE en los ámbitos moral y legal.

Viabilidad económica

Es viable tecnológicamente si se tiene un *sistema distribuido* [70] en el cual se tenga un servidor (que sea capaz de realizar procesamiento en paralelo [71]) donde se realicen todas las operaciones de comparación, predicción, muestreo de resultados, etc., y varios clientes, concretamente uno por cada cámara (o zona de cámaras), que se encargarán de obtener las imágenes de la calle y enviárselas al servidor junto con información de qué cámara ha realizado esa captura, en qué zona está, a qué hora, etc. Como podemos observar, ya se tiene una estructura similar hoy en día, de modo que se podría aprovechar ese sistema, ahorrando costes.

Viabilidad legal

En cuanto al apartado legal, es una cuestión complicada, ya que, depende de países, unos tienen unas normas y leyes de privacidad más o menos estrictas. En el caso de España, ya se controla el acceso a determinados lugares públicos como aeropuertos, de manera que sería extender ese control y mejorarlo.

Viabilidad moral

Una cuestión que mucha gente no está dispuesta a dejar pasar es el riesgo moral: ¿merece la pena la pérdida de privacidad por un poco más de seguridad? Desde luego, es una cuestión muy importante, pero es demasiado compleja como para resolverlo aquí, ya que cada uno tendrá su opinión y tampoco es el objetivo que persigue este proyecto.

Apéndice *B*

Especificación de Requisitos

B.1. Introducción

Como **requisitos software**, es necesario tener instalado *python* (preferiblemente en su versión 2.7, o un entorno virtual con dicha versión ya que es el entorno en el que se ha desarrollado) y diferentes librerías: *cv2* (machine-learning orientado a imágenes), *tKinter* (interfaz), *numpy* (utilidad), *Pillow* (operaciones con imágenes). Todas ellas se pueden encontrar en la sección *4_Tecnicas_y_herramientas* de la memoria principal). En nuestro caso se ha probado en un entorno controlado con *Windows 10*, no se asegura su funcionamiento para otras distribuciones.

En nuestro entorno de pruebas se ha utilizado tanto una cámara externa (*Logitech WEBCAM C170* con resolución $[1024 \times 768]$ [36]) como la cámara integrada del portátil (*Sony Vaio VPCF13A4E* con resolución $[640 \times 480]$). Dicho portátil tiene las siguientes características: 6Gb de memoria RAM, Tarjeta gráfica GT425m y un procesador Intel Core i5 de 4^a generación. De modo que se tomarán estas características como **requisitos hardware** mínimos.

B.2. Objetivos generales

El TFG consiste en una aplicación que, dadas dos imágenes, una obtenida en el momento de ejecución, ya sea mediante fichero (accediendo a la foto que tengamos almacenada en nuestro equipo), o mediante una captura que realicemos con nuestra cámara, y la otra alojada localmente en una base de datos: sea capaz de distinguir si en ambas imágenes se encuentra la misma persona utilizando técnicas de machine-learning.

A la hora de comparar ambas imágenes, si la persona que se pone delante de la cámara no estaba registrada en la base de datos, aparecerá la persona que esté registrada que más se parezca. En caso de que no se supere un umbral de coincidencia con ninguna de las personas registradas, mostrará una imagen por defecto avisando de que no se ha podido obtener ningún resultado satisfactorio.

En cualquier caso, junto con la imagen que se obtenga como resultado, se mostrará una barra de progreso, que indica el porcentaje de acierto que ha obtenido al encontrar dicho resultado. Además, se muestra un botón que nos permite crear otra ventana extra con información de la persona obtenida como resultado (nombre, edad, lugar de nacimiento y profesión).

Los objetivos generales derivados de la explicación anterior, así como los técnicos y los personales se pueden encontrar en la sección *2_Objetivos_del_proyecto* de la memoria principal y son:

- Obtener una imagen, ya sea almacenada o en tiempo real.
- Reconocer un rostro partir de una imagen.
- Comparar dicho rostro con otros almacenados en la base de datos.
- Mostrar el rostro almacenado con mayor coincidencia con el primero en una interfaz sencilla.

B.3. Catalogo de requisitos

El objetivo principal de este trabajo consiste en identificar el rostro de una persona presente en una imagen (ya sea grabada o capturada en tiempo real) comparándolo con una lista de rostros almacenados en una base de datos.

Requisitos funcionales

RF 1.- Gestionar la base de datos

En esta parte se le permite al usuario manipular la base de datos de la siguiente forma.

RF 1.1.- Añadir imágenes

El usuario podrá capturar nuevas imágenes y almacenarlas en la base de datos.

RF 1.2.- Personalizar datos

El usuario podrá ser capaz de personalizar los datos de las nuevas imágenes almacenadas.

RF 2.- Entrenar la red

El usuario podrá elegir entrenar o no la red.

RF 3.- Obtener imagen a identificar

Se obtiene una imagen mediante diferentes medios con la cual continuará el reconocimiento facial.

RF 3.1.- Obtener imagen desde una captura

Se le muestra al usuario una imagen en tiempo real de la cámara, y es él el que elige cuando realizar la captura que servirá para el reconocimiento.

RF 3.2.- Obtener imagen desde un fichero

El usuario puede elegir una imagen desde fichero, el cual se utilizará durante el reconocimiento.

RF 3.3.- Obtener image en tiempo real

Al usuario se le muestra en todo momento una imagen en tiempo real, junto con los resultados obtenidos de dicha imagen.

RF 4.- Reconocer caras

En este requisito se localizan e identifican los rostros que aparecen en una imagen.

RF 4.1.- Localizar rostros

Se localizarán automáticamente los rostros dentro de una imagen, continuando o no con la ejecución en función del número de rostros.

RF 4.2.- Identificar rostros

Se reconocen las personas que aparecen en los rostros de las imágenes utilizando sistemas de *computer-vision*.

RF 5.- Mostrar resultados

El usuario podrá observar, mediante una interfaz sencilla, los resultados obtenidos de la ejecución del programa.

Requisitos no funcionales**RNF 1.- Reducir el tiempo entre muestreos**

En el reconocimiento en tiempo real, conseguir que el tiempo de muestreo entre dos *frames* consecutivos sea menor de un segundo para aumentar la eficacia.

RNF 2.- Usar hardware genérico

Conseguir adaptar el software para que funcione con cualquier tipo de hardware, no solamente con el propio del entorno de desarrollo.

RNF 2.1.- Usar cámaras genéricas

La aplicación podrá ejecutarse con todo tipo de cámaras. Sin establecer una resolución específica, se tomará una por defecto *[640 X 480]*.

RNF 2.2.- Usar monitores genéricos

La aplicación podrá ejecutarse con todo tipo de monitores, de manera que se reescala la interfaz de forma automática en función de las dimensiones del mismo, siendo lo recomendado una relación de aspecto de *16:9*.

RNF 3.- Facilitar el uso de la aplicación

Con estos requisitos se pretende facilitarle el trabajo al usuario.

RNF 3.1.- Ampliar opciones durante la captura

Mientras tenga que realizar una captura con la cámara, al usuario se le proporcionan varias opciones (consultar apartado *E_Manual_usuario* **E**) entre las que se incluye pausar la cámara, mostrar información y ayuda o salir sin tomar ninguna imagen.

RNF 3.2.- Mostrar porcentaje de coincidencia

En la interfaz final, junto con ambas imágenes, mostrar que tanto por ciento se parecen ambas según el resultado de la predicción realizada por nuestro sistema de *computer-vision*.

RNF 3.3.- Mostrar barra de coincidencia

En la interfaz final, junto con ambas imágenes y el tanto por ciento, mostrar una barra de progreso que represente dicho % para facilitarle al usuario su comprensión.

RNF 3.4.- Mostrar más información

En la interfaz final, mostrar información acerca de la persona reconocida en la imagen.

RNF 3.5.- Filtrar archivos

Cuando el usuario elige cargar una imagen desde fichero, tiene la opción de filtrar los resultados según el tipo de archivo con una determinada extensión (*.png* o *.jpg*) para facilitar su búsqueda.

B.4. Especificación de requisitos

En esta sección se detallan todos los casos de uso de nuestra aplicación, que coinciden con los requisitos funcionales mostrados en el apartado anterior. Además se adjunta un diagrama de casos de uso [B.1](#) correspondiente de la aplicación, el cual justifica estos requisitos.

