



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 — 5 de junio  
de 2023

Tutora: Alicia Olivares Gil  
Cotutor: Álvar Arnaiz González



---

# Índice general

---

<b>Índice general</b>	<b>I</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>III</b>
<b>Índice de tablas</b>	<b>IV</b>
<b>Apéndice A. Plan de Proyecto Software</b>	<b>1</b>
A.1. Introducción . . . . .	1
A.2. Planificación temporal . . . . .	1
A.3. Estudio de viabilidad . . . . .	8
<b>Apéndice B. Especificación de Requisitos</b>	<b>13</b>
B.1. Introducción . . . . .	13
B.2. Objetivos generales . . . . .	13
B.3. Catálogo de requisitos . . . . .	14
B.4. Especificación de requisitos . . . . .	18
<b>Apéndice C. Especificación de diseño</b>	<b>31</b>
C.1. Introducción . . . . .	31
C.2. Diseño de datos . . . . .	31
C.3. Diseño procedimental . . . . .	32
C.4. Diseño arquitectónico . . . . .	33
<b>Apéndice D. Documentación técnica de programación</b>	<b>35</b>
D.1. Introducción . . . . .	35
D.2. Estructura de directorios . . . . .	35
D.3. Manual del programador . . . . .	37

D.4. Compilación, instalación y ejecución del proyecto . . . . .	46
D.5. Pruebas del sistema . . . . .	48
<b>Apéndice E. Documentación de usuario</b>	<b>49</b>
E.1. Introducción . . . . .	49
E.2. Aplicación web . . . . .	49
E.3. Script generación modelos . . . . .	60
<b>Bibliografía</b>	<b>63</b>

---

## Índice de figuras

---

B.1. Mockup de la página de inicio de sesión . . . . .	14
B.2. Mockup de la página principal . . . . .	15
B.3. Mockup de la página de gestión de modelos . . . . .	16
B.4. Mockup de la página de gestión de usuarios . . . . .	17
B.5. Diagrama general de casos de uso . . . . .	19
C.1. Diagrama de secuencia para la obtención de una predicción . . .	32
C.2. Arquitectura de la aplicación . . . . .	34
E.1. Formulario – Página principal . . . . .	51
E.2. Pantalla de carga formulario – Subida . . . . .	52
E.3. Pantalla de carga formulario – Procesado . . . . .	52
E.4. Resultado predicción . . . . .	53
E.5. Error predicción . . . . .	53
E.6. Selector de idiomas . . . . .	54
E.7. Formulario de inicio de sesión . . . . .	55
E.8. Error de inicio de sesión . . . . .	56
E.9. Selección de modelo . . . . .	57
E.10. Añadir modelo . . . . .	58
E.11. Confirmación eliminar modelo . . . . .	58
E.12. Añadir usuario . . . . .	59
E.13. Confirmación eliminar usuario . . . . .	60
E.14. Introducción información sobre sistema de archivos . . . . .	61
E.15. Selección número de características y algoritmo . . . . .	62
E.16. Introducción de parámetros del algoritmo . . . . .	62

---

# Índice de tablas

---

A.1. Costes . . . . .	10
A.2. Resumen de licencias de las bibliotecas/herramientas utilizadas	11
B.1. CU-1 Obtener predicción. . . . .	20
B.2. CU-2 Iniciar sesión. . . . .	21
B.3. CU-3 Finalizar sesión. . . . .	22
B.4. CU-4.1 Ver lista de modelos. . . . .	23
B.5. CU-4.2 Seleccionar modelo. . . . .	24
B.6. CU-4.3 Añadir modelo. . . . .	25
B.7. CU-4.4 Eliminar modelo. . . . .	26
B.8. CU-5.1 Ver lista de usuarios. . . . .	27
B.9. CU-5.2 Añadir usuario. . . . .	28
B.10. CU-5.3 Eliminar usuario. . . . .	29

---

# Apéndice A. Plan de Proyecto Software

---

## A.1. Introducción

El propósito del plan de proyecto es definir de forma clara cuales son los objetivos del proyecto y de qué manera van a ser alcanzados.

## A.2. Planificación temporal

La planificación del proyecto se llevó a cabo mediante una metodología ágil, en concreto Scrum, en un principio se utilizó la herramienta **ZenHub**, pero debido a cambios en la política de la misma, dejó de ser utilizable en este proyecto.

Scrum tiene por objetivo llevar a cabo una progresión incremental, dividiendo el tiempo de trabajo en partes denominadas *sprint*. Antes de comenzar cada uno de estos *sprints* se realiza una reunión de planificación con los miembros del equipo en la que se asigna un determinado número de tareas que se intentará realizar durante dicho *sprint*. Las tareas realizadas durante el periodo de tiempo asignado al *sprint* se marcan como completadas, las que no puedan ser realizadas a tiempo pasarán al siguiente *sprint*.

En este caso concreto la duración de cada *sprint* se ha fijado a 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 que componen el proyecto 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 dependiente 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 alrededor 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

En este apartado se analizan algunos aspectos que se deberían tener en cuenta si el producto creado en este proyecto fuese llevado a un entorno más real, en el que se tuviese que responder ante otras personas si hubiese algún problema.

#### Viabilidad económica

En este subapartado se va a realizar un pequeño estudio económico sobre los costes y las ganancias de este proyecto.

##### Costes

Existen varios costes, tanto fijos como variables, que tendría esta aplicación

**Empleados** Durante el transcurso del desarrollo del proyecto se han invertido aproximadamente 450 horas de trabajo durante un periodo de 5 meses.

El salario medio en España de un programador junior es de unos 22.000€, como de media se trabaja al rededor de 1.826 horas al año, esto equivale a unos 12€ por hora.

Con estas cifras se obtiene el siguiente salario mensual bruto.

$$450 \text{ horas} \times 12 \frac{\text{€}}{\text{hora}} / 5 \text{ meses} = 1,080 \frac{\text{€}}{\text{mes}}$$

Para obtener el gasto que supone este salario se deben añadir los impuestos que corren a cargo de la empresa, estos son los siguientes según **la Seguridad Social**:

- **Contingencias comunes:** Para tratar alteraciones de la salud no relacionadas con un accidente de trabajo o enfermedad profesional. Corresponde con el 23,60 % del salario.
- **Desempleo:** Correspondiente al 5,50 %.
- **FOGASA** (Fondo de Garantía Salarial): Para abonar a los trabajadores el importe de salarios pendientes por diversas razones relacionadas con la quiebra de una empresa. Corresponde al 0,20 %.

- **Formación profesional:** Utilizado para incentivar la formación de trabajadores. Corresponde al 0,60 %.

Según los impuestos anteriores el importe a pagar por la empresa en materia de salario es:

$$\frac{900 \frac{\text{€}}{\text{mes}}}{1 - (0,236 + 0,055 + 0,002 + 0,006)} = 1283,88 \frac{\text{€}}{\text{mes}}$$

## Hardware

**Equipo para el desarrollo** Para el desarrollo de la aplicación se han utilizado dos equipos informáticos, uno de escritorio y otro portátil, con un precio de alrededor de 1100€ y 1200€ respectivamente.

Estableciendo un periodo de amortización de 4 años para ambos bienes se obtiene un coste anual de:

$$\frac{1100\text{€} + 1200\text{€}}{4 \text{ años}} = 575 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

Como el proyecto ha sido realizado durante 5 meses la amortización total en este periodo de tiempo es de 239,58€.

**Alojamiento de la aplicación** La aplicación debe ser alojada en una máquina con prestaciones suficientes como para cumplir con los requisitos funcionales y no funcionales establecidos.

Una opción sería alquilar espacio en un centro de datos de alojamiento en el que instalar un equipo informático propio, esto tiene ciertas ventajas al tener completo control sobre los componentes, pero al mismo tiempo supone un gasto muy grande, ya que se debe tener en cuenta el gasto inicial de adquisición del hardware que podría rondar entre 500€ y 1000€, además del gasto recurrente de alquiler del alojamiento que, para un *rack* de una unidad suele estar en torno a los 100€ mensuales.

Otra opción, y por la que se ha decidido al final, es utilizar alguno de los servicios de alojamiento virtualizados ofrecidos por varios proveedores como Hetzner o OVH. Se han barajado ambas opciones y, aunque OVH dispone de una red con un servicio más rápido para España, Hetzner ofrece una mejor relación rendimiento/precio, por lo que el servicio utilizado para alojar la

aplicación es el servidor virtualizado CPX21 (3 procesadores virtuales, 4GB de RAM, 80GB de almacenamiento, IPv4 y tráfico de subida de 20TB) de Hetzner, con un precio de 9,13€ por mes.

La aplicación ha sido alojada durante los últimos 3 meses, por lo que el coste total de esto ha sido de:

$$9,13 \frac{\text{€}}{\text{mes}} \times 3 \text{ meses} = 27,39\text{€}$$

Todo lo anterior resulta en unos costes totales por hardware de 266,97€.

