



UNIVERSIDAD DE BURGOS
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
Grado en Ingeniería Informática



TFG del Grado en Ingeniería
Informática

**Identificación de
Parkinson por visión
artificial**

Documentación Técnica



Presentado por Catalin Andrei Cacuci
en Universidad de Burgos — 13 de mayo
de 2023

Tutora: Alicia Olivares Gil
Cotutor: Álgvar Arnaiz González

Índice general

Índice general	I
Índice de figuras	III
Índice de tablas	IV
A. Plan de Proyecto Software	1
A.1. Introducción	1
A.2. Planificación temporal	1
A.3. Estudio de viabilidad	7
B. Especificación de Requisitos	9
B.1. Introducción	9
B.2. Objetivos generales	9
B.3. Catálogo de requisitos	9
B.4. Especificación de requisitos	10
C. Especificación de diseño	19
C.1. Introducción	19
C.2. Diseño de datos	19
C.3. Diseño procedimental	19
C.4. Diseño arquitectónico	19
D. Documentación técnica de programación	23
D.1. Introducción	23
D.2. Estructura de directorios	23
D.3. Manual del programador	25

D.4. Compilación, instalación y ejecución del proyecto	32
D.5. Pruebas del sistema	32
E. Documentación de usuario	33
E.1. Introducción	33
E.2. Requisitos de usuarios	33
E.3. Instalación	33
E.4. Manual del usuario	33
Bibliografía	35

Índice de figuras

B.1. Diagrama general de casos de uso	11
C.1. Mockup de la página principal	20
C.2. Mockup de la página de gestión de modelos	21

Índice de tablas

B.1. CU-1 Obtener predicción.	12
B.2. CU-2 Iniciar sesión.	13
B.3. CU-3 Finalizar sesión.	14
B.4. CU-4 Ver lista de modelos.	15
B.5. CU-5 Añadir modelo.	16
B.6. CU-6 Eliminar modelo.	17
B.7. CU-7 Seleccionar modelo.	18

Apéndice A. Plan de Proyecto Software

A.1. Introducción

Este anexo detalla el procedimiento que se ha seguido para gestionar el progreso del proyecto y la realización de tareas.

A.2. Planificación temporal

La planificación del proyecto se llevará a cabo mediante una metodología ágil, en concreto Scrum, con el apoyo de la herramienta **ZenHub** para la gestión de tareas y sprints dentro de GitHub. En este caso cada sprint tiene una duración de una semana.

Preparación

Antes de comenzar el sprint 1 se realizaron las siguientes tareas:

- Organizar el proyecto en diferentes carpetas con las partes que lo componen.
- Implementar la conectividad básica entre los contenedores de Docker que implementan la aplicación web.
- Implementar el parseado de los nombres de archivo de los vídeos.
- Implementar la extracción de puntos del esqueleto de la mano mediante Mediapipe Hands.

- Crear un paquete instalable o librería de Python con las utilidades que se utilizan en la fase de investigación para facilitar su uso posterior en la aplicación web.

Haber decidido en esta fase inicial la estructura que va a tener el proyecto y de forma aproximada las herramientas que van a ser utilizadas a ayudado en gran medida durante el desarrollo, debido a que las funcionalidades de todas las piezas están bien definidas y separadas.

Sprint 1 (6/2/2023 – 12/2/2023)

En este sprint se avanzó en la parte del preprocesado de los vídeos, extrayendo diferentes atributos a partir del esqueleto que obtenido a través de MediaPipe.

Además, se separó el proceso de construcción de los contenedores de Docker dependiendo de si se lanzan en un entorno de desarrollo o en producción. Optimizando el despliegue en producción, mientras que, en desarrollo, se muestran mensajes adicionales y observa los archivos para reaccionar a cambios.

Tareas realizadas:

- Añadir extracción de frecuencia de toques a partir de la secuencia de poses de la mano extraída por Mediapipe.
- Añadir extracción de diferencia entre la frecuencia de toques del intervalo de tiempo inicial y final de la secuencia de poses.
- Establecer ángulo máximo para la detección de toques.
- Cambiar la configuración de los contenedores de Docker para usar multietapa, separando la configuración para los entornos de desarrollo y producción.

Sprint 2 (13/2/2023 – 19/2/2023)

Este sprint se centra en el preprocesado de los vídeos, añadiendo la extracción de varias características utilizadas en trabajos anteriores en este área de las series temporales con las poses de la mano.

Tareas realizadas:

- Añadir extracción de amplitud media.