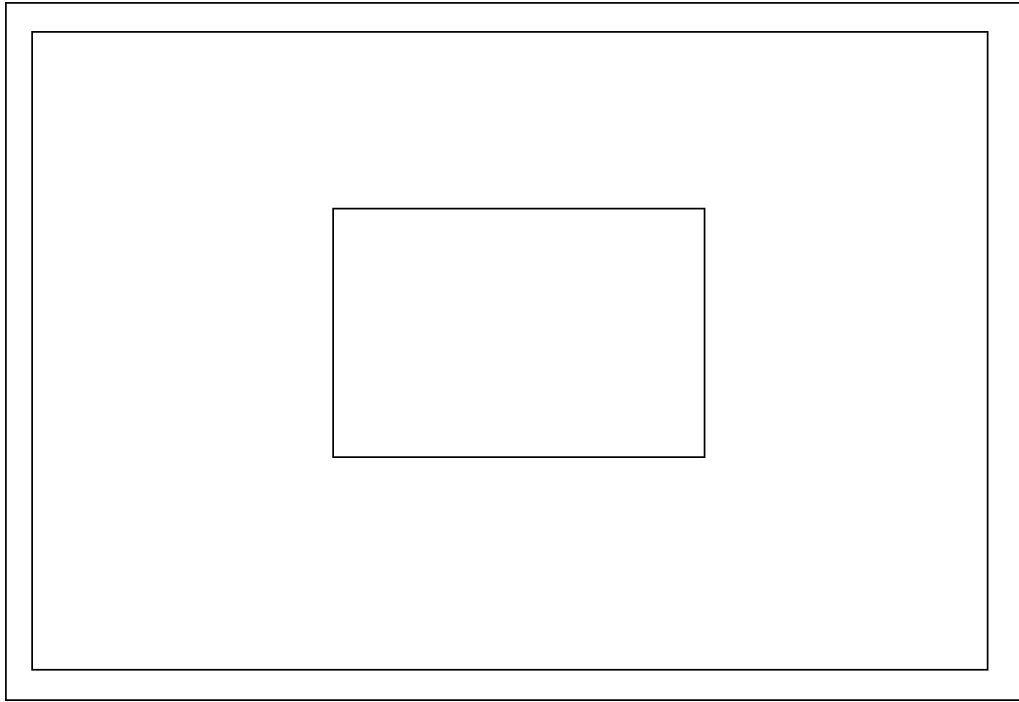


Figura B.1: Diagrama con los principales casos de uso de nuestra aplicación.

CU 1.- Gestionar la base de datos							
Descripción	El usuario puede elegir añadir una imagen nueva a la base de datos. En caso de que lo haga, se le pedirá que introduzca ciertos datos. El proceso se puede repetir tantas veces como el usuario desee. A continuación se pasará al <i>CU 2.- Entrenar la red</i> .						
Requisitos asociados	RF 1.1.- Añadir imágenes RF 1.2.- Personalizar datos						
Actores	Usuario						
Precondiciones	- La cámara debe estar encendida. - Debe haber exactamente un rostro en la imagen.						
Acciones	<table> <tr> <th>Paso</th><th>Acción</th></tr> <tr> <td>1</td><td>El usuario debe colocarse con el rostro mirando a la cámara.</td></tr> <tr> <td>2</td><td>Se muestran varias opciones disponibles al usuario, éste puede tomar una captura o no.</td></tr> </table>	Paso	Acción	1	El usuario debe colocarse con el rostro mirando a la cámara.	2	Se muestran varias opciones disponibles al usuario, éste puede tomar una captura o no.
Paso	Acción						
1	El usuario debe colocarse con el rostro mirando a la cámara.						
2	Se muestran varias opciones disponibles al usuario, éste puede tomar una captura o no.						
Postcondiciones	- Los datos almacenados deben ser consistentes con las imágenes a las que se asocien.						
Excepciones	<ul style="list-style-type: none"> - Imagen con número de rostros distinto de uno: se muestra mensaje al usuario y se vuelve a intentar el caso de uso hasta que toma una captura correcta o sale sin tomar ninguna. - Nombre de imagen ya existente en la base de datos: se le pregunta al usuario si desea sobre-escribir el fichero con ese nombre. - Carpeta con imágenes inexistente: se muestra mensaje al usuario y se crea vacía. 						
Frecuencia	Baja (vamos a tener una base de datos previa)						
Importancia	Baja (es opcional)						

Tabla B.1: CU 1.- Gestionar la base de datos

CU 2.- Entrenar la red					
Descripción	El usuario puede elegir entrenar o no la red si no ha modificado la base de datos. En caso contrario, este proceso se ejecutará automáticamente. A continuación se pasará al <i>CU 3.- Obtener imagen a identificar</i> .				
Actores	Usuario				
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none"> - Debe haber como mínimo dos imágenes almacenadas con sus respectivos datos. - Cada una de las imágenes almacenadas debe tener exactamente un rostro. 				
Acciones	<table> <tr> <th>Paso</th><th>Acción</th></tr> <tr> <td>1</td><td>El usuario observa el proceso y espera.</td></tr> </table>	Paso	Acción	1	El usuario observa el proceso y espera.
Paso	Acción				
1	El usuario observa el proceso y espera.				
Postcondiciones	<ul style="list-style-type: none"> - Los resultados de entrenar la red se guardan en un fichero <i>.yml</i> para futuras ejecuciones. - Se obtienen nuevas imágenes recortando el rostro de las originales y se guardan. 				
Excepciones	<ul style="list-style-type: none"> - Imagen con número de rostros distinto de uno: se muestra mensaje al usuario y se ignora dicha imagen. - Carpeta con imágenes inexistente: se muestra mensaje al usuario y se crea vacía. - No se ha podido entrenar la red: se muestra mensaje al usuario. 				
Frecuencia	Media (cada vez que cambie la base de datos)				
Importancia	Alta (no es esencial para la ejecución del programa, aunque es uno de los requisitos funcionales)				

Tabla B.2: CU 2.- Entrenar la red

CU 3.- Obtener imagen a identificar	
Descripción	El usuario escoge el método mediante el cual se obtendrá la imagen que se utilizará en el siguiente <i>CU 4.- Reconocer caras</i> .
Requisitos asociados	RF 3.1.- Obtener imagen desde una captura RF 3.2.- Obtener imagen desde un fichero RF 3.3.- Obtener imagen en tiempo real
Actores	Usuario
Precondiciones	- La red debe estar entrenada.
Acciones	Tratadas en los <i>CU 3.1</i> , <i>CU 3.2</i> y <i>CU 3.3</i> .
Postcondiciones	- Se obtiene una imagen a partir de cualquiera de los tres métodos (cámara, fichero, tiempo-real). - La imagen obtenida debe tener un solo rostro.
Excepciones	Tratadas en los <i>CU 3.1</i> , <i>CU 3.2</i> y <i>CU 3.3</i> .
Frecuencia	Alta (es uno de los principales requisitos funcionales de la aplicación)
Importancia	Alta (es una parte fundamental)

Tabla B.3: CU 3.- Obtener imagen a identificar

CU 3.1.- Obtener imagen desde una captura							
Descripción	El usuario obtiene una imagen a partir de una captura de la que se obtiene de la cámara mediante una previsualización. Con esta imagen se pasará al <i>CU 4.- Reconocer caras</i> .						
Requisitos asociados	RF 3.- Obtener imagen a identificar						
Actores	Usuario						
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none"> - La cámara debe estar encendida. - Debe haber exactamente un rostro en la imagen. 						
Acciones	<table> <tr> <th>Paso</th><th>Acción</th></tr> <tr> <td>1</td><td>El usuario debe colocarse con el rostro mirando a la cámara.</td></tr> <tr> <td>2</td><td>Se muestran varias opciones disponibles al usuario, éste puede tomar captura o no.</td></tr> </table>	Paso	Acción	1	El usuario debe colocarse con el rostro mirando a la cámara.	2	Se muestran varias opciones disponibles al usuario, éste puede tomar captura o no.
Paso	Acción						
1	El usuario debe colocarse con el rostro mirando a la cámara.						
2	Se muestran varias opciones disponibles al usuario, éste puede tomar captura o no.						
Excepciones	<ul style="list-style-type: none"> - Imagen con número de rostros distinto de uno: se muestra mensaje al usuario y se vuelve a intentar el caso de uso hasta que toma una captura correcta o sale sin tomar ninguna. - Salir sin tomar imagen: si el usuario no quiere tomar una captura, se cargará una imagen por defecto. 						
Frecuencia	Media (es una alternativa a uno de los principales requisitos funcionales de la aplicación)						
Importancia	Media (no es fundamental ya que hay otras opciones, pero sigue siendo una funcionalidad importante)						

Tabla B.4: CU 3.1.- Obtener imagen desde una captura

CU 3.2.- Obtener imagen desde un fichero							
Descripción	El usuario obtiene una imagen a partir de un fichero. Con esta imagen se pasará al <i>CU 4.- Reconocer caras</i>						
Requisitos asociados	RF 3.- Obtener imagen a identificar						
Actores	Usuario						
Acciones	<table><tr><th>Paso</th><th>Acción</th></tr><tr><td>1</td><td>El usuario navega hasta el fichero donde se encuentre el fichero con la imagen.</td></tr><tr><td>2</td><td>El usuario puede filtrar el tipo de archivo que desee buscar (limitado a <i>.jpg</i> y <i>.png</i>).</td></tr></table>	Paso	Acción	1	El usuario navega hasta el fichero donde se encuentre el fichero con la imagen.	2	El usuario puede filtrar el tipo de archivo que desee buscar (limitado a <i>.jpg</i> y <i>.png</i>).
Paso	Acción						
1	El usuario navega hasta el fichero donde se encuentre el fichero con la imagen.						
2	El usuario puede filtrar el tipo de archivo que desee buscar (limitado a <i>.jpg</i> y <i>.png</i>).						
Postcondiciones	- El fichero debe ser de un formato reconocible (<i>.jpg</i> o <i>.png</i>).						
Excepciones	- Imagen con número de rostros distinto de uno: se muestra mensaje al usuario y se carga una imagen por defecto. - Fichero con extensión desconocida: si el fichero no tiene extensión <i>.jpg</i> ni <i>.png</i> , se mostrará un mensaje al usuario y se cargará una imagen por defecto.						
Frecuencia	Media (es una alternativa a uno de los principales requisitos funcionales de la aplicación)						
Importancia	Media (no es fundamental ya que hay otras opciones, pero sigue siendo una funcionalidad importante)						

