



UNIVERSIDAD DE BURGOS  
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR  
Grado en Ingeniería Informática



TFG del Grado en Ingeniería  
Informática

Clasificación de grado de  
Parkinson mediante  
aprendizaje supervisado



Presentado por Jorge Martínez Martín  
en Universidad de Burgos — 23 de junio  
de 2024

Tutor: Álvaro Arnaiz González







UNIVERSIDAD DE BURGOS  
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR  
Grado en Ingeniería Informática



D. Álvar Arnaiz González, profesor del departamento de Ingeniería Informática, área de Lenguajes y Sistemas Informáticos.

Expone:

Que el alumno D. Jorge Martínez Martín, con DNI 71482657Z, ha realizado el Trabajo final de Grado en Ingeniería Informática titulado «Clasificación de grado de Parkinson mediante aprendizaje supervisado».

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

En Burgos, 23 de junio de 2024

Vº. Bº. del Tutor:

D. Álvar Arnaiz González





## **Resumen**

La enfermedad de Parkinson afecta cada vez a más personas. Pese a ser una enfermedad incurable poder detectarla y monitorear su progreso es crucial para adecuar los tratamientos a cada persona. Este proyecto pretende ser una herramienta que, mediante técnicas de visión por computador, minería de datos e inteligencia artificial, permita tanto a los pacientes con la enfermedad de Parkinson como a sus médicos visualizar la evolución de la enfermedad en el paciente.

## **Descriptores**

Palabras separadas por comas que identifiquen el contenido del proyecto Ej: servidor web, buscador de vuelos, android . . .

## **Abstract**

A **brief** presentation of the topic addressed in the project.

## **Keywords**

keywords separated by commas.



---

# Índice general

---

Índice general	iii
Índice de figuras	v
Índice de tablas	vi
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Objetivos del proyecto</b>	<b>3</b>
2.1. Objetivos técnicos . . . . .	3
2.2. Objetivos de <i>software</i> . . . . .	4
<b>3. Conceptos teóricos</b>	<b>5</b>
3.1. Enfermedad de Parkinson . . . . .	5
3.2. Aprendizaje automático . . . . .	6
3.3. Minería de datos . . . . .	7
<b>4. Técnicas y herramientas</b>	<b>17</b>
4.1. Técnicas . . . . .	17
4.2. Herramientas . . . . .	17
<b>5. Aspectos relevantes del desarrollo del proyecto</b>	<b>21</b>
<b>6. Trabajos relacionados</b>	<b>23</b>
6.1. A computer vision framework for finger-tapping evaluation .	23
6.2. The discerning eye of computer vision . . . . .	24
6.3. Supervised classification of bradykinesia . . . . .	25
6.4. Paddel . . . . .	26

<b>7. Conclusiones y Líneas de trabajo futuras</b>	<b>27</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>29</b>

---

## Índice de figuras

---

1.1. Finger-tapping test . . . . .	1
3.1. Diagrama K-fold cross-validation extraído de «Predicting Mechanical Properties of High-Performance Fiber-Reinforced Cementitious Composites by Integrating Micromechanics and Machine Learning» [9] . . . . .	14

---

# Índice de tablas

---

3.1. Matriz de confusión. . . . .	13
-----------------------------------	----

---

# 1. Introducción

---

El parkinson es una enfermedad crónica e irreversible que afecta a más de 150 000 personas en toda España, siendo esta la segunda enfermedad neurodegenerativa más común después del Alzheimer [15]. Esta enfermedad se caracteriza por la pérdida de neuronas dopaminérgicas lo que conlleva un desequilibrio en los circuitos neuronales que controlan el movimiento esto puede provocar temblores, rigidez muscular, lentitud de movimiento (bradicinesia) y problemas de equilibrio y coordinación [13]. Pese a que no exista una cura, saber la evolución del paciente y su respuesta a los medicamentos y tratamientos puede ayudar enormemente tanto a pacientes como a médicos a adecuarse mejor a las circunstancias del paciente y con ello mejorar su calidad de vida.