**Software** La mayor parte de programas utilizados durante el desarrollo son gratuitos, la única excepción es la versión profesional del IDE PyCharm, que aunque ha sido gratuito gracias a la licencia para estudiantes, en un entorno empresarial esto no sería posible. El precio mensual de este producto es de 30,13€. Por lo que el coste total durante estos 5 meses sería de:

$$5 \text{ meses} \times 30,13 \frac{\text{€}}{\text{mes}} = 150,65\text{€}$$

**Costes totales** La siguiente tabla muestra de forma resumida los costes en los que se ha incurrido durante el desarrollo del proyecto.

Concepto	Coste (€)
Empleados	1283,88
Hardware	266,97
Software	150,65
<b>Total</b>	<b>1701,50</b>

Tabla A.1: Costes

## Ganancias

Uno de los objetivos del proyecto es que el uso del sistema sea accesible, por lo que imponer una barrera monetaria iría directamente en contra de este objetivo. Por lo que se ha decidido que la aplicación web va a ser gratuita. Debido a esto, la empresa no obtendrá beneficios. Esto se podría solventar en cierto modo abriendo un portal de donaciones para intentar cubrir al menos los costes de alojamiento.



## Viabilidad legal

La siguiente tabla recopila las licencias de las diferentes librerías y utilidades de las que depende la aplicación junto con las licencias bajo las que han sido distribuidas.

Librería	Licencia
numpy	3-Clause BSD License
pandas	3-Clause BSD License
scipy	3-Clause BSD License
sklearn	3-Clause BSD License
imbalanced-learning	MIT
pydantic	MIT
Mediapipe	Apache License 2.0
OpenCV Python	MIT
tsfresh	MIT
matrixprofile	Apache License 2.0
xgboost	Apache License 2.0
skopt	3-Clause BSD License
fastapi	MIT
uvicorn	3-Clause BSD License
sqlalchemy	MIT
psycopg2	GNU Lesser General Public License
python-multipart	Apache License 2.0
python-jose	MIT
passlib	2-Clause BSD License
caddy	Apache License 2.0
nodejs	MIT
sveltekit	MIT
tailwindcss	MIT
axios	MIT
resolve-accept-language	MIT
typesafe-i18n	MIT
PostgreSQL	<b>PostgreSQL Licence</b> (Similar a BSD y MIT)

Tabla A.2: Resumen de licencias de las bibliotecas/herramientas utilizadas

Todas las librerías y herramientas utilizadas tienen licencias libres típicas en programas de código abierto que permiten su uso de forma gratuita.

Gracias a esto la aplicación puede ser distribuida bajo casi cualquier otra licencia, en este caso se ha optado por utilizar la licencia MIT, que otorga a cualquier persona que obtenga una copia del proyecto a usarlo, modificarlo y redistribuirlo libremente, al mismo tiempo que el dueño está protegido de la responsabilidad legal de cualquier problema que pueda dar el uso de dicho programa.

---

## **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**

Durante la fase de investigación del proyecto se ha creado una multitud de modelos de inteligencia artificial con diferentes grados de precisión para detectar la enfermedad de Parkinson en un individuo. Estos modelos son almacenados como archivos binarios y los conocimientos específicos de programación requeridos para su uso hacen imposible que la persona media o personal médico pueda obtener una predicción.

El objetivo principal de esta aplicación es implementar una interfaz intuitiva para interactuar con los modelos sin la necesidad de que el usuario final altere de ninguna forma su equipo informático.

Como objetivo secundario, la aplicación debe permitir a los usuarios registrados seleccionar el modelo utilizado mediante la misma interfaz usada para realizar las predicciones.

## B.3. Catálogo de requisitos

### Requisitos funcionales

**RF1:** El sistema debe permitir diferenciar entre dos roles: Usuario estándar (que no ha iniciado sesión) y Administrador.



Mockup de la página de inicio de sesión. El formulario está centrado y contiene el título "Inicio de sesión" en negrita. Debajo del título hay dos campos de entrada: "Nombre de usuario" y "Contraseña", cada uno con un recuadro rectangular. Debajo de los campos hay un botón gris con el texto "Iniciar sesión".

Figura B.1: Mockup de la página de inicio de sesión

**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 una 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 B.2: Mockup de la página principal

- 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.

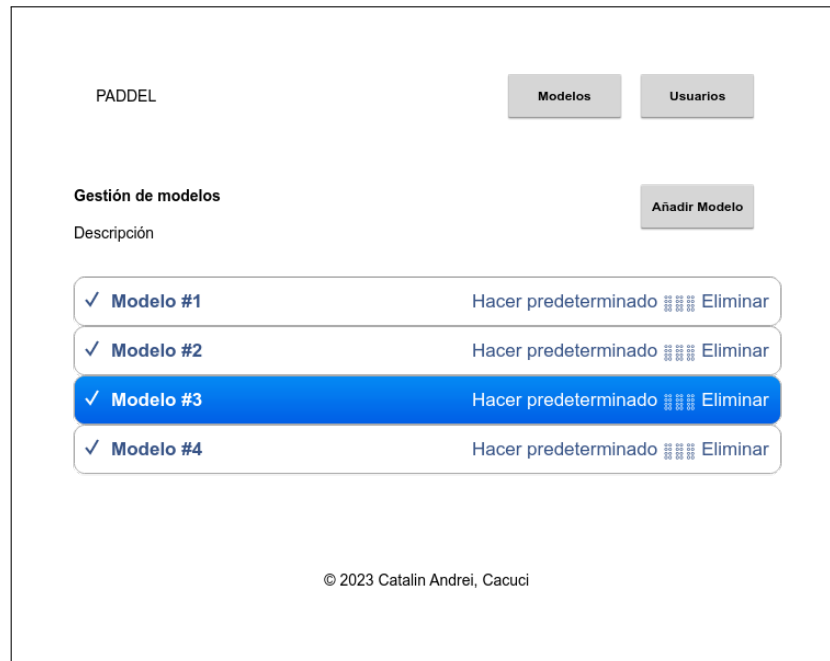


Figura B.3: Mockup de la página de gestión de modelos

- 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.
- RF10:** Un administrador debe tener acceso a una lista con todos los usuarios registrados en la aplicación.

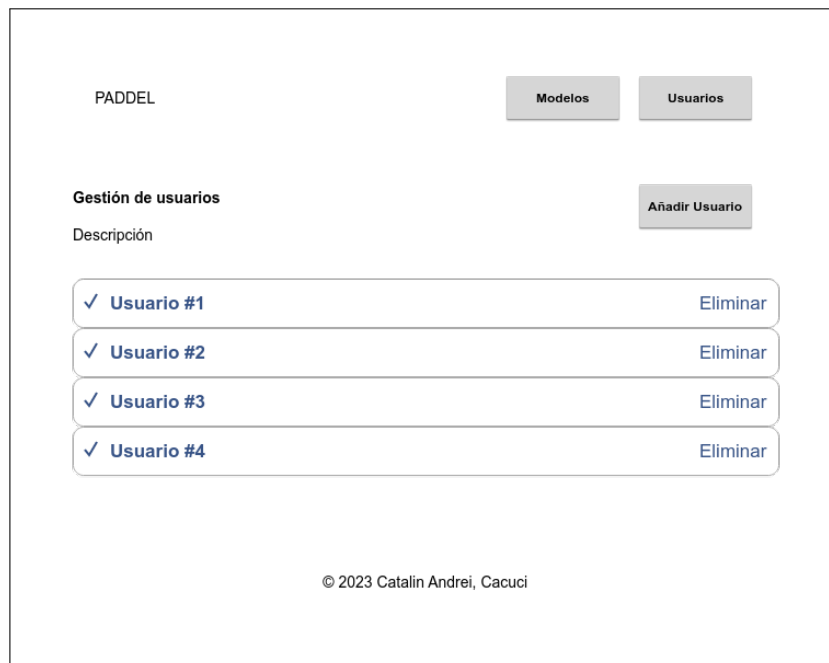


Figura B.4: Mockup de la página de gestión de usuarios

**RF11:** Un administrador debe poder añadir nuevos usuarios de tipo administrador a la aplicación, especificando su nombre de usuario y contraseña.