Tabla B.5: CU 3.2.- Obtener imagen desde un fichero

CU 3.3.- Obtener imagen en tiempo real							
Descripción	El usuario obtiene una imagen en tiempo real a la vez que se realiza el <i>CU 4.- Reconocer caras</i> .						
Requisitos asociados	RF 3.- Obtener imagen a identificar						
Actores	Usuario						
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none">- La cámara debe estar encendida.- Debe haber exactamente un rostro en las imágenes.						
Acciones	<table><tr><th>Paso</th><th>Acción</th></tr><tr><td>1</td><td>El usuario debe colocarse con el rostro mirando hacia la cámara.</td></tr><tr><td>2</td><td>El usuario espera y observa los resultados.</td></tr></table>	Paso	Acción	1	El usuario debe colocarse con el rostro mirando hacia la cámara.	2	El usuario espera y observa los resultados.
	Paso	Acción					
	1	El usuario debe colocarse con el rostro mirando hacia la cámara.					
2	El usuario espera y observa los resultados.						
Excepciones	<ul style="list-style-type: none">- Imagen con número de rostros distinto de uno: se muestra mensaje al usuario.						
Frecuencia	Alta (es uno de los principales requisitos funcionales)						
Importancia	Alta (es fundamental)						

Tabla B.6: CU 3.3.- Obtener imagen en tiempo real

CU 4.- Reconocer caras					
Descripción	Se localizan e identifican automáticamente los rostros que aparecen en la imagen. A continuación se pasará al <i>CU 5.- Mostrar resultados</i> .				
Requisitos asociados	RF 4.1.- Localizar rostros RF 4.2.- Identificar rostros				
Precondiciones	- La red debe estar entrenada. - Debe haber exactamente un rostro en la imagen.				
Acciones	<table> <tr> <th>Paso</th><th>Acción</th></tr> <tr> <td>1</td><td>El usuario espera a obtener resultados.</td></tr> </table>	Paso	Acción	1	El usuario espera a obtener resultados.
Paso	Acción				
1	El usuario espera a obtener resultados.				
Postcondiciones	- Se obtiene una imagen resultado. - La imagen resultado debe existir en la base de datos. - Se obtiene un porcentaje de coincidencia positivo. - Se obtiene la información relacionada con la persona que aparece en la imagen resultado.				
Excepciones	<ul style="list-style-type: none"> - Imagen con número de rostros distinto de uno: se muestra mensaje al usuario y se carga una imagen por defecto. - No existe la imagen resultado: se muestra mensaje al usuario y se carga imagen por defecto. - No existe información sobre la persona: se carga información por defecto. - La red no está entrenada: se muestra mensaje al usuario. - Carpeta con imágenes inexistente: se muestra mensaje al usuario y se crea vacía. 				
Frecuencia	Alta (es uno de los principales requisitos funcionales)				
Importancia	Alta (es fundamental)				

Tabla B.7: CU 4.- Reconocer caras

CU 5.- Mostrar resultados		
Descripción	El usuario puede observar los resultados obtenidos del <i>CU 4.- Reconocer caras</i> mediante una interfaz sencilla.	
Actores	Usuario	
Acciones	Paso	Acción
	1	El usuario observa el resultado mediante la barra de coincidencia y el porcentaje.
	2	El usuario observa la imagen original y la imagen del resultado final a la vez.
	3	Pulsar el botón <i>More information...</i> para obtener más información acerca de la persona reconocida en el <i>CU 4.- Reconocer caras</i> .
Frecuencia	Alta (es uno de los principales requisitos funcionales)	
Importancia	Alta (es fundamental)	

Tabla B.8: CU 5.- Mostrar resultados

Apéndice C

Especificación de diseño

C.1. Introducción

C.2. Diseño de datos

C.3. Diseño procedimental

C.4. Diseño arquitectónico

Patrones

A la hora de desarrollar el proyecto, no se hizo pensando en utilizar unos u otros patrones de manera intencionada, sino que se fueron añadiendo en función de las necesidades.

Al principio se utilizaron más patrones [34], como los **Adaptadores C.1**, que utilizaban clases intermedias para comunicar dos elementos diferentes del proyecto (la base de datos con la interfaz, por ejemplo).

O en el caso de obtener las imágenes que íbamos a analizar, en una primera versión se utilizaba el patrón **Abstract Factory C.2**, ya que existía una interfaz *CaptureImage* que instanciaba una clase concreta *CaptureImageFromFile* o *CaptureImageFromCamera* en función del origen de la imagen.

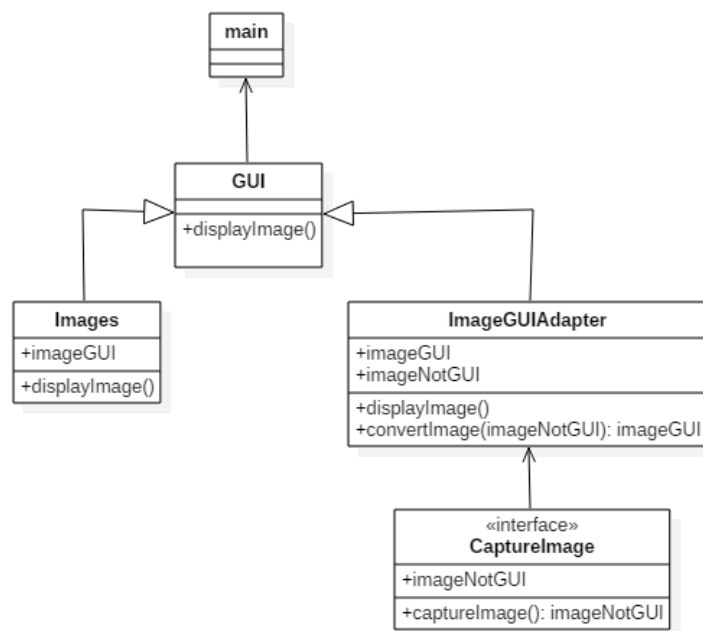


Figura C.1: Ejemplo de patrón Adaptador utilizado al comienzo del desarrollo del proyecto.

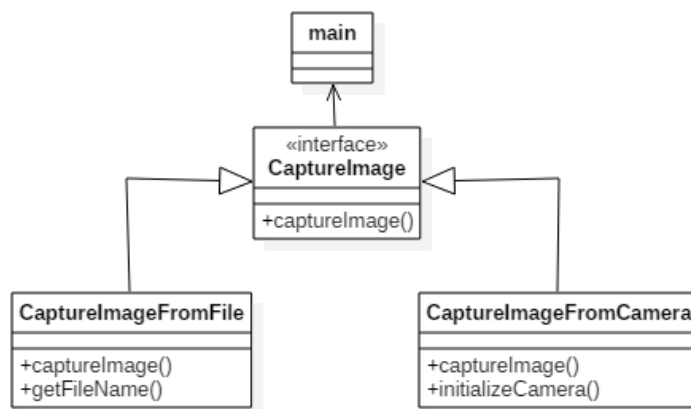


Figura C.2: Ejemplo de patrón Abstract Factory utilizado al comienzo del desarrollo del proyecto.

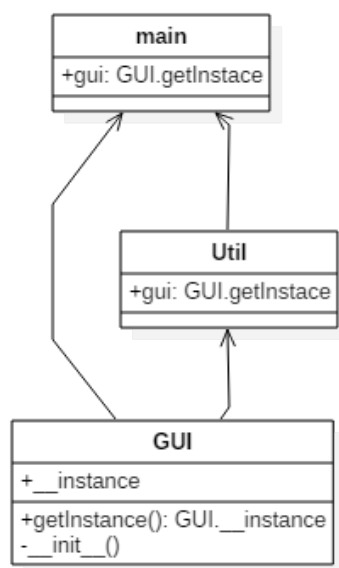


Figura C.3: Ejemplo de patrón Singleton utilizado en la clase GUI.

Aunque posteriormente se unificaron varias clases, se hizo refactorización de muchos de los métodos anteriores, y se consiguió eliminar complejidad de código, referencias y clases, por lo que algunos de estos patrones ya no eran necesarios.

Al final, el patrón más utilizado y que más claramente podemos encontrar es el de **Singleton** C.3, especialmente útil cuando queremos instanciar una nueva interfaz gráfica, que nos ayuda a asegurar que no se creen y sobrescriban varias interfaces (ya que la utilizamos de varias maneras diferentes, no nos interesa crear una interfaz para cada uno de estos usos, sino una común que vaya cambiando en función del uso que le queramos dar).