- Añadir extracción de diferencia de amplitud media entre intervalo inicial y final del vídeo.
- Añadir extracción de variación de amplitud.
- Añadir extracción de velocidad del movimiento.
- Comenzar manual del programador.
- Reemplazar Nginx por Caddy como proxy inverso de la aplicación.
- Actualizar fichero README.md.

Sprint 3 (20/2/2023 – 26/2/2023)

En este sprint se añadió la extracción de características mediante la librería TSFresh que extrae al rededor de 750 características adicionales a las que se extraían hasta este punto.

Tareas realizadas:

- Añadir extracción de características mediante TSFresh.
- Cambiar secuencia de instalación del contenedor de Docker para la API mejorando el cacheado de los pasos.

Sprint 4 (27/2/2023 – 5/3/2023)

En este sprint se cambió la extracción de características propias para aprovechar las metodologías ya implementadas por TSFresh, además de realizar algunos cambios sobre la memoria.

Tareas realizadas:

- Añadir herramientas de desarrollo a la memoria.
- Cambiar implementación de extracción de características de trabajos previos para que sea compatible con la librería TSFresh.

Sprint 5 (6/3/2023 – 12/3/2023)

Tareas realizadas:

- Actualizar sección de herramientas de desarrollo.

Sprint 6 (13/3/2023 – 19/3/2023)

En este sprint se comienzan a entrenar los primeros modelos de aprendizaje mediante una técnica que se conoce como *grid search*. Además se mejora la implementación de la extracción de las marcas temporales de las series temporales.

Tareas realizadas:

- Implementar optimización de hiperparámetros para varios modelos mediante *grid search*.
- Añadir información temporal a la extracción de poses de Mediapipe a partir de la tasa de fotogramas.

Sprint 7 (20/3/2023 – 26/3/2023)

En este sprint se cambian algunos detalles sobre la optimización de hiperparámetros, utilizando más modelos y cambiando los parámetros de la validación cruzada.

Tareas realizadas:

- Añadir Perceptrón multicapa, Adaboost y XGBoost a los modelos de la optimización de hiperparámetros.
- Cambiar validación cruzada para utilizar 5 repeticiones de 2 *folds*.
- Sustituir características de mano grabada y mano dominante por una única características, si está utilizando la mano dominante.

Sprint 8 (27/3/2023 – 2/4/2023)

En este sprint se crean visualizaciones de los resultados obtenidos durante la optimización de hiperparámetros, además, se añade un parámetro adicional, el número de características a seleccionar.

Tareas realizadas:

- Arreglar Makefile para la compilación de la documentación.
- Añadir generación de gráficas con los resultados obtenidos de la optimización de hiperparámetros mediante *grid search*.
- Añadir selección del número de características a utilizar a la optimización de hiperparámetros.

- Refactorizar librería.
- Cambiar el framework de JavaScript de la web de SvelteKit a NextJS.
- Implementar una barra de navegación básica.

Sprint 9 (3/4/2023 – 9/4/2023)

En este sprint se realizaron varios cambios sobre los diferentes componentes del proyecto.

Tareas realizadas:

- Actualizar el manual del programador con los cambios realizados hasta este punto.
- Añadir requisitos de la aplicación web.
- Añadir diagrama general de casos de uso.
- Cambiar la estructura de directorios del frontend de la web.
- Añadir y configurar contenedor de base de datos PostgreSQL al proyecto de Docker.
- Configurar la API para interactuar con la base de datos, creando, los modelos de SQLAlchemy con los que se va a trabajar.
- Añadir algunos endpoints para permitir una gestión muy básica de usuarios.
- Bloquear la versión de los contenedores de Docker para evitar problemas de dependencias en el futuro.
- Añadir persistencia de datos entre creaciones del contenedor de la base de datos.
- Bloquear versiones de las dependencias de Python. Debido a la versión 2 de Pandas, se rompe parte de la funcionalidad.
- Implementar una versión inicial del endpoint para obtener una predicción a partir de un vídeo.

Sprint 10 (10/4/2023 – 16/4/2023)

En este sprint se realizaron varias tareas sobre la aplicación web para permitir la fácil interacción con el formulario para obtener predicciones.

Tareas realizadas:

- Añadir y estilizar un formulario básico para interactuar desde el frontend con la API y obtener un predicción.
- Utilizar JavaScript para enviar los contenidos de este formulario de forma correcta al endpoint.
- Añadir barra de progreso de subida del vídeo una vez el formulario es enviado.
- Implementar el entrenamiento del modelo final con todos los datos y añadirlo a la API para poder realizar la predicción.
- Añadir funcionalidad de arrastrar y soltar al formulario para subir el vídeo.