**RF12:** Un administrador debe poder eliminar usuarios de la aplicación.

## Requisitos no funcionales

**RNF1:** El tiempo desde que un usuario termina de subir el 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 Estándar:** 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

Un caso de uso es la descripción de una interacción que el sistema debe permitir realizar al usuario o usuarios pertinentes. El diagrama general de casos de uso se puede observar en la figura [B.5](#)



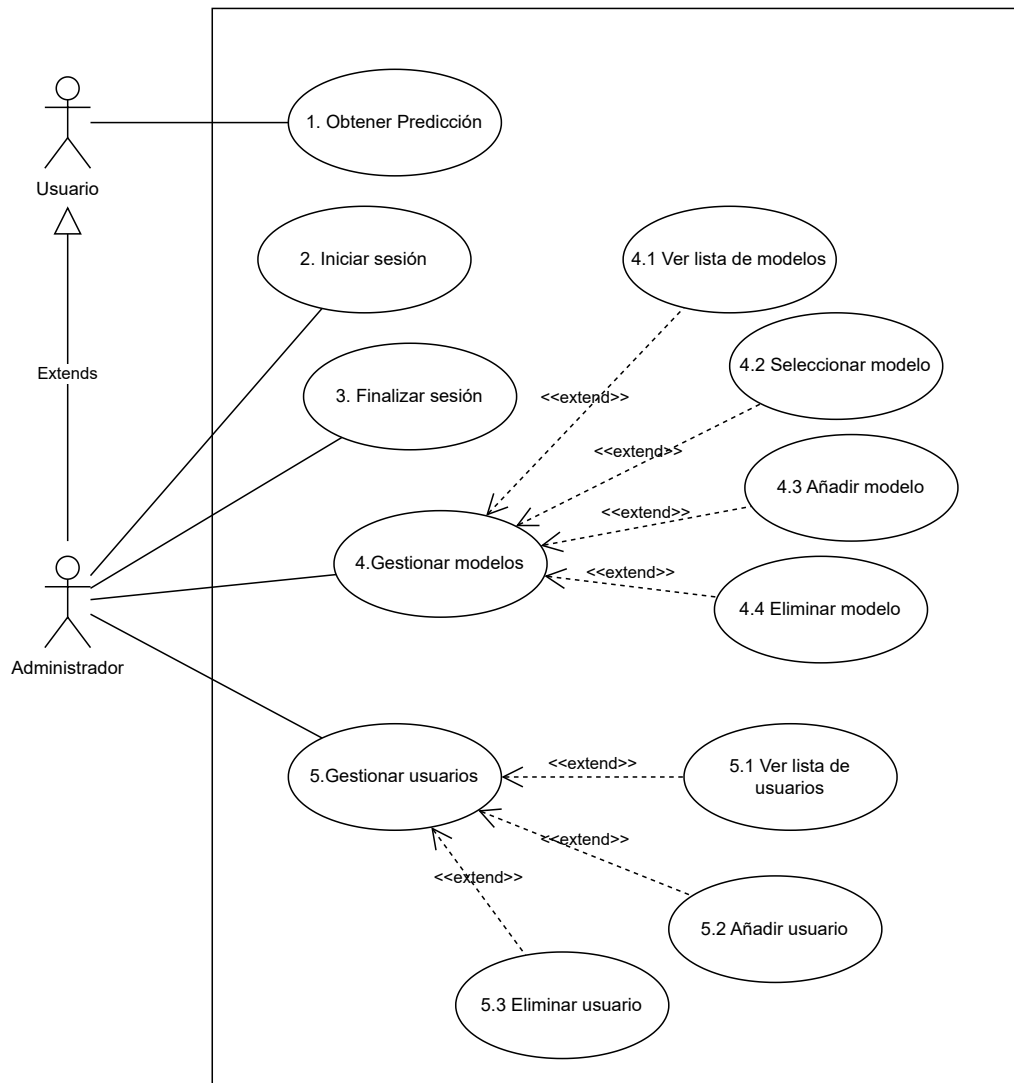


Figura B.5: Diagrama general de casos de uso

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

Tabla B.1: CU-1 Obtener predicción.

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

Tabla B.2: CU-2 Iniciar sesión.

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

Tabla B.3: CU-3 Finalizar sesión.

<b>CU-4.1</b>	<b>Ver lista de modelos</b>
<b>Versión</b>	1.0
<b>Autor</b>	Catalin Andrei Cacuci
<b>Requisitos asociados</b>	RF1, RF6
<b>Descripción</b>	Los usuarios administradores deben poder ver la lista con los modelos disponibles.
<b>Precondición</b>	
<b>Acciones</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. El usuario accede a la página de gestión de modelos.</li><li>2. Se muestra una lista con los modelos existentes junto con algunas acciones.</li></ol>
<b>Postcondición</b>	
<b>Excepciones</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1 Usuario no ha iniciado sesión.</li></ol>
<b>Importancia</b>	Alta

Tabla B.4: CU-4.1 Ver lista de modelos.

CU-4.2	Seleccionar modelo
<b>Versión</b>	1.0
<b>Autor</b>	Catalin Andrei Cacuci
<b>Requisitos asociados</b>	RF1, RF9
<b>Descripción</b>	Los usuarios administradores deben poder seleccionar el modelo a usar para realizar predicciones.
<b>Precondición</b>	El usuario debe estar en la lista de modelos.
<b>Acciones</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El usuario hace clic en el botón para seleccionar un modelo concreto de la lista de modelos.</li> <li>2. Se informa al usuario de que el modelo ha sido seleccionado y es el que se va a utilizar para realizar predicciones.</li> </ol>
<b>Postcondición</b>	La base de datos cambia para establecer el modelo respectivo como seleccionado.
<b>Excepciones</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Usuario no ha iniciado sesión.</li> </ol>
<b>Importancia</b>	Alta

Tabla B.5: CU-4.2 Seleccionar modelo.

<b>CU-4.3</b>	<b>Añadir modelo</b>
<b>Versión</b>	1.0
<b>Autor</b>	Catalin Andrei Cacuci
<b>Requisitos asociados</b>	RF1, RF7
<b>Descripción</b>	Los usuarios administradores deben poder añadir modelos.
<b>Precondición</b>	El usuario debe estar en la lista de modelos.
<b>Acciones</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El usuario hace clic en el botón para añadir un modelo.</li> <li>2. Se abre un formulario donde se pide el archivo del modelo junto con información adicional que describa al modelo.</li> <li>3. El usuario rellena el formulario y sube el archivo.</li> <li>4. Se muestra una página de carga mientras se procesa la información.</li> <li>5. Se devuelve al usuario a la lista de modelos, donde el nuevo modelo debería estar presente.</li> </ol>
<b>Postcondición</b>	
<b>Excepciones</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Usuario no ha iniciado sesión.</li> <li>5 Modelo subido no válido.</li> </ol>
<b>Importancia</b>	Alta

Tabla B.6: CU-4.3 Añadir modelo.

CU-4.4	Eliminar modelo
<b>Versión</b>	1.0
<b>Autor</b>	Catalin Andrei Cacuci
<b>Requisitos asociados</b>	RF1, RF8
<b>Descripción</b>	Los usuarios administradores deben poder eliminar modelos.
<b>Precondición</b>	El usuario debe estar en la lista de modelos.
<b>Acciones</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El usuario hace clic en el botón para eliminar un modelo en concreto.</li> <li>2. Se abre una ventana modal que pregunta al usuario si está seguro.</li> <li>3. Si está seguro, se refresca la página mostrando la información actualizada.</li> </ol>
<b>Postcondición</b>	El modelo ha sido eliminado del sistema donde estaba almacenado y su entrada en la base de datos ha sido eliminada.
<b>Excepciones</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Usuario no ha iniciado sesión.</li> </ol>
<b>Importancia</b>	Media

Tabla B.7: CU-4.4 Eliminar modelo.



<b>CU-5.1</b>	<b>Ver lista de usuarios</b>
<b>Versión</b>	1.0
<b>Autor</b>	Catalin Andrei Cacuci
<b>Requisitos asociados</b>	RF1, RF6
<b>Descripción</b>	Los usuarios administradores deben poder ver la lista con los usuarios existentes.
<b>Precondición</b>	
<b>Acciones</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. El usuario accede a la página de gestión de usuarios.</li><li>2. Se muestra una lista con los usuarios existentes junto con algunas acciones que se puede realizar sobre los mismos.</li></ol>
<b>Postcondición</b>	
<b>Excepciones</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1 Usuario no ha iniciado sesión.</li></ol>
<b>Importancia</b>	Baja

Tabla B.8: CU-5.1 Ver lista de usuarios.

<b>CU-5.2</b>	<b>Añadir usuario</b>
<b>Versión</b>	1.0
<b>Autor</b>	Catalin Andrei Cacuci
<b>Requisitos asociados</b>	RF1, RF7
<b>Descripción</b>	Los usuarios administradores deben poder añadir nuevos usuarios al sistema.
<b>Precondición</b>	El usuario debe estar en la página con la lista de usuarios.
<b>Acciones</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El usuario hace clic en el botón para añadir un usuario.</li> <li>2. Se abre un formulario donde se pide el nombre de usuario junto con su contraseña.</li> <li>3. El usuario rellena el formulario y lo envía.</li> <li>4. Se devuelve al usuario a la lista de usuarios, donde el nuevo usuario debería estar presente.</li> </ol>
<b>Postcondición</b>	
<b>Excepciones</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Usuario no ha iniciado sesión.</li> <li>3 Nombre de usuario demasiado corto.</li> <li>3 Contraseña demasiado corta.</li> </ol>
<b>Importancia</b>	Baja

Tabla B.9: CU-5.2 Añadir usuario.