Flujogramas y diagramas de clases iniciales

A continuación se dejan algunos de los flujogramas realizados al comienzo del proyecto. La mayor parte de ellos se han mantenido hasta el final salvo por pequeños detalles que se han tenido que modificar.

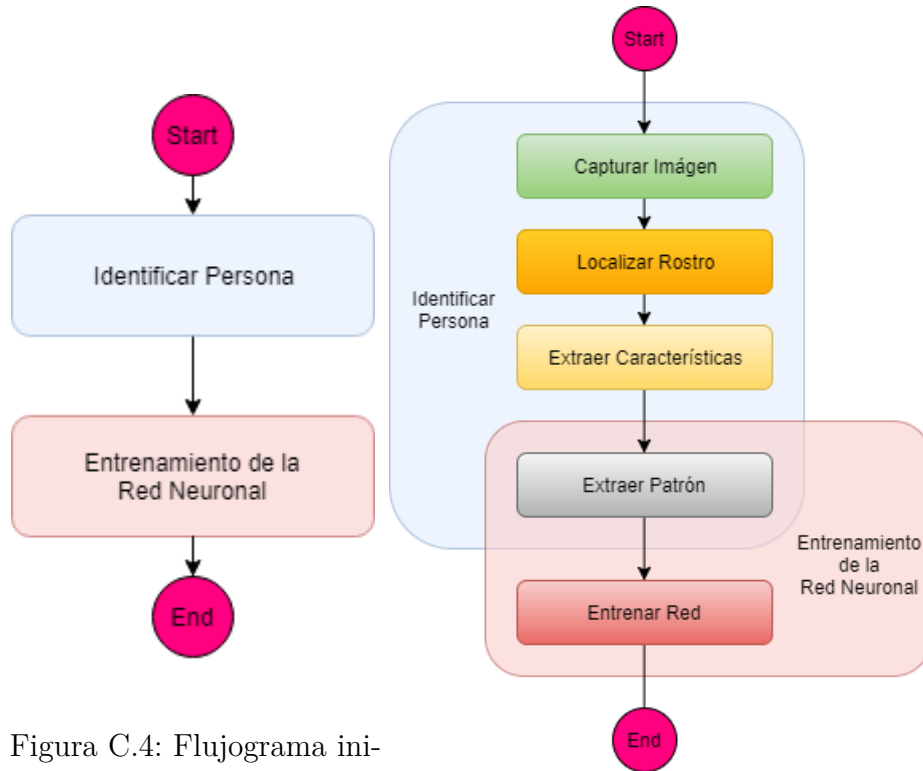


Figura C.4: Flujograma inicial de primer nivel.

Figura C.5: Flujograma inicial de 2º nivel.

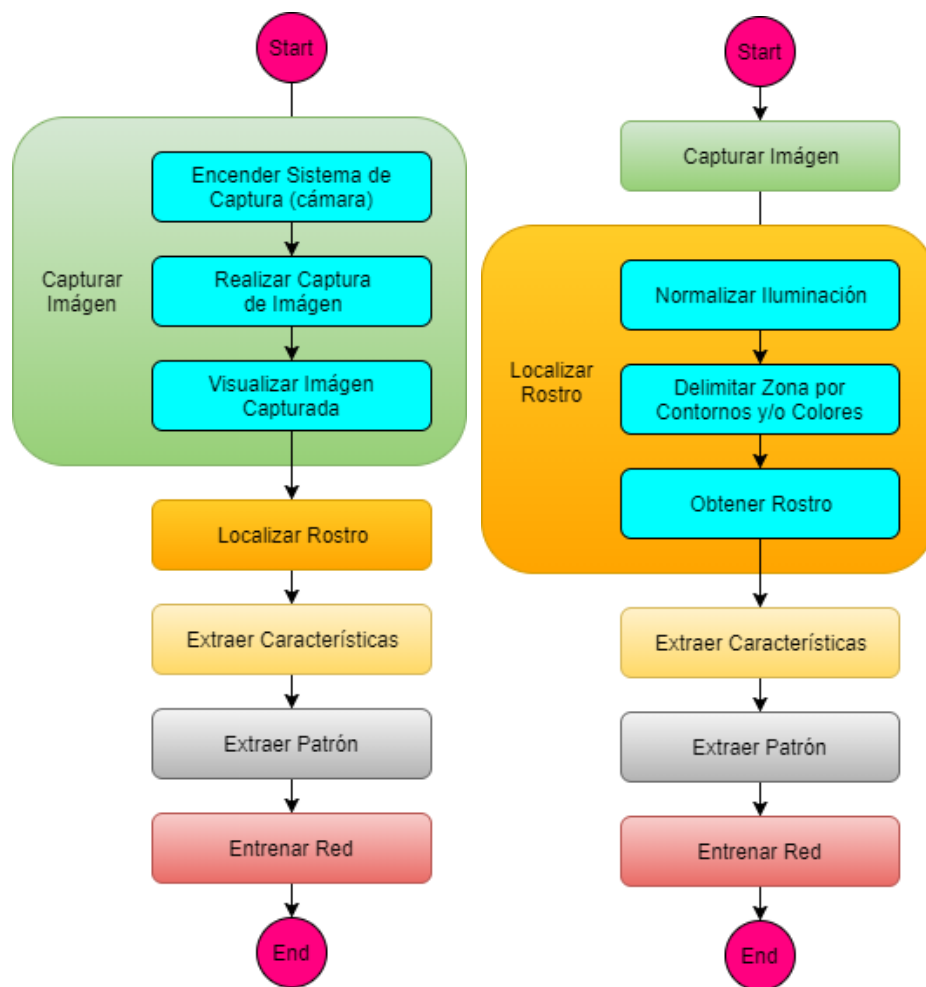


Figura C.6: Flujograma inicial de tercer nivel: Capturar imagen. Figura C.7: Flujograma inicial de tercer nivel: Localizar rostro.

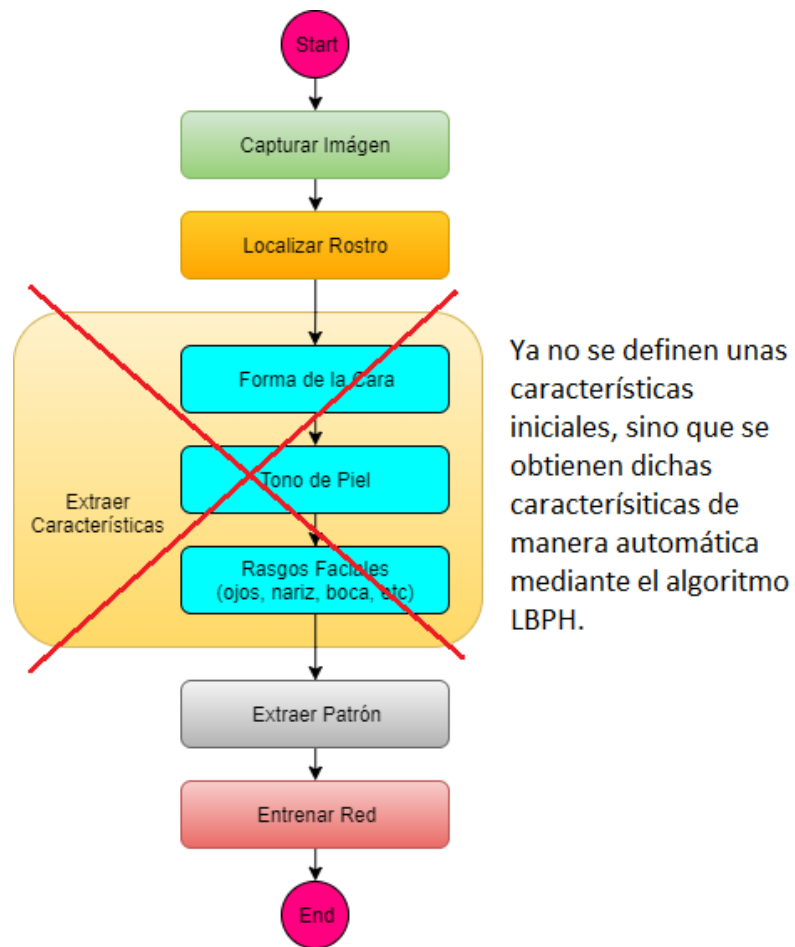


Figura C.8: Flujograma inicial de tercer nivel: Extraer características.