Sprint 11 (17/4/2023 – 23/4/2023)

En este sprint se internacionalizó la aplicación web, entre otras cosas de menor importancia.

Tareas realizadas:

- Crear prototipos (mockups) para la página principal y para la gestión de modelos.
- Internacionalizar la aplicación mediante TypeSafe-i18n y añadir un selector de idioma.
- Añadir autenticación mediante tokens JWT (JSON Web Token) a la API.

Sprint 12 (24/4/2023 – 30/4/2023)

En este sprint se solucionaron algunos bugs y mejoró la accesibilidad de la aplicación web en gran medida gracias a un [curso sobre accesibilidad](#) que se realizó.

Tareas realizadas:

- Implementar la autenticación de usuario con la API desde la página web.
- Refactorizar y limpiar el código de la web.
- Solucionar bug de idioma indefinido.
- Pulir los estilos de algunos elementos de la web.
- Solucionar bug pantalla de administración se muestra brevemente antes de login.
- Mejorar accesibilidad del HTML.
- Añadir mensajes acompañando a la predicción dependiendo del resultado.

Sprint 13 (1/5/2023 – 7/5/2023)

En este sprint se implementó la administración de usuarios desde la página web.

- Pulir la pantalla de resultados de la web.
- Añadir ejecución de un script SQL por defecto en la creación de la base de datos.
- Añadir endpoints para crear y eliminar usuarios en la API.
- Añadir página de gestión de usuarios.

A.3. Estudio de viabilidad

Viabilidad económica

Viabilidad legal

Apéndice B. Especificación de Requisitos

B.1. Introducción

Antes de comenzar a crear un programa es importante detallar las características que deberá tener (quienes son los usuarios, qué acciones pueden realizar, de qué manera deberá responder el programa, etc.). En este caso se ha seguido UML (Unified Modelling Language) como estándar para definir estas características.

B.2. Objetivos generales

B.3. Catálogo de requisitos

Requisitos funcionales

- RF1:** El sistema debe permitir diferenciar entre dos roles: Usuario normal y Administrador.
- RF2:** Cualquier usuario debe poder subir un archivo de vídeo junto con información adicional para ser procesados por un modelo de inteligencia artificial y obtener el resultado.
- RF3:** Los usuarios administradores deben poder iniciar sesión con su nombre de usuario y contraseña respectivos.
- RF4:** Los usuarios administradores deben poder finalizar su sesión.

- RF5:** Un inicio de sesión debe ser mantenido entre cambios de página y cierres del navegador durante 24 horas.
- RF6:** Un administrador debe poder gestionar una lista con los modelos disponibles.
- RF7:** Un administrador debe poder añadir modelos a la lista de modelos disponibles.
- RF8:** Un administrador debe poder eliminar modelos de la lista de modelos disponibles.
- RF9:** Un administrador debe poder seleccionar de la lista de modelos disponibles aquel que se va a utilizar para realizar predicciones.

Requisitos no funcionales

- RNF1:** El tiempo desde que un usuario sube un vídeo y sus datos hasta que recibe el resultado debe ser inferior a un minuto.
- RNF2:** El sistema debe ser fácil de usar, con una interfaz intuitiva que el usuario entienda de forma inmediata.
- RNF3:** La página web deberá utilizar etiquetas y atributos HTML de tal forma que se facilite la navegación para personas con accesibilidad limitada.
- RNF4:** La información de los usuario se debe almacenar de forma segura, cifrando campos pertinentes como la contraseña.

B.4. Especificación de requisitos

Actores

Existen dos tipos de actores en esta aplicación:

- **Usuario Normal:** Es aquel usuario que no ha iniciado sesión y tiene un acceso limitado a las capacidades del sistema.
- **Administrador:** Es aquel usuario que sí ha iniciado sesión en la aplicación y tiene acceso a todas las funcionalidades.