CU-5.3	Eliminar usuario
<b>Versión</b>	1.0
<b>Autor</b>	Catalin Andrei Cacuci
<b>Requisitos asociados</b>	RF1, RF8
<b>Descripción</b>	Los usuarios administradores deben poder eliminar usuarios.
<b>Precondición</b>	El usuario debe estar en la lista de usuarios.
<b>Acciones</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El usuario hace clic en el botón para eliminar un usuario concreto.</li> <li>2. Se abre una ventana modal que pregunta al usuario si está seguro.</li> <li>3. Si está seguro, se refresca la página mostrando la información actualizada.</li> </ol>
<b>Postcondición</b>	El usuario ha sido eliminado de la base de datos.
<b>Excepciones</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Usuario no ha iniciado sesión.</li> </ol>
<b>Importancia</b>	Baja

Tabla B.10: CU-5.3 Eliminar usuario.



---

# 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 deberá interactuar con ellas.

## C.2. Diseño de datos

Esta sección especifica la forma en la que se han gestionado los datos usados en el proyecto.

### Base de datos de la aplicación

En este subapartado se explica de forma detallada la forma en la que se almacenan los datos con los que trabaja la aplicación (información de usuario, información sobre los modelos y los archivos binarios de estos modelos).

En este caso se ha optado por utilizar el sistema gestor de bases de datos PostgreSQL. Esta decisión es debido a que ya existía cierta familiaridad con

el programa y a que es ampliamente soportado por SQLAlchemy, la librería ORM (Object-Relational Mapping) utilizada en la API.

El diseño de datos creado es muy simple debido a que la aplicación en sí es muy simple. Su objetivo principal es permitir la fácil utilización de modelos previamente entrenados para obtener predicciones y selección de los mismos por parte de los administradores.

En la base de datos se almacenan las siguientes entidades:

- **Usuario (User):** Corresponde con los usuarios registrados en la aplicación. Dispone de los campos *id*, *username* y *password*.
- **Modelo (Model):** Corresponde con los modelos disponibles dentro de la aplicación. Dispone de los campos *id*, *name*, *path* y *selected*.

Para determinar el modelo seleccionado se utiliza el campo *selected*, que es de tipo booleano, puede valer *null* y su valor es único. De modo que este campo vale *true* para el modelo seleccionado y *null* para todos los demás.

## Datos para la generación de modelos

Este subapartado describe los datos usados en la fase de investigación para entrenar, evaluar y generar los modelos.

### C.3. Diseño procedimental

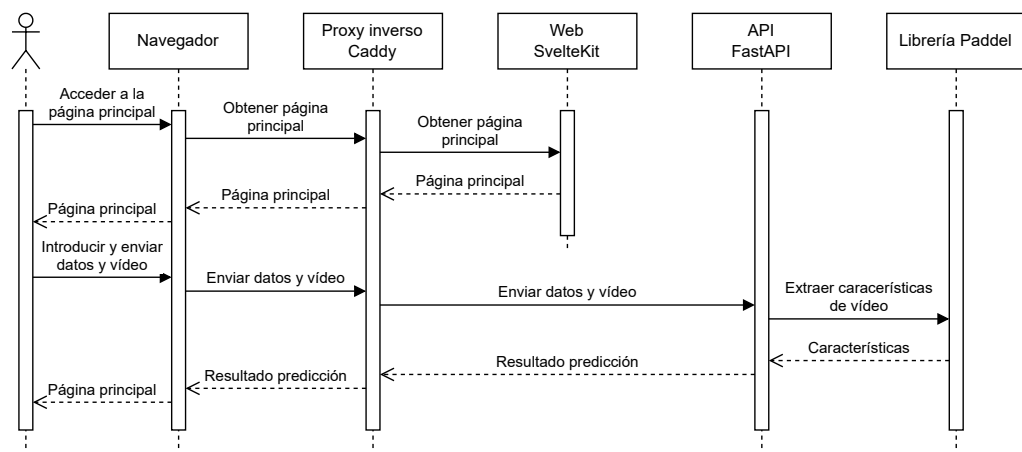


Figura C.1: Diagrama de secuencia para la obtención de una predicción

## C.4. Diseño arquitectónico

El diseño arquitectónico de la aplicación fue seleccionado sin consultar ningún patrón preexistente. Simplemente se tomaron las decisiones que parecían más lógicas en su momento. Pese a esto, la aplicación ha tomado una estructura muy similar a un patrón arquitectónico de cuatro capas.

Los patrones multicapa son de gran utilidad para reducir las dependencias existentes entre las diferentes partes de la aplicación, aunque tienen la desventaja que impactar el rendimiento durante la comunicación entre capas y pueden provocar cambios en cascada. Una característica importante es que las capas tienen un orden lógico y una capa solamente puede comunicarse con sus capas adyacentes. Además una capa solamente puede comenzar una petición hacia su capa inferior, la comunicación hacia la capa superior se realiza siempre en forma de respuesta.

Las siguientes capas conforman el patrón de cuatro capas, en orden de superior a inferior.

1. **Capa de presentación:** Determina la forma en que el usuario interactúa con la aplicación. En este caso corresponde con el frontend, es decir, la página web.
2. **Capa de servicios:** Sirve como fachada entre la capa de presentación y la de lógica de negocios. En este caso corresponde con la API REST creada.
3. **Capa de lógica de negocio:** Determina la forma en la que trabaja la aplicación con los datos para cumplir con los requisitos establecidos. En este caso corresponde con el código usado para realizar predicciones y gestionar modelos y usuario.
4. **Capa de origen de datos:** Determina la comunicación con los sistemas que contienen los datos con los que trabaja la aplicación. En este caso es la base de datos en PostgreSQL.

La figura [C.2](#) muestra las interacciones que existen entre los diferentes componentes con conforman el proyecto.

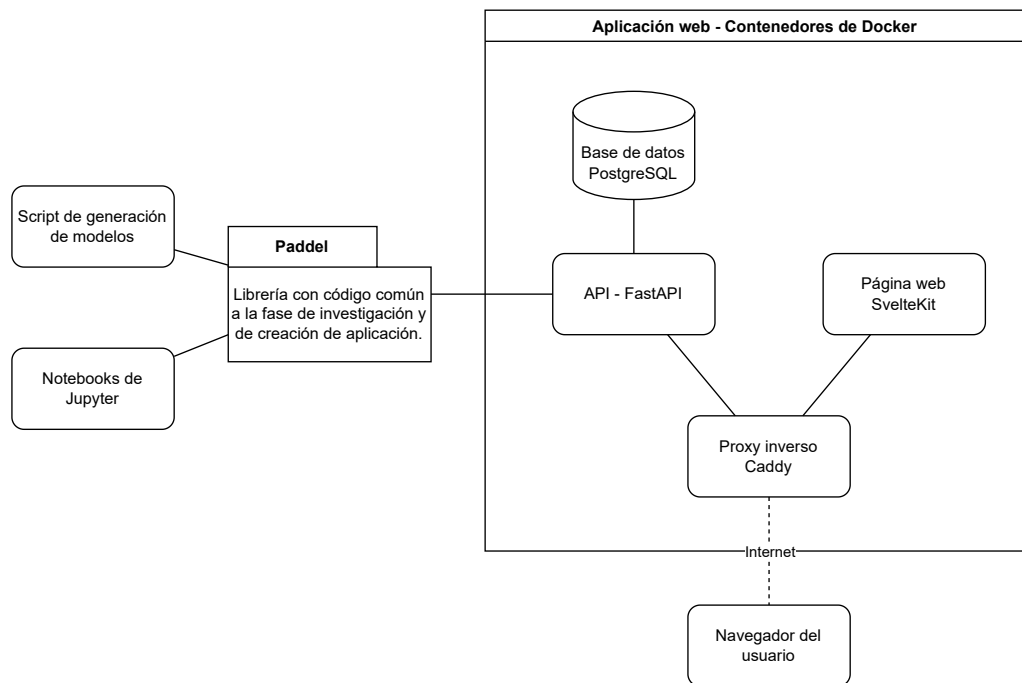


Figura C.2: Arquitectura de la aplicación



---

## 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 SvelteKit (framework de JavaScript) que implementa el *frontend* de la aplicación.