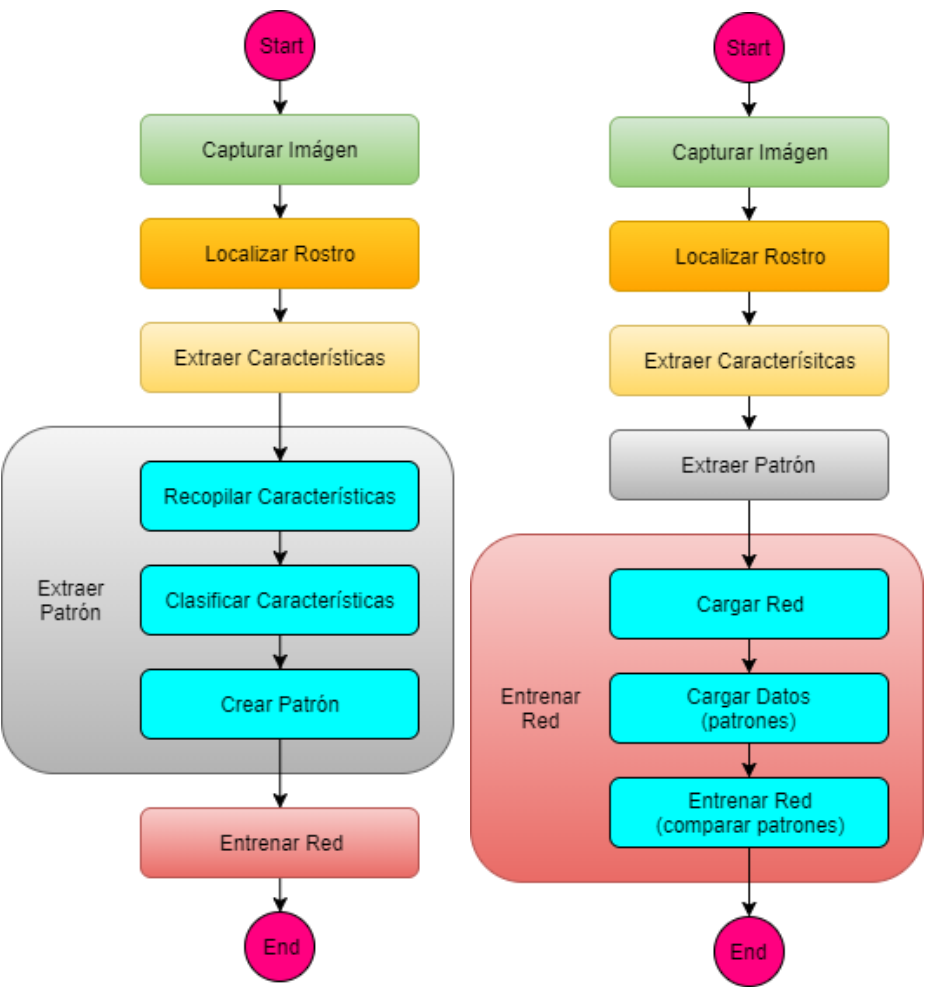


Figura C.9: Flujo de Extraer patrón. Figura C.10: Flujo de Entrenar red.

Los principales requisitos funcionales (junto con su lógica de ejecución) se pueden observar en el siguiente esquema C.11.

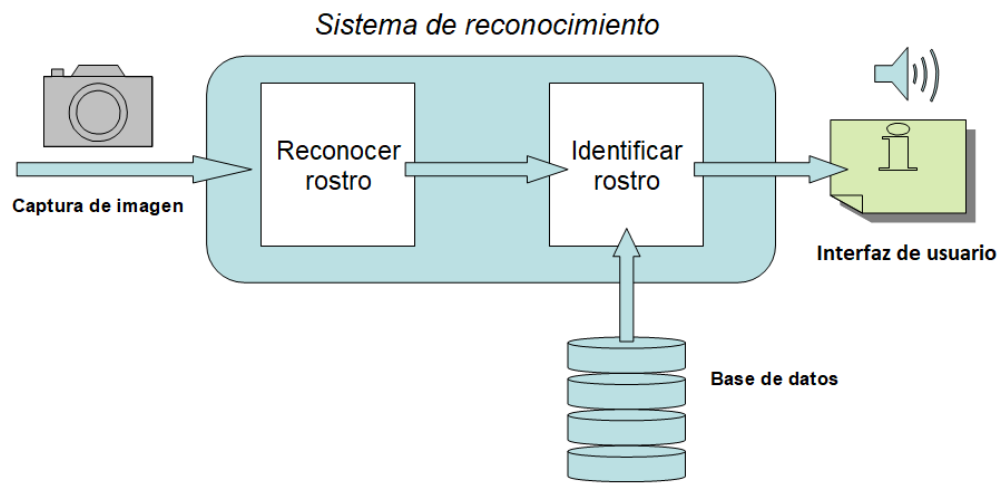


Figura C.11: Requisitos funcionales generales del proyecto.

Apéndice D

Documentación técnica de programación

D.1. Introducción

D.2. Estructura de directorios

D.3. Manual del programador

D.4. Compilación, instalación y ejecución del proyecto

D.5. Pruebas del sistema

5.- instalacion y configuracion

Durante esta fase empezaron a surgir dudas, algunas de las cuales se pudieron resolver consultando las referencias asociadas en el anexo *D_Manual_programador*.

.gitignore de Python [28].

How do I install pip on Windows? [47].

Installing packages with pip [23].

Installing modules with python [21].

Using wheels to install python dependences [29].

~~4~~APÉNDICE D. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DE PROGRAMACIÓN

Library to solve compatibility problems between python 2.7 and 3.6 [50].

ERROR: problema a la hora de usar `input()/raw_input()` con las diferentes versiones de python [31].

Clases y paquetes en python [24].

ERROR: missing 1 required positional argument (Problema relacionado con el uso de clases y objetos en python [38]).

Algunos problema con las llamadas a funciones desde el main [25] y desde otras clases [35].

Clases abstractas e interfaces en python [74], [33].

Tratamiento de excepciones en python [48].

Operadores ternarios [32].

Operaciones con listas [16], [5].

Contador de tiempo en python [20].

Singleton simple en python [49].

Operaciones con ficheros [61], [9], [19], [65], [73].

Enumeraciones en python [22].

Artículo [7] bastante interesante sobre cómo trabaja python con los redondeos y como solucionar posibles problemas que surgen de ello.

5.- modificacion imagenes

Durante esta fase se encontraron alguno problemas referentes a las imágenes leídas desde fichero, algunos de los cuales se pudieron resolver consultando las referencias asociadas en el anexo *D_Manual_programador*.

Cargar, modificar y guardar imágenes (con la librería de cv) [1].

Abrir imágenes desde fichero [44].

5.- identificar rostros

Como era la primera vez que utilizamos esta herramienta (OpenCV), surgieron problemas que se fueron solucionando poco a poco, algunos de los cuales se pueden encontrar en las referencias asociadas en el anexo *D_Manual_programador*.

Activar cámara [54].

Cómo funciona realmente el método predict() [42] de open cv.

Documentación [45] sobre FaceRecognition de Open CV.

ERROR: problema a la hora del tratamiento de tipos de las imágenes [8], [37].

Pausar ejecución para ver resultados [56], [39].

ERROR: la cámara muestra imagen en negro - ajustar parámetros [68].

Cambiar tamaño de las imágenes obtenidas [11], [3].

Recortar imágenes para guardar en la base de datos sólo los rostros [43].

Imagen en b/n utilizando funciones de Threshold (para normalizar iluminación y elementos innecesarios) [46].

Capturar imágenes con la cámara [41], [14], [27].

Se puede consultar las siguientes páginas para solucionar alguno de los problemas que pueden surgir de la instalación de OpenCV: [15], [30], [59], [67].

5.- Interfaz

Algunos problemas o inconvenientes que se encontraron desarrollando la interfaz fueron:

Resolución de pantalla con python (en nuestro caso con las librerías de tKinter y wx) [40].

Redimensionar automáticamente las ventanas de la interfaz en función de la resolución de nuestra pantalla [64].

Mostrar múltiples imágenes en una sola ventana [51] (con la librería de cv), [60] (con la librería de matplotlib).

Redimensionar imágenes de salida (con la librería de cv) [18].

Mostrar imagen capturada con la cámara en sentido correcto [4].

Sencillo tutorial para aprender a usar tKinter [10].

Juntando los resultados de OpenCV con la interfaz de tKinter [55].

Personalizando la interfaz con tKinter [2].

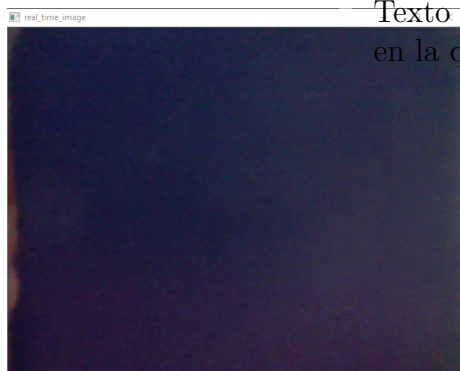
~~42~~ APÉNDICE D. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DE PROGRAMACIÓN

ERROR: botón para mostrar información adicional no responde [53].

ERROR: abrir dos ventanas conjuntas con tKinter [26], [57], [52], [63].

Barra de progreso (comparación) [17] en tKinter.