Casos de uso

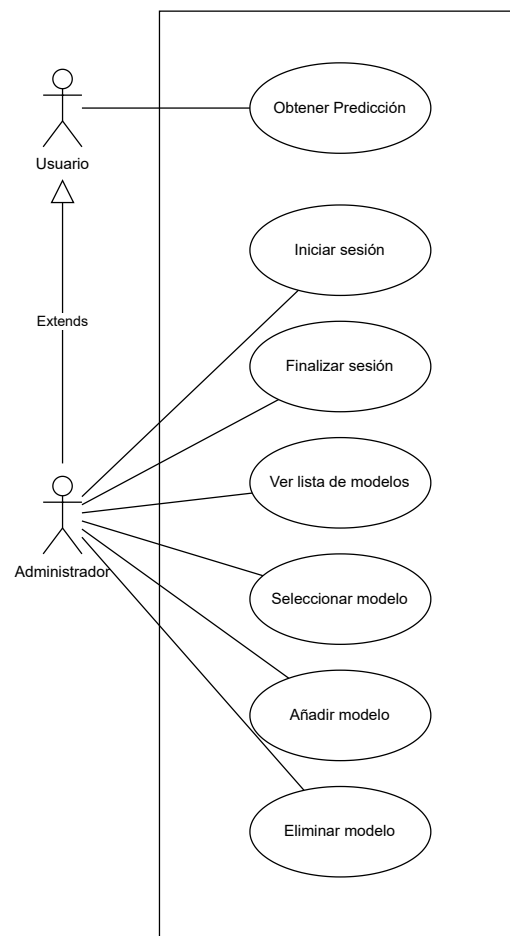


Figura B.1: Diagrama general de casos de uso

CU-1	Obtener predicción
Versión	1.0
Autor	Catalin Andrei Cacuci
Requisitos asociados	RF2
Descripción	Cualquier usuario debe poder obtener un predicción utilizado un modelo.
Precondición	Estar en la página respectiva de la web.
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario selecciona el archivo de vídeo sobre el que desea recibir una predicción. 2. El usuario introduce la información adicional necesaria. 3. El usuario hace clic sobre el botón para subir la infomación. 4. Se muestra una pantalla que informa al usuario sobre el estado de su petición. 5. Se muestra la predicción obtenida.
Postcondición	
Excepciones	<ol style="list-style-type: none"> 1 No se pueden extraer fotogramas con pose suficientes. 2 La información adicional introducida no es válida.
Importancia	Alta

Tabla B.1: CU-1 Obtener predicción.

CU-2	Iniciar sesión
Versión	1.0
Autor	Catalin Andrei Cacuci
Requisitos asociados	RF1, RF3
Descripción	Los usuarios administradores deben poder iniciar sesión con sus credenciales.
Precondición	Estar en la página de inicio de sesión.
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario introduce su nombre de usuario. 2. El usuario introduce su contraseña. 3. El usuario hace clic en el botón de “iniciar sesión”.
Postcondición	El usuario es redirigido a la página de administración pertinente.
Excepciones	<ol style="list-style-type: none"> 3 Las credenciales introducidas no son válidas.
Importancia	Alta

Tabla B.2: CU-2 Iniciar sesión.

CU-3	Finalizar sesión
Versión	1.0
Autor	Catalin Andrei Cacuci
Requisitos asociados	RF1, RF4
Descripción	Los usuarios administradores deben poder finalizar su sesión.
Precondición	Tener una sesión activa.
Acciones	<ol style="list-style-type: none">1. El usuario hace clic en el botón de la parte superior para cerrar su sesión.2. La sesión se cierra y el usuario es redirigido a la página principal.
Postcondición	
Excepciones	
Importancia	Media

Tabla B.3: CU-3 Finalizar sesión.

CU-4	Ver lista de modelos
Versión	1.0
Autor	Catalin Andrei Cacuci
Requisitos asociados	RF1, RF6
Descripción	Los usuarios administradores deben poder ver la lista con los modelos disponibles.
Precondición	
Acciones	<ol style="list-style-type: none">1. El usuario accede a la página de gestión de modelos.2. Se muestra una lista con los modelos existentes junto con algunas acciones.
Postcondición	
Excepciones	<ol style="list-style-type: none">1 Usuario no ha iniciado sesión.
Importancia	Alta

Tabla B.4: CU-4 Ver lista de modelos.

CU-5	Añadir modelo
Versión	1.0
Autor	Catalin Andrei Cacuci
Requisitos asociados	RF1, RF7
Descripción	Los usuarios administradores deben poder añadir modelos.
Precondición	El usuario debe estar en la lista de modelos.
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario hace clic en el botón para añadir un modelo. 2. Se abre un formulario donde se pide el archivo del modelo junto con información adicional que describa al modelo. 3. El usuario rellena el formulario y sube el archivo. 4. Se muestra una página de carga mientras se procesa la información. 5. Se devuelve al usuario a la lista de modelos, dondel el nuevo modelo debería estar presente.
Postcondición	
Excepciones	<ol style="list-style-type: none"> 1 Usuario no ha iniciado sesión. 5 Modelo subido no válido.
Importancia	Alta

Tabla B.5: CU-5 Añadir modelo.