### /docs/

Proyecto en L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 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 preprocesado 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 establece *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 comandos<sup>1</sup>:

- `make down`: Equivalente al comando:

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

---

<sup>1</sup>Para 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 SvelteKit. Este framework está basado en Svelte, una librería de JavaScript que permite la creación de componentes interactivos y reutilizables dentro de una web. Debido a esto, la **documentación de SvelteKit** 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 de Docker.
- `svelte.config.js`: Define algunas configuraciones para SvelteKit.
- `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.
- `vite.config.ts`: Archivo que configura Vite, que es la herramienta utilizada para lanzar el servidor local de la página web en el entorno de desarrollo.
- `.prettierrc`: Archivo de configuración de Prettier, que es el formateador de código utilizado para esta parte de la aplicación.

Aunque los archivos anteriores son importantes, la mayoría de cambios y adiciones se realizan dentro de los directorios `/src/routes`, que define la estructura de páginas de la web, y `/src/lib`, donde se encuentran los diferentes componentes reutilizables de la web, además de algunos archivos de TypeScript (`.ts`) con funciones de utilidad y el archivo `api.ts` que implementa una interfaz que refleja las llamadas que se pueden hacer a la API implementada con FastAPI.

Además, cabe destacar el directorio `/src/i18n` que contiene los idiomas soportados por la aplicación en diferentes carpetas, `en-GB` y `es-ES`, con las traducciones. La implementación realizada permite añadir nuevos idiomas simplemente creando una nueva carpeta con el código de idioma y país respectivos. Por ejemplo, para añadir el idioma portugués se añadiría la carpeta `pt-PT`, se copiarían los archivos de la carpeta `es-ES` y editarían para añadir las traducciones necesarias. La página con el nuevo idioma debería aparecer en el menú de selección de idioma y ser accesible en la ruta `/pt-PT/` de la web.

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

En el archivo `/src/app.css` se definen los estilos (CSS) globales de la web. El contenido de este archivo 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  $\text{\LaTeX}$  compuesto por varios archivos `.tex` que se compilan a archivos `.pdf`.

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

Una vez instalado  $\text{\LaTeX}$  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  $\text{\LaTeX}$  [Texmaker](#) o Visual Studio Code con la extensión [Latex Workshop](#).



## Librería PADDEL

La librería PADDEL es una librería de Python que se puede instalar mediante el comando `pip` 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 del 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 el módulo sea importado 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 estático 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 no se podría de otro modo.

El archivo `types.py` contiene 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 componentes  $x$ ,  $y$  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 librería de formateado de código para Python, escrita en Python.

Se ha seleccionado Black debido a que incluye muchas opiniones predefinidas y limita en gran medida la configuración 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**: Realiza un análisis del código con las herramientas anteriores notificando de posibles problemas pero sin realizar correcciones.
- **make format**: Es igual que el comando anterior, pero se aplican correcciones al código.

## Notebooks de Jupyter

Para ejecutar los notebooks de Jupyter del proyecto se debe instalar la librería Paddel, además de Jupyter en el sistema anfitrión. Para esto se puede utilizar el archivo `requirements.txt` presente en la raíz del proyecto:

```
pip install -r requirements.txt
```

Tras el paso anterior se puede lanzar el kernel de IPython (backend que utiliza Jupyter) mediante el comando:

```
jupyter notebook
```

Este comando inicia un servidor web al que se puede acceder de forma local mediante cualquiera de los enlaces que se muestran por consola (acceder de forma remota resulta algo más complicado dependiendo de casos). En esta página web se muestra un explorador de archivos mediante el que se puede navegar a la localización donde se encuentran los notebooks de Jupyter (`/notebooks/`) y abrir el notebook que se desee utilizar.

Existen los siguientes notebooks:

- `00-train.ipynb`: Utilizado para entrenar una multitud de modelos, buscar los parámetros óptimos de los mismos mediante la técnica conocida como *grid search* y exportar los resultados a un fichero `.csv`.
- `01-plots.ipynb`: Utiliza los resultados obtenidos en la ejecución del notebook anterior para crear diferentes gráficas que pueden revelar información adicional sobre el comportamiento de los algoritmos utilizados con diferentes combinaciones de parámetros y conjuntos de datos de entrada.
- `02-model.ipynb`: Utilizado para entrenar un modelo final que vaya a ser utilizado en la aplicación web para realizar las predicciones. En este caso el entrenamiento se realiza con el conjunto de datos completo. Los parámetros utilizados para el modelo serán los que se consideren más adecuados en base a los resultados observados en la ejecución de los notebooks anteriores.

## D.4. Compilación, instalación y ejecución del proyecto

La mayor parte de este proyecto ha sido realizada Python, un lenguaje interpretado (no compilado), por lo que estas partes no necesitan ser compiladas.

### API

Para lanzar la API se necesita un entorno con la versión 3.9 de Python disponible. Dependiendo del sistema operativo puede ser necesario instalar la librería **FFmpeg** para poder realizar el procesamiento de vídeo al realizar las predicciones.

A continuación se deberán instalar las dependencias recogidas en el fichero `requirements.txt` mediante:

```
pip install -r requirements.txt
```

Además, la API necesita tener acceso a una base de datos PostgreSQL para almacenar de forma persistente la información con la que trabaja. Se puede comunicar la información de acceso a dicha base de datos mediante las siguientes variables de entorno:

- **DB\_USER**: Usuario a utilizar para acceder a la base de datos.
- **DB\_PASSWORD**: Contraseña para el usuario definido por **DB\_USER**.
- **DB\_NAME**: Nombre de la base de datos a utilizar.

Para controlar la sesión de los usuarios se utilizan cadenas JWT (JSON Web Token), las cuales deben ser firmadas mediante una clave secreta que también debe ser establecida mediante una variable de entorno denominada **SECRET\_KEY**. Esta variable puede ser cualquier cadena de texto pero es recomendable que sea generada mediante una herramienta de criptografía diseñada para este propósito, como el comando `openssl` presente en la mayoría de distribuciones de Linux:

```
openssl rand -hex 32
```

Con el que se obtiene una salida similar a la siguiente:

```
5e95e9e53d95d2892a63682a118a834429f43f3fd3eb951eda781-  
1d9a1ad3f64
```

#### D.4. COMPILACIÓN, INSTALACIÓN Y EJECUCIÓN DEL PROYECTO

Una vez las dependencias están instaladas y las variables de entorno establecidas se puede lanzar el servidor de la API de forma local mediante:

```
uvicorn app.main:app
```

Gracias a utilizar FastAPI se crea automáticamente la ruta `/docs` que presenta una interfaz que muestra las diferentes acciones que permite hacer la API además de permitir ejecutar estas acciones para comprobar su correcto funcionamiento de forma bastante conveniente.

### Web

Para utilizar la aplicación web se necesita un entorno que disponga de **NodeJS**, en concreto la versión 18 es la ideal, al ser la utilizada durante el desarrollo del proyecto. Además, si no se ha instalado con NodeJS, se debe instalar **NPM** también, que es el gestor de paquetes de Node.

Para instalar las dependencias del proyecto se utiliza:

```
npm install o npm i
```

Los comandos anteriores leen los archivos `package.json` y `package-lock.json` e instalan los paquetes declarados en estos.

La aplicación web ha sido realizada mediante el framework SvelteKit, y utiliza archivos `.ts` y `.svelte` que no son interpretables por un navegador, por lo que deben ser convertidos a únicamente ficheros `.html`, `.css` y `.js`. Para esto se realiza una compilación mediante el comando `npm run build` que realiza la conversión anterior además de realizar ciertas optimizaciones como eliminar código no utilizado para reducir el tamaño final de los archivos. Una vez realizada la compilación, los archivos finales se almacenan en el directorio `/build/`.

Esta aplicación web sirve como *frontend* para la API, por lo que necesita saber cómo comunicarse con la ella, para esto se utiliza la variable de entorno `PUBLIC_API_LOCATION` que podría tomar el valor `http://localhost:4444` por ejemplo.

### Ejecución mediante Docker

Este proyecto está compuesto por varias piezas que interactúan entre sí. Instalar todos los programas y dependencias, además de desplegar una base de datos, puede resultar una tarea ardua y tediosa. Asimismo, dependiendo

del sistema sobre el que se esté intentando realizar el despliegue, pueden existir inconsistencias en los procesos definidos anteriormente.

Debido a lo anterior se ha optado por utilizar la conocida herramienta **Docker**, gracias a esto se pueden definir diferentes contenedores con entornos controlados sobre los que se pueden realizar los pasos de instalación de forma determinista (obteniendo siempre los mismos resultados).

El único requisito para realizar un despliegue mediante Docker es, valga la redundancia, tener Docker instalado en el sistema.

Para establecer las diferentes variables de entorno mencionadas anteriormente se utiliza un fichero de variables de entorno denominado `.env`, un ejemplo con los posibles valores de estas variables se encuentra en el fichero `sample.env`.