La bradicinesia es uno de los síntomas más importantes a la hora de clasificar el grado de la enfermedad. Este síntoma se hace muy visible en un ejercicio conocido como test de golpeteo rápido de los dedos (o «rapid finger tapping test» en inglés). Este ejercicio consiste en separar y juntar repetidas veces los dedos índice y pulgar de forma rápida y constante.

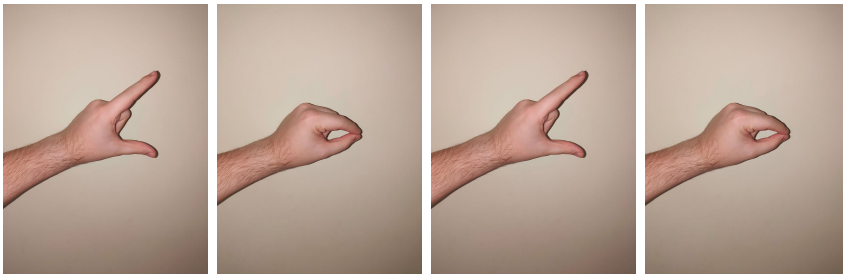


Figura 1.1: Finger-tapping test

En las últimas décadas, el campo de la inteligencia artificial ha experimentado un gran avance, con aplicaciones prometedoras en el ámbito de la salud. Específicamente, las técnicas de aprendizaje automático han demostrado su potencial para el diagnóstico y clasificación de enfermedades neurodegenerativas a partir de datos clínicos, genéticos y de neuroimagen [14].

En este proyecto se ha hecho uso de la inteligencia artificial para la creación de modelos capaces de clasificar el grado de bradicinesia en vídeos del «rapid finger tapping test». Ver de manera individual la clasificación de cada vídeo puede no ser del todo útil para poder comprobar la evolución del paciente. Es por ello que se ha decido crear, usando vídeos de distintos días, una gráfica en la que se pueden ver las dos características de la bradicinesia: la amplitud y la velocidad.

---

## 2. Objetivos del proyecto

---

El principal objetivo de este proyecto es la creación de una aplicación web que permita, mediante la evaluación del grado de bradicinesia utilizando vídeos de la prueba del «rapid finger tapping test» y el uso de inteligencia artificial realizar dicha evaluación. Además, esta aplicación debe poder ser usada por el usuario promedio.

### 2.1. Objetivos técnicos

Por ello, para poder alcanzar estos objetivos generales, se plantean los siguientes objetivos técnicos:

- **Revisar de trabajos relacionados:** para comprender mejor el campo que se esta investigando y obtener conocimientos relacionados con el tema.
- **Desarrollar el modelo de aprendizaje supervisado:** entrenar, evaluar y seleccionar el modelo que mejor resultados ofrezca.
- **Evaluar la calidad de la solución:** comprobando si los resultados que nos ofrece son coherentes.
- **Crear de una aplicación *web*:** que sea fácil de usar e intuitiva para el usuario.
- **Familiarizarse con nuevas tecnologías:** como programación *web* o Docker.

- **Documentar el proyecto:** de manera clara y concisa, condensando toda la información relevante en un formato accesible y fácil de entender.

## 2.2. Objetivos de *software*

Se han propuesto los siguiente objetivos de desarrollo de *software*.

- **Crear una interfaz de usuario accesible:** para que el usuario medio pueda usarla sin dificultad.
- **Crear un sistema de gestión de datos persistente:** como bases de datos SQL.
- **Asegurar la calidad del código:** mediante herramientas de análisis de código como SonarCloud.
- **Delegar en plataformas:** mediante el uso de herramientas como Docker, permitiendo además la familiarización con estas tecnologías.
- **Implementar trabajos anteriores:** para realizar la extracción de características y obtener pautas para el correcto desarrollo.



---

## 3. Conceptos teóricos

---

En este capítulo se definirán algunos conceptos teóricos para facilitar la comprensión de este proyecto.