CU-6	Eliminar modelo
Versión	1.0
Autor	Catalin Andrei Cacuci
Requisitos asociados	RF1, RF8
Descripción	Los usuarios administradores deben poder eliminar modelos.
Precondición	El usuario debe estar en la lista de modelos.
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario hace clic en el botón para eliminar un modelo en concreto. 2. Se abre una ventana modal que pregunta al usuario si está seguro. 3. Si está seguro, se refresca la página mostrando la información actualizada.
Postcondición	El modelo ha sido eliminado del disco donde estaba almacenado y su entrada en la base de datos ha sido eliminada.
Excepciones	<ol style="list-style-type: none"> 1 Usuario no ha iniciado sesión.
Importancia	Alta

Tabla B.6: CU-6 Eliminar modelo.

CU-7	Seleccionar modelo
Versión	1.0
Autor	Catalin Andrei Cacuci
Requisitos asociados	RF1, RF9
Descripción	Los usuarios administradores deben poder seleccionar el modelo a usar para realizar predicciones.
Precondición	El usuario debe estar en la lista de modelos.
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario hace clic en el botón para seleccionar un modelo concreto de la lista de modelos. 2. Se informa al usuario de que el modelo ha sido seleccionado y es el que se va a utilizar para realizar predicciones.
Postcondición	La base de datos cambia para establecer el modelo respectivo como seleccionado.
Excepciones	<ol style="list-style-type: none"> 1 Usuario no ha iniciado sesión.
Importancia	Alta

Tabla B.7: CU-7 Seleccionar modelo.

Apéndice C. Especificación de diseño

C.1. Introducción

La especificación de diseño sirve como una guía para el proceso de diseño de la aplicación, de modo que todas las personas involucradas en el proyecto saben cómo debería ser el producto final y pueden comunicarse y colaborar de forma más fácil.

En este anexo se intenta definir de forma clara el modo en que se van a almacenar los datos, las distintas interacciones que deberán existir entre las partes de la aplicación y la forma en la que el usuario final debe interactuar con ellas.

C.2. Diseño de datos

C.3. Diseño procedimental

C.4. Diseño arquitectónico

The mockup shows a web interface with a header area containing the text 'PADDEL' on the left and a grey button labeled 'Administración' on the right. Below the header, the main content area starts with the heading 'Obtener predicción'. This is followed by a link 'Guía de como tomar el vídeo'. Then, there is a section titled 'Mano que aparece en el vídeo' with a dropdown menu currently showing 'Izquierda/derecha'. Below this is a section titled 'Mano dominante' with another dropdown menu also showing 'Izquierda/derecha'. The next section is 'Sexo' with a dropdown menu showing 'Masculino/Femenino'. This is followed by the 'Edad' section, which has a text input field with the placeholder text 'Años'. At the bottom of the form is a large grey button labeled 'Obtener predicción'.

PADDEL

Administración

Obtener predicción

Guía de como tomar el vídeo

Mano que aparece en el vídeo

Izquierda/derecha ▼

Mano dominante

Izquierda/derecha ▼

Sexo

Masculino/Femenino ▼

Edad

Años

Obtener predicción

© 2023 Catalin Andrei, Cacuci

Figura C.1: Mockup de la página principal



© 2023 Catalin Andrei, Cacuci

Figura C.2: Mockup de la página de gestión de modelos

Apéndice D. Documentación técnica de programación

D.1. Introducción

Esta sección contiene toda la información que una persona externa debería tener para poder trabajar con las diferentes partes de este proyecto.

Existen varios archivos `Makefile` en diferentes lugares del proyecto que contienen diferentes comandos útiles que se repiten con frecuencia.

D.2. Estructura de directorios

En la raíz del proyecto se pueden encontrar los siguientes directorios:

/app/

Proyecto en Docker que implementa los contenedores que conforman la aplicación web. Este directorio contiene varios subdirectorios con el código fuente y configuración de las diferentes partes de la aplicación.

— api/

Este directorio contiene la implementación de la API de la aplicación, se ha realizado en Python mediante la librería **FastAPI**.

— proxy/

Configuración para el contenedor de Caddy que implementa un proxy inverso que redirige las peticiones que llegan desde el exterior al contenedor apropiado (API o web).

— web/

Proyecto de NextJS (framework de JavaScript) que implementa el *frontend* de la aplicación.

/docs/

Proyecto en L^AT_EX que contiene este documento junto con la memoria.

— anexos/

Contiene diferentes ficheros **.tex** que conforman estos anexos.

— common/

Archivos **.tex** comunes entre la memoria y estos anexos.

— img/

Diferentes imágenes utilizadas en la documentación.