Para realizar el despliegue se utiliza el comando `make prod` desde la ruta `/app/`, donde se encuentran los archivos `docker-compose.yml`. Si no se dispone de la utilidad `make` se puede utilizar:

```
docker compose -f docker-compose.yml -f docker-compose.prod.yml
up -d
```

Este comando realiza varias tareas:

- Inicia una base de datos PostgreSQL.
- Lanza el servicio de la API.
- Compila e inicia el servicio de la web.
- Lanza un proxy inverso para permitir el acceso a la API y a la web mediante distintos subdominios.

Una vez lanzados los contenedores se pueden usar las urls establecidas en el fichero `.env` para acceder a los servicios, por defecto: `https://localhost` para acceder a la web y `https://api.localhost` para acceder a la API.

## D.5. Pruebas del sistema

---

# Apéndice E. Documentación de usuario

---

## E.1. Introducción

Este apartado detalla la información que un usuario deberá tener para poder utilizar el software creado en el proyecto. El apartado se divide en dos secciones, una para la aplicación web y otra para el «script» de generación de modelos.

## E.2. Aplicación web

Aquí se detalla la forma en la que se utiliza la aplicación web, documentando las diferentes funcionalidades disponibles.

### Requisitos de usuarios

Para utilizar la aplicación el único requisito es disponer de una versión reciente (a ser posible de los últimos dos años) de un navegador, programa que suele venir por defecto en la mayoría de sistemas operativos. Además, cabe destacar que la ejecución de JavaScript deberá estar permitida, aunque esto no debería suponer un problema, al tener que ser desactivada de forma manual.

### Instalación

Como la aplicación está alojada en un servidor remoto, el usuario no necesita instalar ninguna dependencia específica.

## **Manual del usuario**

Desde un navegador se puede acceder a la aplicación mediante la url [paddel.catalin.sh](http://paddel.catalin.sh).

### **Formulario predicción**

La página principal consiste en un formulario desde el que se pueden subir los datos necesarios para realizar una predicción mediante los modelos:

- Mano dominante
- Mano mostrada en el vídeo
- Edad
- Sexo
- Archivo de vídeo



The screenshot shows the main form of the PaDDeL web application. At the top left is the PaDDeL logo. At the top right is a blue button labeled 'Administración' and a language icon. The main heading is 'Predecir', followed by the instruction 'Rellene y envíe el siguiente formulario para obtener una predicción.' The form contains several input fields: 'Su mano dominante' with radio buttons for 'Izquierda' and 'Derecha'; 'Mano que muestra en el vídeo' with radio buttons for 'Izquierda' and 'Derecha'; 'Edad' with a text input and a unit dropdown set to 'años'; and 'Sexo' with radio buttons for 'Masculino' and 'Femenino'. Below these is a video upload section titled 'Archivo de vídeo' with a dashed border, a video icon, and the text 'Suba un archivo de vídeo o arrastre y suelte' and 'MP4, AVI, MKV, MOV...'. At the bottom of the form is a large blue button labeled 'Enviar'. The footer contains copyright information '© 2023 Universidad de Burgos', a link to 'Código fuente', and a link to 'Documentación de la API'.

Figura E.1: Formulario – Página principal

Una vez introducidos los datos se puede hacer click en el botón «Enviar», si faltase algún dato el usuario es notificado por el navegador. Esto comenzará el proceso de envío de los datos, debido al tamaño relativamente grande que tienen los archivos de vídeo, este proceso puede ser de una duración bastante larga. Debido a eso el usuario pasa momentáneamente a una pantalla de carga antes de mostrar el resultado.

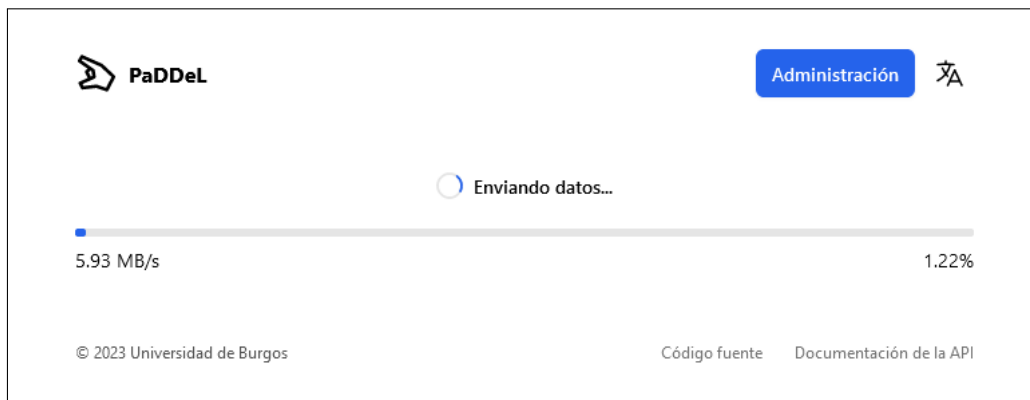


Figura E.2: Pantalla de carga formulario – Subida

Cuando finalice la subida de los datos dará comienzo el procesado de los mismos en el servidor, este, de nuevo, tiene una duración relativamente larga (entre 20 y 30 segundos), por lo que se informa al usuario para que no salga de la página antes de tiempo.

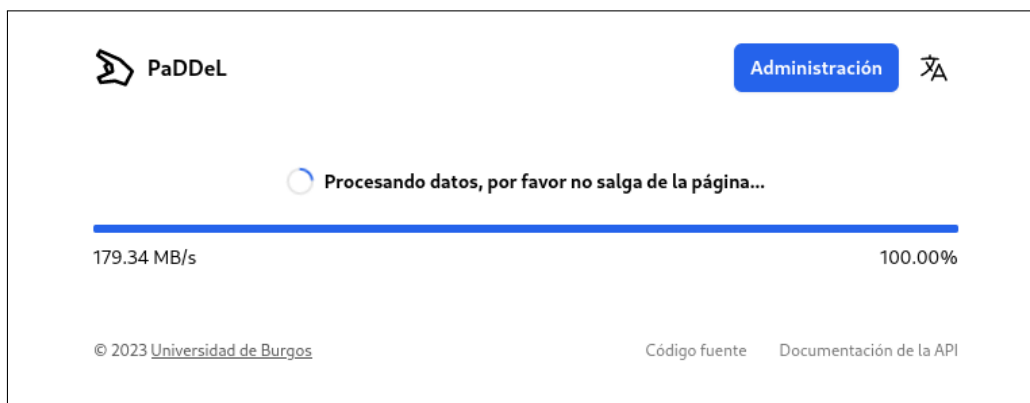


Figura E.3: Pantalla de carga formulario – Procesado

Cuando el proceso anterior finaliza el servidor responde con el resultado de la predicción.

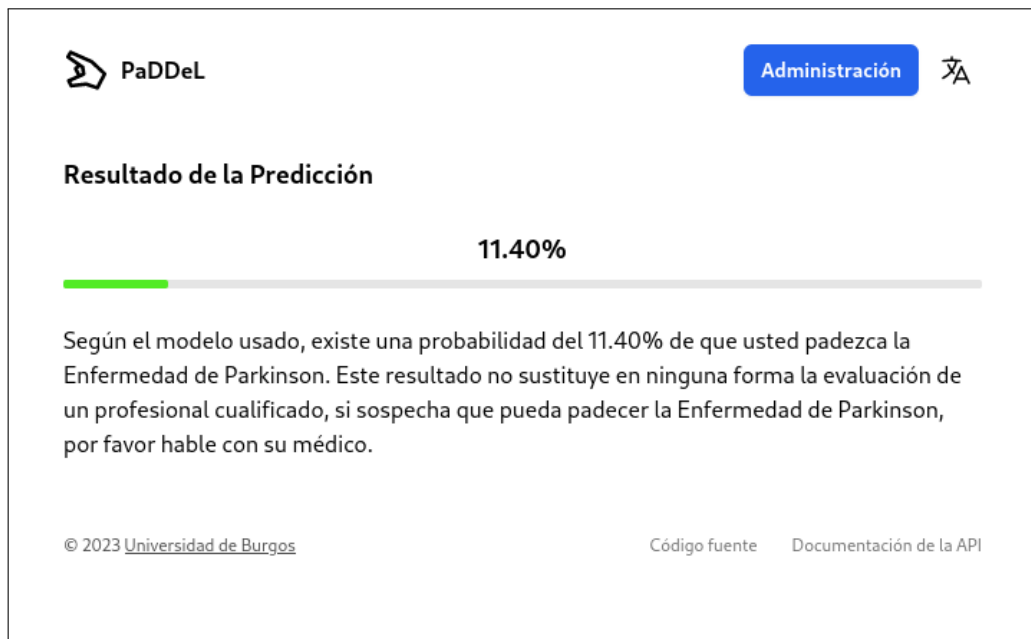


Figura E.4: Resultado predicción

En caso de que se haya producido algún error en la petición (problemas de red, archivo de vídeo inválido, etc.) se notifica al usuario mediante una pantalla de error.