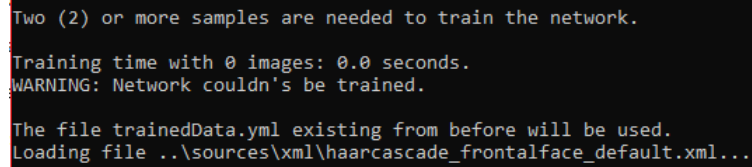
Si nuestra base de datos está vacía o tiene menos de dos imágenes, utilizará el fichero *.yml* de antes de entrenar la red... imágenes de la interfaz con los diferentes errores y warnings



Texto explicando que es una imagen de prueba en la que no hay rostros.

ESTRUCTURA DE CADA FICHERO; LO QUE HACE CADA UNO; ASPECTOS RELEVANTES ETC INTERFACE; ENLACES; MÉTODOS ETC

Imágen de referencia cuando la base de datos no tiene imágenes (o menos de dos) [D.1](#).



```
Two (2) or more samples are needed to train the network.  
Training time with 0 images: 0.0 seconds.  
WARNING: Network couldn't be trained.  
The file trainedData.yml existing from before will be used.  
Loading file ..\sources\xml\haarcascade_frontalface_default.xml...
```

Figura D.1: Fallo al entrenar por haber 0 imágenes en la base de datos.

Enlaces de interés a la hora de hacer cosas con tablas de LaTeX: [\[66\]](#), [\[12\]](#), [\[62\]](#), [\[13\]](#).

Apéndice *E*

Documentación de usuario

E.1. Introducción

Las tecnologías avanzan continuamente, al igual que hacen las amenazas que acompañan a dichas tecnologías. Por ello, y para mantener una sociedad estable, la seguridad debe ir ligada a estos avances.

Con este proyecto se pretende abordar la temática de la seguridad en lugares públicos (como pueden ser aeropuertos o centros comerciales) desde el punto de vista del reconocimiento facial.

Para ello, se ha diseñado un prototipo de un sistema de identificación de personas a través de un programa de reconocimiento facial, desarrollado en *Python* y utilizando técnicas de *Machine-Learning*. En dicho sistema se parte de una base de datos que contiene imágenes de personas en una lista de busca y captura. De este modo, a partir de una imagen capturada en el lugar de interés, el sistema reconocerá el rostro y lo identificará si se encuentra en la base de datos.

E.2. Requisitos de usuarios

Es necesario tener instalado *python* (preferiblemente en su versión 2.7, o un entorno virtual con dicha versión ya que es el entorno en el que se ha desarrollado) y diferentes librerías imprescindibles como son *cv2* (librería de *OpenCV* orientada a *computer vision*), *tKinter* (necesaria para mostrar la interfaz gráfica), *numpy* (diversas operaciones de utilidad), *Pillow* (para realizar cambios sobre imágenes).

El proyecto ha sido desarrollado y probado en *Windows 10*.

NOTAS

- En el resto de versiones de windows no se asegura su correcto funcionamiento.
- En otros sistemas operativos como *Linux* no funciona debido a las librerías exclusivas de windows y a las rutas utilizadas en los ficheros.

E.3. Instalación

Para ejecutar el programa, simplemente hay que descargarse el proyecto (podemos hacer un *clone* a una carpeta local desde *github* o simplemente descargarlo como *.zip*) y dar *doble click* sobre el fichero llamado *run.bat* que encontramos en la carpeta principal.

Esto nos abrirá una consola de comandos donde nos irán saliendo mensajes informativos sobre el progreso del programa (orientados más al uso por parte del desarrollador, aunque también pueden resultar útiles a todo tipo de usuarios), aunque la parte principal creará ventanas para mostrar la interfaz y que la información aparezca de forma más visual y entendible para el usuario medio.

NOTAS

- Es necesario tener los requisitos de usuario instalados [E.2](#) antes de comenzar la ejecución.

E.4. Manual del usuario

Poniéndonos técnicos...

El repositorio de *Github* donde se encuentran los ficheros del TFG de reconocimiento facial basado en *machine-learning* se puede encontrar en el siguiente enlace: <https://github.com/victorcas04/TFG-FacialRecognition>.

El TFG consiste en una aplicación que, dadas dos imágenes, una obtenida en el momento de ejecución, ya sea mediante fichero (accediendo a la foto que tengamos almacenada en nuestro equipo), o mediante una captura que realicemos con nuestra cámara, y la otra alojada localmente en una base de datos: sea capaz de distinguir si en ambas imágenes se encuentra la misma persona utilizando técnicas de *machine-learning*.

A la hora de comparar ambas imágenes se utiliza la extracción de características mediante el algoritmo *LBPH* y la herramienta *OpenCV*. Si la persona que se intenta identificar no estaba registrada en la base de datos, aparecerá la persona que esté registrada que más se parezca.

En caso de que no se supere un **umbral de coincidencia** con ninguna de las personas registradas, mostrará una imagen por defecto avisando de que no se ha podido obtener ningún resultado satisfactorio. Además, esta misma imagen por defecto se mostrará si no se reconoce exactamente un sólo rostro (se toma esta decisión para ahorrarnos problemas a la hora de extraer características).

En cualquier caso, junto con la imagen que se obtenga como resultado, se mostrará una barra de progreso, que indica el porcentaje de acierto que ha obtenido al encontrar dicho resultado. Además, se muestra un botón que nos permite crear un pequeño *pop-up* con información de la persona obtenida como resultado (nombre, edad, lugar de nacimiento y profesión).

Como desarrollo adicional, se ha implementado un sistema de reconocimiento totalmente en tiempo-real, en el cual se muestra un vídeo de la cámara que esté grabando, el cual se analiza cada determinados *frames* para obtener las comparaciones automáticamente (en lugar de una comparación por ejecución como en el modo anterior). La interfaz utilizada en este último caso es similar a la anterior, pero eliminando el botón que proporcionaba esa ventana con más información. Esto se ha hecho ya que, al poder cambiar el resultado en poco tiempo, era un elemento contra-productivo.

Instrucciones

En esta guía se seguirá el curso del programa durante las principales fases por las que pasa nuestro programa son, indicándole al usuario las opciones que tiene:

1.- Añadir nuevas imágenes a la base de datos

- Nos preguntará si queremos añadir una imagen nueva a la base de datos.

- En caso de responder sí [Y], se inicializará la cámara por defecto del equipo (si tenemos una externa conectada, utilizará esa, en caso contrario usará la *webcam* integrada).

- Se pueden seguir las instrucciones del apartado *Instrucciones adicionales: Menú de utilización general de la cámara* E.4.

- En caso de obtener una imagen (podemos elegir no hacerlo), nos pedirá introducir una serie de datos sobre la persona que deberíamos encontrar en esa imagen: nombre, edad, ciudad de nacimiento y profesión. En caso de no querer rellenar alguno de esos campos se tomarán valores por defecto. Además, se pedirá introducir el nombre de la imagen que acabamos de obtener para almacenarla en nuestra base de datos. Estos datos se almacenarán en un fichero local llamado *info.txt*.

- **IMPORTANTE:** Los datos de este fichero se pueden modificar manualmente, aunque conviene no hacerlo ya que, de cambiar el nombre de la imagen por error, podemos encontrarnos con datos inconsistentes y tener errores en la ejecución. En caso de hacer cambios sobre este fichero o sobre las imágenes de la base de datos de forma manual (antes de su ejecución), asegurarse de que quedan datos consistentes.

2.- Entrenamiento de la red

- A continuación, si hemos guardado una imagen nueva en la base de datos en el apartado 1.- *Añadir nuevas imágenes a la base de datos* E.4, pasaremos directamente al punto en que se entrena la red, en caso contrario nos preguntará si queremos entrenarla o no.

- En caso de decir que NO, se utilizarán los recursos almacenados del último entrenamiento (la primera vez que se ejecute el programa, a pesar de tener un fichero por defecto, es probable que tengamos que entrenar la red debido a registros internos de la librería que utilizamos).

- En caso de decir que SI, se crearán las imágenes en el formato adecuado y se entrenará la red, utilizando los recursos recién creados.

- **IMPORTANTE:** si se añaden o eliminan imágenes manualmente, de forma previa a la ejecución del programa a la base de datos (antes del apartado 1.- *Añadir nuevas imágenes a la base de datos E.4*), entrenar la red para evitar problemas sobre identificaciones erróneas.

3.- Carga de recursos e inicialización

- Se cargan los recursos necesarios: *trainerData.yml* (los datos de nuestra red entrenada en el apartado 2.- *Entrenamiento de la red E.4*) y *haarcascade_frontalface_default.xml* (fichero que nos permite identificar un rostro dentro de una imagen a partir de sus características).

- A continuación, se le pregunta al usuario cómo desea obtener la imagen que va a contrastar con la base de datos: desde fichero (apartado 4.1.- *Obtener la imagen desde fichero E.4*), desde la cámara (apartado 4.2.- *Obtener la imagen mediante una captura E.4*) o en tiempo real (apartado 4.3.- *Realizar la identificación en tiempo-real E.4*).

4.1.- Obtener la imagen desde fichero

- Si se selecciona esta opción, se abrirá una pequeña interfaz en la que el usuario puede buscar la imagen que quiera en el sistema.