— memoria/

Ficheros **.tex** que contienen los diferentes apartados de la memoria.

/notebooks/

Notebooks de Jupyter que se han utilizado para realizar pruebas, entrenar modelos, optimizar hiperparámetros y generar gráficas.

/paddel/

Librería PADDEL, es un proyecto de Python instalable mediante `pip` que contiene el código utilizado para realizar la fase de investigación (procesamiento de los vídeos, extracción de características, etc.) del que va a depender la aplicación web.

src/paddel/

Contiene los diferentes archivos de Python que componen la librería PADDEL.

hyper_parameters/

Contiene los archivos de Python relacionados con la fase de optimización de hiperparámetros.

preprocessing/

Contiene los archivos de Python relacionados con el pre-procesado y transformación de los vídeos para reducirlos a un conjunto de características.

D.3. Manual del programador

En esta sección se detalla todo lo que debería saber una persona que para realizar cambios sobre las diferentes partes que componen este proyecto.

Aplicación web

Para poder utilizar esta aplicación Docker debe ser instalado con antelación. La **documentación de Docker** detalla el proceso de instalación sobre diferentes plataformas. Una vez Docker está instalado el proceso siguiente debería ser agnóstico al sistema operativo utilizado.

La aplicación se compone por un conjunto de contenedores de Docker que interactúan entre ellos. En la raíz de la aplicación (**/app/**) se encuentran varios archivos *docker-compose* de tipo YAML:

- **docker-compose.yml**: Contiene la configuración básica común tanto para el entorno de desarrollo como para el de producción. Contiene información como dependencias entre contenedores, variables de entorno

que se pasa a cada contenedor y puertos en los que se va a servir la aplicación.

- `docker-compose.dev.yml`: Fichero con la configuración de los contenedores específica al entorno de desarrollo. Simplemente establece un mapeo entre los directorios del equipo anfitrión y los de los contenedores para que los cambios realizados desde el anfitrión se vean reflejados dentro de los contenedores y éstos se actualicen de forma acorde.
- `docker-compose.prod.yml`: Fichero con la configuración de los contenedores específica al entorno de producción. Simplemente establece el reinicio automático de los contenedores, para que en caso de fallo o reinicio del sistema, los contenedores se lancen junto al servicio de Docker.

Gracias al uso de Docker Compose se crea una red interna de Docker que conecta los diferentes contenedores entre sí y estableciendo *hostnames* simples que pueden utilizar para conectarse unos con otros. Por ejemplo, el proxy inverso puede realizar una petición HTTP a la API en la ruta `http://api`.

La configuración de los distintos contenedores se realiza mediante variables de entorno. Con el fin de establecer estas variables se ha creado el fichero `sample.env` que contiene unos valores básicos para estas variables que deberán ser cambiadas para adaptarse al entorno en el que se van a ejecutar los contenedores. Una vez realizados los cambios este fichero debe ser guardado con el nombre `.env` en el mismo directorio donde se encuentra `sample.env`. Este fichero `.env` es detectado de forma automática por Docker cuando se lanzan los contenedores.

Para las operaciones de arranque y parada de los contenedores se utiliza el comando `docker compose` junto con los parámetros adecuados para la operación que se desea realizar. Como estos comando no son triviales y se utilizan de forma frecuente se encuentran guardados en un fichero `Makefile`. Son posibles los siguientes comandos¹:

- `make down`: Equivalente al comando:

```
docker compose down --remove-orphans --rmi all --volumes
--timeout 0
```

¹Para utilizar un archivo `Makefile` se necesita la utilidad `make`, en caso de que no se disponga de la misma se pueden copiar los comandos del archivo `Makefile` y utilizar manualmente.

Elimina los contenedores y todo lo relacionado con los mismos sin esperar. No se elimina el caché que guarda Docker, por lo que si se vuelve a lanzar los contenedores no es necesario volver a descargar e instalar todo.

- **make dev**: Equivalente al comando:

```
make down &&  
docker compose -f docker-compose.yml  
-f docker-compose.dev.yml up -d
```

Para y elimina los contenedores si estos estaban funcionando y los lanza en modo desarrollo.

- **make prod**: Equivalente al comando:

```
make down &&  
docker compose -f docker-compose.yml  
-f docker-compose.prod.yml up -d
```

Para y elimina los contenedores si estos estaban funcionando y los lanza en modo producción.

Para el desarrollo de la aplicación, como es de esperar, se utiliza el comando **make dev** para arrancar los contenedores (habiendo antes instalado Docker y creado el archivo **.env**).