Figura E.5: Error predicción

## Cambio de idioma

Acceder a [paddel.catalin.sh](http://paddel.catalin.sh) leerá el idioma preferido del navegador usado y redirigirá a la alternativa más adecuada de entre los idiomas disponibles (es-ES y en-GB).

El usuario puede controlar el idioma utilizado mediante el selector de idioma localizado en la parte superior derecha de todas las páginas de la aplicación.

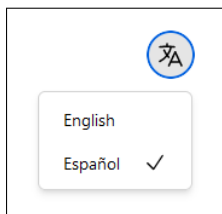
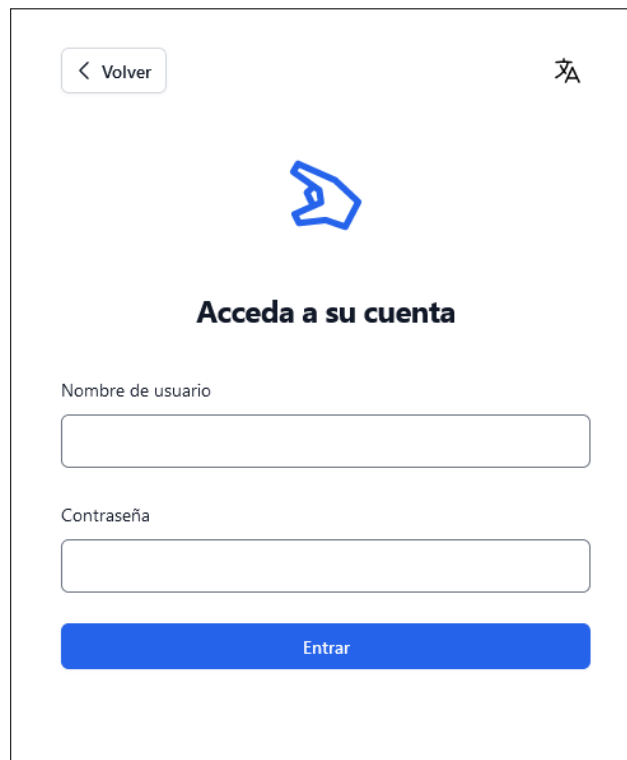


Figura E.6: Selector de idiomas

Este menú, además de cambiar el idioma en la sesión actual, utiliza una variable en **almacenamiento local** para *recordar* el idioma seleccionado y utilizarlo en posteriores visitas a la aplicación.

## Administración

Para acceder al panel de administración se utiliza el botón «Administración» de la página principal, si el usuario tiene una sesión válida abierta, será redirigido a la página de administración de modelos, en caso contrario será llevado a la página de inicio de sesión.

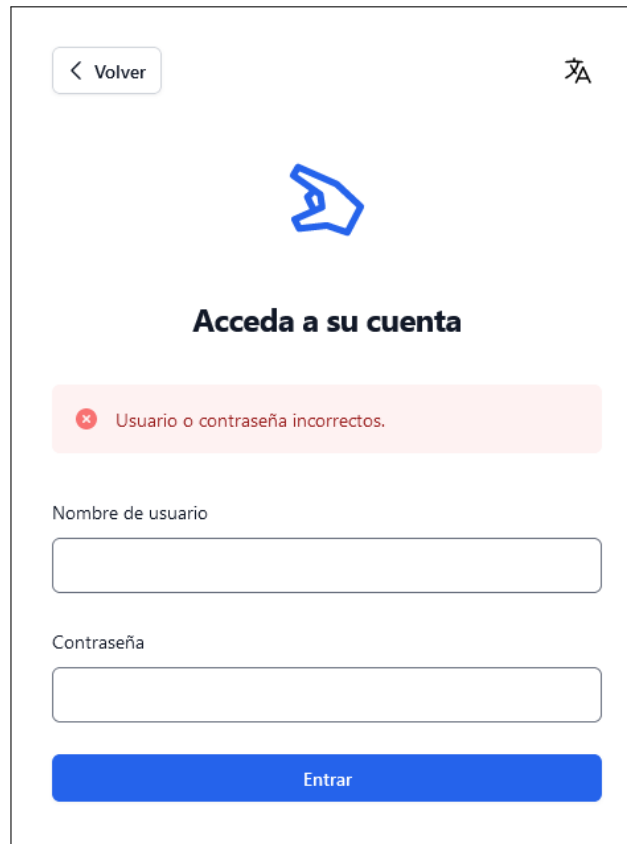


The image shows a login form within a rectangular frame. At the top left, there is a button with a left-pointing arrow and the text "Volver". At the top right, there is a small icon of a crossed-out square. In the center, there is a blue icon of a hand pointing towards the bottom right. Below this icon, the text "Acceda a su cuenta" is displayed in bold. Underneath, there are two input fields: the first is labeled "Nombre de usuario" and the second is labeled "Contraseña". At the bottom, there is a solid blue button with the text "Entrar" in white.

Figura E.7: Formulario de inicio de sesión

Desde esta página un usuario administrador puede identificarse introduciendo su nombre de usuario y su contraseña.

En caso de que los datos introducidos sean incorrectos se le notifica con un mensaje de error.



The screenshot shows a mobile application login screen. At the top left is a button labeled "Volver" with a back arrow. At the top right is a language selection icon. In the center is a blue hand cursor icon. Below it is the title "Acceda a su cuenta". A red error message box contains a red 'x' icon and the text "Usuario o contraseña incorrectos.". Below this are two input fields: "Nombre de usuario" and "Contraseña". At the bottom is a blue "Entrar" button.

Figura E.8: Error de inicio de sesión

**Administración de modelos** En este panel se pueden ver y gestionar los modelos disponibles en la aplicación.

**Seleccionar modelo** Para seleccionar el modelo a utilizar para realizar predicciones se puede utilizar el botón «Seleccionar» correspondiente.

**PaDDeL** Cerrar sesión 🔍

Usuarios Modelos

### Administración de modelos

Aquí puede ver los modelos presentes en la aplicación, añadir más modelos y seleccionar el modelo a utilizar para realizar las predicciones. [Añadir modelo](#)

ID	Nombre de modelo		
1	model	Seleccionado	Eliminar
8	model2	<a href="#">Seleccionar</a>	Eliminar

© 2023 Universidad de Burgos [Código fuente](#) [Documentación de la API](#)

Figura E.9: Selección de modelo

**Añadir modelo** Añadir un nuevo modelo se puede realizar mediante el botón «Añadir modelo», que abre una ventana modal con un formulario para añadir la información del nuevo modelo.



Figura E.10: Añadir modelo

**Eliminar modelo** Se puede eliminar cualquier modelo que no esté seleccionado haciendo clic sobre el botón «Eliminar», esto abre una ventana modal de confirmación.

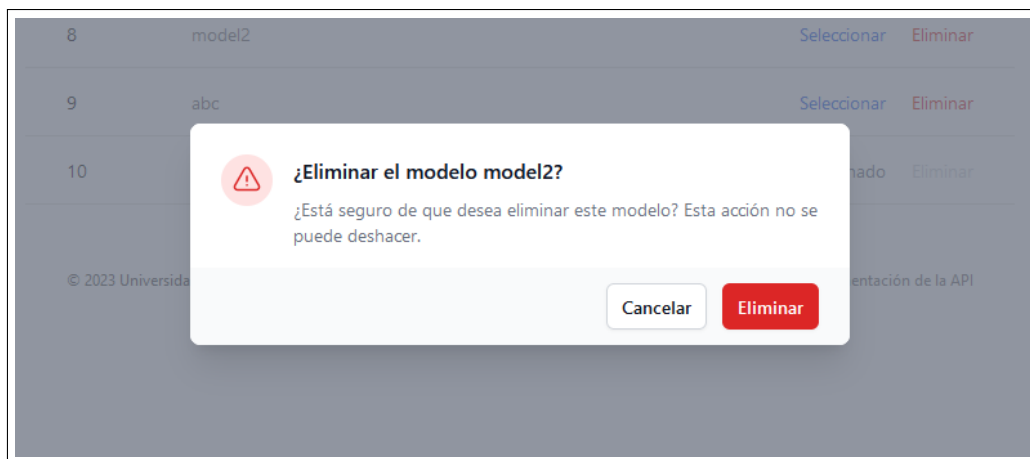


Figura E.11: Confirmación eliminar modelo

Una vez eliminado la lista de modelos se actualiza, reflejando la acción.



**Administración de usuarios** En este panel se pueden ver y gestionar los usuarios existentes en la aplicación.

**Añadir usuario** Añadir un nuevo usuario se puede realizar mediante el botón «Añadir usuario», que abre una ventana modal con un formulario para añadir la información del nuevo usuario.