- Una vez que se encuentra la imagen, basta con dar *doble click* sobre ella o seleccionarla y pulsar aceptar.

- A continuación, y si la imagen es correcta (sólo tiene un rostro en ella y ocupa al menos el 10 % de la imagen), se mostrará en la interfaz explicada en el apartado 6.- *Resultados finales: Interfaz visual E.4*.

NOTAS

- Se puede filtrar el tipo de ficheros que se pueden ver para facilitar la búsqueda (restringido a *.png* y *.jpg*).

4.2.- Obtener la imagen mediante una captura

- Al seleccionar esta opción, se inicializará la cámara por defecto (en función del modelo de la cámara, tendremos que especificar la máxima resolución posible, en caso de no conocer este dato, se puede dejar el valor por defecto *[640 X 480]*).
- Con la cámara inicializada correctamente, aparecerá una ventana con la imagen en tiempo-real capturada con la cámara.
- Se pueden seguir las instrucciones del apartado *Instrucciones adicionales: Menú de utilización general de la cámara E.4* para capturar la imagen que queremos analizar. No nos dejará tomar una imagen hasta que haya exactamente una sola persona en dicha imagen.

NOTAS

- La cámara por defecto es la primera cámara externa que tengamos conectada. En caso de no tener ninguna externa, se utilizará la webcam integrada.
- En caso de no poder inicializar la cámara con los parámetros por defecto, mostrará un mensaje avisándonos y pasará al apartado 6.- *Resultados finales: Interfaz visual E.4* con una imagen por defecto.
- En caso de no querer tomar una captura (opción [Q] del menú), se pasará al apartado 6.- *Resultados finales: Interfaz visual E.4* con una imagen por defecto.

4.3.- Realizar la identificación en tiempo-real

- En este apartado se inicializa la cámara por defecto como en los apartados anteriores, y se muestra directamente en la interfaz (imagen de la izquierda con el título *Original image*).
- Si queremos que nos reconozca (suponiendo que estemos en la base de datos), simplemente debemos ponernos delante de la cámara y esperar a que se actualice la interfaz (este tiempo se ha establecido de **0.5 segundos** para darle tiempo al programa a que extraiga las características del rostro y las compare con las de la red, en caso de disponer de un equipo más potente se puede reducir este tiempo).

- A continuación, se puede observar como los resultados van cambiando en la interfaz explicada en el apartado 6.- *Resultados finales: Interfaz visual* E.4 en función de la persona que se coloque delante de la cámara, o incluso si cambiamos de posición o modificamos la iluminación.

- El proceso que sigue este apartado en cuanto a la obtención de resultados es similar al que se sigue en los otros dos casos (comprobar apartado 5.- *Comparar imágenes y obtener resultados* E.4), salvo que se repite y actualiza cada **0.5 segundos**.

- Para terminar de ejecutar el programa en este punto cerrar la ventana de la interfaz.

5.- Comparar imágenes y obtener resultados

- Este proceso es interno y no tiene efecto en la interfaz de usuario, de manera que no afecta a estos.

- Con la imagen obtenida de los apartados E.4, E.4, se analiza dicha imagen y se comparan los resultados con los obtenidos de entrenar las imágenes almacenadas en la base de datos (archivo *trainerData.yml* mencionado en el apartado 3.- *Carga de recursos e inicialización* E.4). Esta comparación se realiza mediante algunas funciones proporcionadas por la librería de *OpenCV*.

- Se obtiene una ID perteneciente a la imagen con mejor resultado de la comparación en nuestro fichero de entrenamiento y un porcentaje, que indica el éxito de dicha comparación. Con esa ID, se carga la imagen correspondiente, el nombre que tenga dicha imagen y el porcentaje en la interfaz gráfica.

6.- Resultados finales: Interfaz visual

- La interfaz consiste en una ventana con ambas imágenes: la que se quería reconocer y la de máxima coincidencia de la base de datos obtenida en el apartado 5.- *Comparar imágenes y obtener resultados* E.4.

- Se muestra además el porcentaje de coincidencia que hayan tenido la comparación, y una barra de progreso que indica dicho porcentaje junto con el nombre de la imagen de la base de datos. Esta barra de progreso cambia de color en función del tanto por ciento que hayamos obtenido (negro <10 %, rojo <35 %, naranja <50 %, amarillo <80 %, verde <95 %, morado >= 95 %).

- Además, se crea un botón *More Information...* (en los casos E.4 y E.4), que al pulsarle crea un pequeño *pop-up* con información sobre la imagen resultado. Esta información se puede encontrar en el fichero *info.txt* mencionado en el apartado 1.- *Añadir nuevas imágenes a la base de datos E.4.*

NOTAS

- Las imágenes se recortan para mostrar sólo el rostro y se ajustan todas al mismo tamaño, de esta manera se evitan los tamaños de imágenes excesivamente grandes/pequeños.
- El nombre que se muestra sobre la imagen de la derecha es el de la persona a la que corresponda dicha fotografía (extraído del fichero *info.txt*), mientras que el nombre que se muestra sobre la barra de progreso es el correspondiente al nombre del fichero de dicha foto. Se muestran ambos nombres en caso de que el usuario necesite acceder a esa foto en la base de datos manualmente.

Instrucciones adicionales: Menú de utilización general de la cámara

- Cuando el usuario tiene el control sobre la cámara, puede:
- Pulsar [Q] para salir sin tomar ninguna imagen.
- Pulsar [I] para mostrar información sobre esa imagen y el menú de la cámara.
- Pulsar [P] para pausar la captura de imágenes. Mientras se esté en modo pausa el programa se queda en *stand-by*, y no se toman acciones hasta que se reanuda la ejecución.
- Pulsar [ESPACIO] mientras está en modo pausa para reanudar la ejecución.
- Pulsar [C] para tomar una captura y seguir ejecutando el programa.

Bibliografía

- [1] OpenCV Version 2.4.13. Load, modify, and save an image. https://docs.opencv.org/2.4/doc/tutorials/introduction/load_save_image/load_save_image.html, 2018.
- [2] Abkb and Mark Mikofski. How to change font and size of buttons and frame in tkinter using python? <https://stackoverflow.com/questions/20588417/how-to-change-font-and-size-of-buttons-and-frame-in-tkinter-using-python>, 2013.
- [3] achalddave. image.scale vs opencv resize. <https://github.com/torch/image/issues/188>, 2016.
- [4] ADMIN. Flip image opencv python. <https://scottontechnology.com/flip-image-opencv-python/>, 2016.
- [5] alvas and Burhan Khalid. Concatenate item in list to strings. <https://stackoverflow.com/questions/12453580/concatenate-item-in-list-to-strings>, 2012.
- [6] Atlassian. Trello. <https://trello.com>.
- [7] Danielle B. Rounding in python — when arithmetic isn't quite right. <https://kfold.com/rounding-in-python-when-arithmetic-isnt-quite-right-11a79a30390a>, 2017.
- [8] Martin Beckett and zarthur. Convert numpy array to cv-mat cv2. <https://stackoverflow.com/questions/9913392/convert-numpy-array-to-cv-mat-cv2>, 2012.

- [9] Python For Beginners. Reading and writing files in python. <http://www.pythonforbeginners.com/files/reading-and-writing-files-in-python>, 2013.
- [10] Bodenseo Bernd Klein. Python tkinter course. https://www.python-course.eu/tkinter_labels.php, 2018.
- [11] Tanmay Bhatnagar and thewaywewere. Resize an image without distortion opencv. <https://github.com/torch/image/issues/188>, 2017.
- [12] BrettHarry and Stefan Kottwitz. How to merge columns in a table?, 2011. [Internet; descargado 16-junio-2018].
- [13] CaptainCodeman and Christian Hupfer. How to create a table with fixed column widths, 2016. [Internet; descargado 16-junio-2018].
- [14] Cerin, Multimedia Mike, and jsbueno. How to programmatically capture a webcam photo. <https://stackoverflow.com/questions/9711946/how-to-programmatically-capture-a-webcam-photo>, 2012.
- [15] Andrei Cheremskoy. Opencv installation on linux and windows. <https://gettocode.com/2017/02/07/opencv-installation-on-windows-and-maybe-linux>, 2017.
- [16] Omid CompSCI and Afloroaie Robert. How to get everything from the list except the first element using list slicing [duplicate]. <https://stackoverflow.com/questions/40443331/how-to-get-everything-from-the-list-except-the-first-element-using-list>, 2016.
- [17] david_p, Noelkd, and Banz111. Ttk.progressbar: How to change thickness of a horizontal bar. <https://stackoverflow.com/questions/17912624/ttk-progressbar-how-to-change-thickness-of-a-horizontal-bar>, 2013.
- [18] Dr Dre and Guyygart. Resizing the output window of imshow function. <http://answers.opencv.org/question/84985/resizing-the-output-window-of-imshow-function/>, 2016.
- [19] duhhunjonn and pycruft. How do i list all files of a directory? <https://stackoverflow.com/questions/3207219/how-do-i-list-all-files-of-a-directory>, 2013.