En modo desarrollo se pueden editar los ficheros directamente desde el sistema anfitrión y los cambios se van a ver reflejados sobre los contenedores, esto puede ser útil para realizar cambios pequeños en los que no se necesiten las ayudas que puede dar una IDE.

Para utilizar un entorno integrado para realizar el desarrollo se deben utilizar herramientas que pueden conectarse a contenedores de Docker, como, por ejemplo, **Visual Studio Code** con la extensión **Dev Containers** o IDEs de JetBrains, como IntelliJ o Pycharm, con el plugin de Docker.

En los siguientes apartados se detalla el proceso de desarrollo sobre los diferentes contenedores.

Proxy

El contenedor *proxy* contiene una instancia de Caddy funcionando como proxy inverso. Caddy es un servidor web similar a Nginx, pero con algunas características adicionales, como la gestión automática de certificados SSL.

Los archivos que utiliza este contenedor se encuentran en la carpeta `/app/proxy`:

- **Dockerfile**: Contiene la imagen y el proceso a seguir que Docker debe realizar para construir el contenedor.
- **Caddyfile**: Contiene la configuración de redirecciones de Caddy que determina el contenedor de destino para las peticiones que recibe.

Este contenedor es el único que tiene acceso al exterior, por lo que todas las peticiones que se hagan a la aplicación van a pasar por él.

API

El contenedor *api* se trata de una implementación basada en la librería FastAPI. Se puede obtener una visión general de las peticiones posibles en la ruta `/api` de la localización en la que se encuentra el servicio.

El fichero **Dockerfile** define como se prepara el contenedor, los pasos generales que sigue son:

1. Copiar (o montar) el código fuente de la API y la librería PADDEL desde el anfitrión.
2. Instalar los requisitos (**requirements.txt**), que incluyen PADDEL y las dependencias específicas de la API.
3. Se lanza el servicio de FastAPI con los parámetros adecuados dependiendo de si se lanza en modo desarrollo o producción.

Web

El contenedor *web* es un proyecto basado en NodeJS que utiliza el framework de JavaScript NextJS, este framework está basado en React, una librería de JavaScript que permite la creación de componentes interactivos y reutilizables dentro de una web. Debido a esto, la [documentación de NextJS](#) es un recurso de gran valor para el desarrollo de este proyecto.

En la raíz del proyecto existen varios archivos de interés:

- **Dockerfile**: Define cómo se crea el contenedor.
- **next.config.js**: Define algunas configuraciones para NextJS.
- **package.json**: Especifica detalles sobre el proyecto de NodeJS como nombre del proyecto, autor, dependencias y algunos comandos de utilidad.

- `package.lock.json`: Este archivo define las versiones específicas que se han utilizado de cada dependencia junto con sumas de comprobación para asegurar que se puede reproducir el entorno en el que se va a ejecutar la aplicación de forma exacta.
- `postcss.config.js`, `tailwind.config.js`: Archivos utilizados para la configuración de Tailwind CSS.
- `tsconfig.json`: Archivo que configura el compilador de TypeScript.
- `.eslint.json`: Archivo de configuración de ESLint.

Aunque los archivos anteriores son importantes, la mayoría de cambios y adiciones se realizan dentro de los directorios `/pages/`, que define la estructura de páginas de la web, y `/components/`, donde se encuentran los diferentes componentes reutilizables de la web.

Los archivos estáticos que se utilizan, imágenes, vídeos, iconos, se almacenan en el directorio `/public/`.

En el directorio `/styles/` se alojan los archivos que definen los estilos (CSS) de la web, el contenido de esta carpeta es bastante escaso debido al extenso uso de las clases que provee la librería Tailwind CSS.

Documentación

La documentación se trata de un proyecto de \LaTeX compuesto por varios archivos `.tex` que se compilan a archivos `.pdf`.

Para poder compilar estos archivos se necesita tener instalada una distribución de \LaTeX , en general la más recomendada es [TeX Live](#), disponible en varias plataformas.

Una vez instalado \LaTeX se debería tener acceso al comando `latexmk`, que se utiliza dentro del archivo `Makefile` tanto para compilar los archivos como para limpiar los archivos sobrantes. Están definidos los siguientes comandos:

- `make memoria`: Compila la memoria. Equivalente a ejecutar:

```
latexmk -cd -pdf memoria.tex
```

- `make anexos`: Compila los anexos. Equivalente a ejecutar:

```
latexmk -cd -pdf anexos.tex
```

- `make all`: Compila la memoria y los anexos. Equivalente a ejecutar los comandos anteriores.
- `make clean`: Elimina archivos auxiliares generados durante la compilación. Equivalente a ejecutar:

```
latexmk -cd -pdf -bibtex-cond1 -c memoria.tex  
latexmk -cd -pdf -bibtex-cond1 -c anexos.tex
```

Para editar los archivos de este proyecto existen algunas alternativas, como el entorno integrado creado específicamente para L^AT_EX **Texmaker** o Visual Studio Code con la extensión **Latex Workshop**.