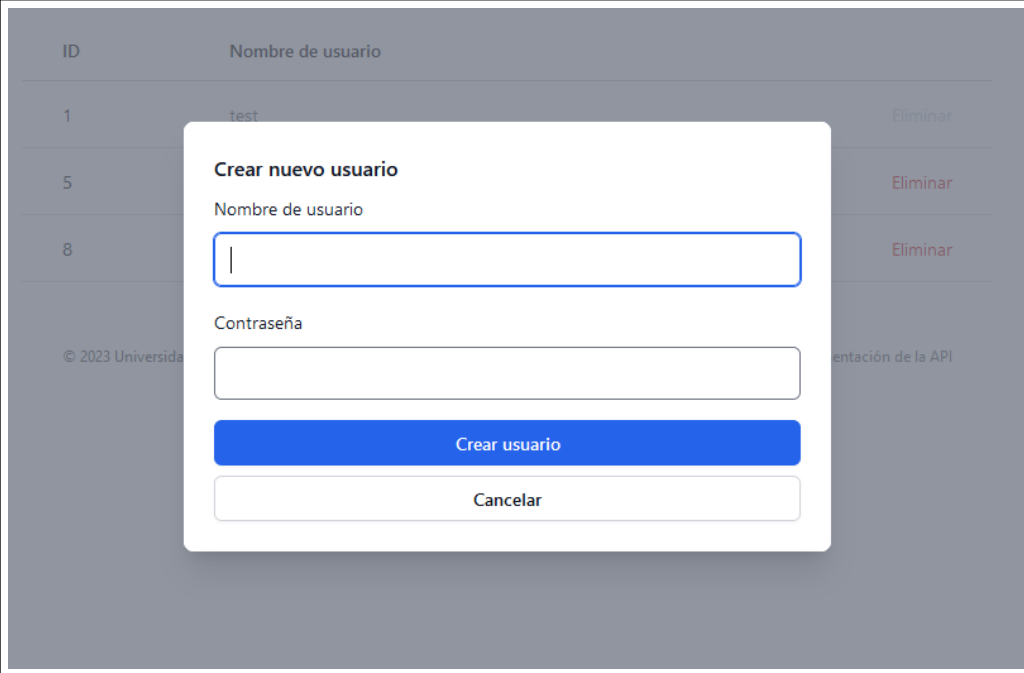
The image shows a web application interface with a modal window for creating a new user. In the background, there is a table with columns 'ID' and 'Nombre de usuario'. The table contains three rows: the first with ID '1' and name 'test', the second with ID '5', and the third with ID '8'. Each row has an 'Eliminar' button to its right. The modal window, titled 'Crear nuevo usuario', is centered and contains two input fields: 'Nombre de usuario' and 'Contraseña'. Below these fields are two buttons: a blue 'Crear usuario' button and a white 'Cancelar' button. The background interface also shows a copyright notice '© 2023 Universidad' and a link 'Representación de la API'.

Figura E.12: Añadir usuario

**Eliminar usuario** Al igual que para eliminar modelos, eliminar un usuario se realiza mediante el botón «Eliminar» del usuario correspondiente.

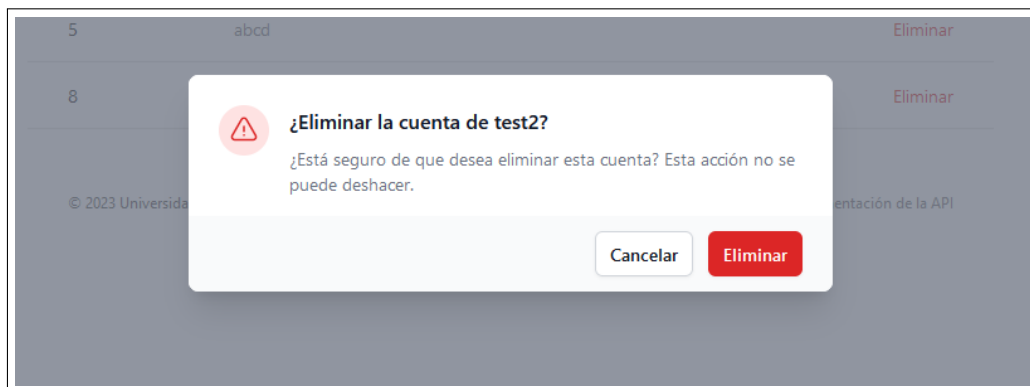


Figura E.13: Confirmación eliminar usuario

### E.3. Script generación modelos

Este «script», localizado en el archivo `train.py` se utiliza para generar modelos compatibles con el sistema creado, por lo que se pueden subir a la aplicación web.

#### Requisitos de usuario

Este script requiere ser ejecutado con la versión 3.9 de Python. Para ello es recomendable utilizar un entorno virtual, ya sea mediante utilidades como **Conda** o *venv*. Por ejemplo, para crear un entorno virtual mediante *venv*, se utiliza:

```
python -m venv venv
```

Este comando genera un entorno virtual en el directorio `venv` en relación a la ruta actual.

A continuación, se debe activar el entorno, la forma de realizar esto es dependiente del sistema operativo:

```
source ./venv/bin/activate # Linux/MacOS
```

```
./venv/Scripts/activate.ps1 # Windows con PowerShell
```

```
./venv/Scripts/activate.bat # Windows con CMD
```

El último paso antes de poder lanzar el «script» es instalar las dependencias. Para ello se utiliza el siguiente comando desde la raíz del proyecto.

```
pip install -r requirements.txt
```

Además, dependiendo del sistema operativo, puede ser necesario instalar **FFmpeg**.

## Instalación

El «script» no se instala en el sistema, una vez se han cumplido con los requisitos de usuario se puede ejecutar directamente.

## Manual de usuario

Con el entorno virtual de Python 3.9 activado el script se puede ejecutar mediante el comando:

```
python train.py
```

En primer lugar se pide la siguiente información sobre el sistema de archivos:

- Directorio donde se encuentran los archivos de vídeo debidamente nombrados.
- Directorio en el que almacenar archivos binarios de Pickle de caché para no tener que procesar todos los vídeos de nuevo en cada ejecución del «script». Si no se desea usar caché se puede introducir el valor «-».
- Archivo de salida en el que se almacenará el modelo serializado mediante Pickle. Este archivo se puede subir posteriormente a **pad-del.catalin.sh**.

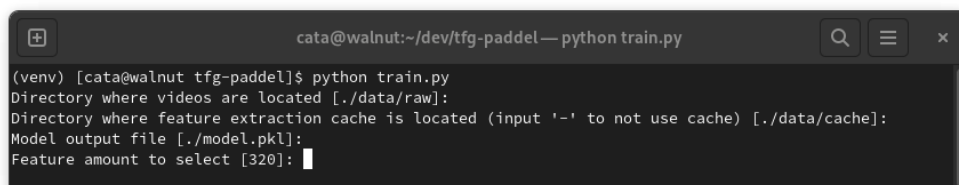


Figura E.14: Introducción información sobre sistema de archivos

A continuación, se pide elegir el número de características a seleccionar y el algoritmo a utilizar. Por defecto se selecciona la configuración del modelo final al que se llegó en la fase de investigación.



```
cata@walnut:~/dev/tfg-paddel— python train.py
Feature amount to select [320]:
Algorithm to use:
  1: Support Vector Machine
  2: Naive Bayes
  3: K Nearest Neighbors
  4: Random Forest
  5: Decision Tree
  6: AdaBoost
  7: XGB
[1]:
Regularization parameter [0.5]:
```

Figura E.15: Selección número de características y algoritmo

Por último se deben introducir los parámetros de configuración del algoritmo seleccionado.



```
cata@walnut:~/dev/tfg-paddel
Regularization parameter [0.5]:
SVM kernel to use:
  1: linear
  2: poly
  3: rbf
  4: sigmoid
  5: precomputed
[2]:
Degree of the function (only for poly kernel) [5]:
Kernel coefficient for 'rbf', 'poly' and 'sigmoid':
  1: scale
  2: auto
[1]:
Independent term for kernel function (only for poly and sigmoid kernel) [1.0]:
Stopping criterion tolerance [0.001]:
Trained model saved at ./model.pkl. You can go to https://paddel.catalin.sh/ and upload it.
(venv) [cata@walnut tfg-paddel]$
```

Figura E.16: Introducción de parámetros del algoritmo

Una vez introducidos los datos, dará comienzo la extracción de características de los vídeos que no se encuentran en caché. Como en este caso ya se encuentran todos los vídeos en caché la creación del modelo es inmediata.

Si no existiese caché, o se decidiese no usarla, el tiempo de ejecución dependerá del procesador utilizado, con un procesador moderno de 6 núcleos y 12 hilos procesar los 158 vídeos toma unos 30 minutos.

---

## Bibliografía

---

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