- [20] Evan Fosmark and pobk. How can i make a time delay in python? <https://stackoverflow.com/questions/510348/how-can-i-make-a-time-delay-in-python>, 2012.
- [21] Python Software Foundation. Building and installing python modules. <https://docs.python.org/3/library/distutils.html#module-distutils>, 2018.
- [22] Python Software Foundation. enum — support for enumerations. <https://docs.python.org/3/library/enum.html>, 2018.
- [23] Python Software Foundation. Installing packages. <https://packaging.python.org/tutorials/installing-packages/#requirements-for-installing-packages>, 2018.
- [24] Python Software Foundation. Python packages. <https://docs.python.org/2/tutorial/modules.html#packages>, 2018.
- [25] franka and Amber. Python main call within class. <https://stackoverflow.com/questions/7870869/python-main-call-within-class>, 2011.
- [26] Tom Fuller, PM 2Ring, and Steven Summers. I can't seem to open two windows with python, tkinter. <https://stackoverflow.com/questions/39039123/i-cant-seem-to-open-two-windows-with-python-tkinter>, 2016.
- [27] Matthew G, thebjorn, and Froyo. Capturing a single image from my webcam in java or python. <https://stackoverflow.com/questions/11094481/capturing-a-single-image-from-my-webcam-in-java-or-python>, 2012.
- [28] github. Python.gitignore. <https://github.com/github/gitignore/blob/master/Python.gitignore>, 2018.
- [29] Christoph Gohlke. Unofficial windows binaries for python extension packages. <https://www.lfd.uci.edu/~gohlke/pythonlibs/#pygame>.
- [30] Michael Hirsch. Install opencv 3.4 in python 3.6 / 2.7. <https://www.scivision.co/install-opencv-python-windows/>, 2018.
- [31] Jogofus and FJSevilla. Duda con raw_input(). <https://es.stackoverflow.com/questions/38288/duda-con-raw-input>, 2017.

- [32] kip. Python - ejemplo del operador ternario en python. <https://www.lawebdelprogramador.com/foros/Python/1517833-Ejemplo-del-operador-ternario-en-Python.html>, 2016.
- [33] Bernd Klein. Abstract classes. https://www.python-course.eu/python3_abstract_classes.php, 2018.
- [34] Antonio Leiva. Patrones de diseño de software. <https://devexperto.com/patrones-de-diseno-software/>, 2016.
- [35] levacjeeep and ShadowRanger. Python3 - TypeError: module.__init__() takes at most 2 arguments (3 given). <https://stackoverflow.com/questions/35367340/python3-typeerror-module-init-takes-at-most-2-arguments-3-given/35367871>, 2016.
- [36] Logitech. Webcam c170 - plug-and-play video calls. <https://www.logitech.com/en-gb/product/webcam-c170>, 2018.
- [37] M456 and dF. Saving a numpy array as an image. <https://stackoverflow.com/questions/902761/saving-a-numpy-array-as-an-image>, 2009.
- [38] mahasamoot. trouble with the tutorial: TypeError: step() missing 1 required positional argument: 'model'. <https://github.com/projectmesa/mesa/issues/308>, 2016.
- [39] md1hunox and Abid Rahman K. Using other keys for the waitkey() function of opencv. <https://stackoverflow.com/questions/14494101/using-other-keys-for-the-waitkey-function-of-opencv>, 2017.
- [40] Mike. Getting your screen resolution with python. <https://www.blog.pythonlibrary.org/2015/08/18/getting-your-screen-resolution-with-python/>, 2015.
- [41] Alexander Mordvintsev and Abid K. Getting started with videos - capture video from camera. http://opencv-python-tutroals.readthedocs.io/en/latest/py_tutorials/py_gui/py_video_display/py_video_display.html, 2013.
- [42] MS23 and berak. What is the label that 'predict' sends? <http://answers.opencv.org/question/138933/what-is-the-label-that-predict-sends>, 2017.

- [43] Nolik and Froyo. How to crop an image in opencv using python. <https://stackoverflow.com/questions/15589517/how-to-crop-an-image-in-opencv-using-python>, 2013.
- [44] Casper Olsson and BrtH. Open images? python. <https://stackoverflow.com/questions/16387069/open-images-python>, 2013.
- [45] OpeCV. cv::face::facerecognizer class reference. https://docs.opencv.org/trunk/dd/d65/classcv_1_1face_1_1FaceRecognizer.html, 2018.
- [46] OpenCV. Image thresholding. https://docs.opencv.org/3.4.0/d7/d4d/tutorial_py_thresholding.html, 2017.
- [47] Colonel Panic. How do i install pip on windows? <https://stackoverflow.com/questions/4750806/how-do-i-install-pip-on-windows>, 2017.
- [48] Joey Payne. Catching python exceptions – the try/except/else keywords. <https://www.pythoncentral.io/catching-python-exceptions-the-try-except-else-keywords>, 2013.
- [49] pazdera. Singleton example in python. <https://gist.github.com/pazdera/1098129>, 2011.
- [50] Benjamin Peterson. Python 2 and 3 compatibility utilities. <https://pypi.org/project/six/#description>, 2018.
- [51] poljakov13 and eshirima. How to display multiple images in one window? <http://answers.opencv.org/question/175912/how-to-display-multiple-images-in-one-window/>, 2017.
- [52] Pythonspot. Tkinter message box. <https://pythonspot.com/tk-message-box>, 2017.
- [53] Rikg09, Noshii, and mayure098. Tkinter command for button not working. <https://stackoverflow.com/questions/45710162/tkinter-command-for-button-not-working>, 2017.
- [54] Rodrigo and John Montgomery. How do i access my webcam in python? <https://stackoverflow.com/questions/604749/how-do-i-access-my-webcam-in-python>, 2009.

- [55] Adrian Rosebrock. Opencv with tkinter. <https://www.pyimagesearch.com/2016/05/23/opencv-with-tkinter>, 2016.
- [56] Antonio Serrano and Martin Beckett. Make a pause between images display in opencv. <https://stackoverflow.com/questions/46671348/make-a-pause-between-images-display-in-opencv>, 2017.
- [57] Silmarillion101. Tkinter create image function error (pyimage1 does not exist). <https://stackoverflow.com/questions/23224574/tkinter-create-image-function-error-pyimage1-does-not-exist>, 2014.
- [58] sinnaps. Metodología de un proyecto. <https://www.sinnaps.com/blog-gestion-proyectos/metodologia-de-un-proyecto>, 2018.
- [59] Sol. Install opencv 3 with python 3 on windows. <https://solarianprogrammer.com/2016/09/17/install-opencv-3-with-python-3-on-windows/>, 2016.
- [60] sople. disp_multiple_images.py. <https://gist.github.com/sople/f3eec2e79c165e39c9d540e916142ae1>, 2018.
- [61] spence91 and rslite. How to check whether a file exists? <https://stackoverflow.com/questions/82831/how-to-check-whether-a-file-exists>, 2008.
- [62] tom. Highlight table rows/columns with color, 2011. [Internet; descargado 16-junio-2018].
- [63] Tom and guillegiraldo. How to disable window controls when a modal dialog box is active in tkinter? <https://stackoverflow.com/questions/31892015/how-to-disable-window-controls-when-a-modal-dialog-box-is-active-in-tkinter>, 2015.
- [64] Tomha, Marcin, bodger, and scraper. Tkinter resize background image to window size (python 3.4). <https://stackoverflow.com/questions/24061099/tkinter-resize-background-image-to-window-size-python-3-4>, 2014 - 2016.
- [65] UnkwnTech and Nick Stinimates. How to delete the contents of a folder in python? <https://stackoverflow.com/questions/185936/how-to-delete-the-contents-of-a-folder-in-python>, 2008.

- [66] user265767 and Gonzalo Medina. Possible to create table inside a table, 2014. [Internet; descargado 16-junio-2018].
- [67] user2971844 and Breeze. Opencv - cannot find module cv2. <https://stackoverflow.com/questions/19876079/opencv-cannot-find-module-cv2>, 2013 - 2017.
- [68] victor1234 and elzbth. How to set camera fps in opencv? cv_cap_prop_fps is a fake. <https://stackoverflow.com/questions/7039575/how-to-set-camera-fps-in-opencv-cv-cap-prop-fps-is-a-fake>, 2011-2014.
- [69] Wikipedia. Desarrollo en cascada — wikipedia, la enciclopedia libre, 2018. [Internet; descargado 30-mayo-2018].
- [70] Wikipedia. Distributed computing, 2018. [Internet; descargado 10-junio-2018].
- [71] Wikipedia. Parallel computing, 2018. [Internet; descargado 10-junio-2018].
- [72] Wikipedia. Scrum (desarrollo de software) — wikipedia, la enciclopedia libre, 2018. [Internet; descargado 30-mayo-2018].
- [73] Yasoob. The open function explained. <https://pythontips.com/2014/01/15/the-open-function-explained/#more-416>, 2014.
- [74] Zaiste. Abstract classes in python. https://zaiste.net/abstract_classes_in_python/, 2010.
- [75] ZenHub. Zenhub. <https://www.zenhub.com>.