Librería PADDEL

La librería PADDEL se trata de una librería de Python que se puede instalar mediante el comando `pip`, se puede instalar pasándole la ruta donde se encuentra el archivo `pyproject.toml`, por ejemplo:

```
pip install ./paddel
```

La librería contiene diferentes módulos que se utilizan para el preprocesado de los vídeos de paciente y el entrenamiento de modelos.

Configuración

Para configurar algunos parámetros del funcionamiento se ha optado por utilizar variables de entorno, gracias a la librería **Pydantic** las siguientes variables de entorno son leídas e interpretadas cuando una de ellas sea necesitada por primera vez:

- `PADDEL_MIN_DETECTION_SECONDS`: Tiempo mínimo de detección en segundos para que un vídeo no se descarte debido a no tener suficientes fotogramas seguidos con poses detectadas. Por defecto es 15 segundos.
- `PADDEL_ROLLING_STD_SECONDS`: Ventana utilizada para el cálculo de la desviación estándar móvil en la extracción de algunas características, esto se utiliza para obtener un umbral y, así, saber cuando considerar o no máximos locales dentro de una secuencia de valores. Por defecto es 3 segundos.
- `PADDEL_SLOT_SIZE_SECONDS`: Para las características que se calculan como una diferencia entre la parte inicial y final de una secuencia de poses (vídeo), es el tamaño de cada una de estas partes. No puede ser

mayor que `PADDEL_MIN_DETECTION_SECONDS` y establecerlo a más de $\frac{1}{2}$ de su valor puede ser problemático. Por defecto es 7 segundos.

- `PADDEL_MAX_PROCESSES`: Número máximo de procesos a utilizar en operaciones paralelizadas. Por defecto es el número de núcleos del procesador de la máquina donde se ejecute la librería.

Tipos

Esta librería utiliza extensamente el tipado que ofrece Python por defecto, aunque este no es impuesto en tiempo de ejecución, resulta muy útil al ser utilizado con un entorno de desarrollo integrado (IDE) ya que se pueden obtener ayudas y avisos que serían imposibles de obtener de otro modo.

El archivo `types.py` contine las definiciones de algunos tipos complejos que se utilizan a través de la librería debido a que son específicos a este problema concreto. Algunos de estos tipos incluyen:

- **Image**: Definido como un array de Numpy de cualquier dimensión que tenga como tipo de dato números enteros sin signo de 8 bits, lo que se corresponde con imágenes en RGB, RGBA, BGR, etc.
- **Video**: Definido como un objeto iterable de objetos de tipo **Image**, lo que es lógico, ya que un vídeo es una secuencia de imágenes.
- **Point**: Definido como una tupla con componenetes x , y y z representa un punto en un espacio de tres dimensiones, es utilizado para definir las *landmarks* que componen una pose de la mano.

Convenciones del código

En la librería se han seguido las convenciones de formato definidas por **Black**, que es una libería de formateado de código para Python, escrita en Python.

Se ha seleccionado Black debido a que incluye mucha opiniones predefinidas y limita en gran medida las opciones que puede controlar el usuario, esto puede parecer una desventaja, pero en este caso simplemente se deseaba una utilidad que diese un aspecto homogéneo al código con el menor esfuerzo posible por parte del programador. Además, gracias a la limitada personalización que ofrece Black, se cumple con el principio de Convención sobre Configuración [1].

Además de Black, se utilizan las herramientas **autoflake**, **isort** y **mypy** para eliminar sentencias `import` y variables no utilizadas, reordenar las sentencias `import` y comprobar el tipado estático utilizado respectivamente.

Como antes, el uso de estas herramientas se simplifica gracias al uso de la utilidad `make`. En este caso el archivo `Makefile` aporta los siguientes comandos:

- `make lint:`
- `make format`

Notebooks de Jupyter

D.4. Compilación, instalación y ejecución del proyecto

D.5. Pruebas del sistema

Apéndice E. Documentación de usuario

- E.1. Introducción**
- E.2. Requisitos de usuarios**
- E.3. Instalación**
- E.4. Manual del usuario**

Bibliografía

- [1] Wikipedia. Convención sobre configuración — wikipedia, la enciclopedia libre, 2020. [Internet; descargado 17-abril-2020].