### 3.1. Enfermedad de Parkinson

La enfermedad de Parkinson (EP) es una enfermedad neurodegenerativa multisistémica progresiva que cada afecta principalmente a a gente de avanzada edad [18]. Entre los síntomas principales de esta enfermedad podemos encontrar: Pérdida significativa de parte de las células productoras de dopamina lo que produce que aparezcan mucho antes los síntomas relacionados con el movimiento que presenta la EP. Otro de los síntomas que podemos encontrar en la EP es la bradicinesia ña cual se caracteriza por la lentitud al realizar movimientos voluntarios así como la ralentización y decremento de amplitud a la hora de realizar movimientos repetitivos. El diagnóstico de la EP, se basa en criterios específicos. Los síntomas iniciales incluyen lentitud de movimientos, junto con rigidez muscular, temblores o problemas de equilibrio. Los controles posteriores descartan otras posibles causas y confirman la presencia de factores que sugieren claramente la EP. La EP suele empezar en un lado del cuerpo y extenderse a lo largo de unos años. Los síntomas incluyen postura encorvada, rigidez, letra más pequeña y marcha arrastrando los pies. Los temblores son frecuentes. Las alteraciones de la marcha (como pasos indecisos o congelación repentina) se vuelven habituales. La pérdida de equilibrio es un problema importante, que aumenta el riesgo de caídas y lesiones.

## Rapid finger tapping test

El test de golpeteo rápido de los dedos, también conocido como «rapid finger tapping test» o RFTT es un procedimiento por el cual el paciente realiza golpeteos de manera repetitiva durante un periodo de entre 10 y 15 segundos en los cuales ha de intentar generar la mayor amplitud posible entre el dedo índice y el pulgar sin bajar la frecuencia a la que lo realiza. Este test es usado comúnmente para el diagnóstico de personas con la EP ya que como se explicó anteriormente uno de los síntomas que presenta esta enfermedad es la bradicinesia el cual produce que una persona con EP al realizar este test muestre deterioro ya sea en la amplitud o en la frecuencia según avanza la prueba. Este test será el que se utilizará en este proyecto para determinar el grado de EP en el que se encuentra el paciente.

## Unified parkinson disease rating scale

La escala de evaluación unificada de la EP o UPDRS por sus siglas en inglés es una herramienta creada por la Movement Disorder Society que permite, mediante la evaluación de diversos parámetros de la EP, medir la gravedad de la enfermedad. En ella se miden diversos aspectos de las experiencias tanto motoras como no motoras de la vida diaria. Para el proyecto utilizaremos solo algunas de las medidas que se utilizan para la clasificación del estado de la persona ya que son los datos que se extraerán de los vídeos proporcionados por los pacientes.

## 3.2. Aprendizaje automático

El aprendizaje automático es una rama de la inteligencia artificial centrada en el desarrollo de métodos y algoritmos para que el computador de manera autónoma sea capaz de, mediante la experiencia y el procesamiento de datos, mejorar en esa tarea. De esta manera los modelos realizarán predicciones cada vez más precisas.

Dentro de un «dataset» podemos encontrar lo que se conocen como instancias. Una instancia es cada fila del «dataset» caracterizadas por atributos que pueden ser tanto categóricos (nombres, colores, categorías, etc) como valores numéricos (números).

Dentro del aprendizaje automático podemos distinguir tres tipos principales:

- Aprendizaje supervisado: a este aprendizaje se le proporciona un conjunto de datos completo con ejemplos etiquetados, y es mediante estos ejemplos con los que aprende a clasificar nuevos datos o realizar predicciones. Se puede dividir en regresión (predicción de datos numéricos) o clasificación (predicción de datos categóricos)
- Aprendizaje no supervisado: este aprendizaje a diferencia del supervisado se le entregan los datos sin clasificar de manera que tiene que ser él el que encuentre las relaciones. Se puede dividir en: clustering (agrupación de datos por su similitud) y reducción dimensional (disminuye el número de variables en un conjunto de datos sin perder información importante).
- Aprendizaje semi-supervisado: este aprendizaje es una combinación de los dos aprendizajes anteriores ya que se le proporcionan dos conjuntos de datos. En el primer conjunto los datos están etiquetados, este conjunto es el conocido como entrenamiento (training) que es con el cual el modelo se entrena para encontrar la relación entre los datos. En el segundo conjunto los datos no están etiquetados, este conjunto es conocido como test que es el que permite al modelo comparar como de precisas son las predicciones que se realizan ya que, pese a que al modelo se le introduzcan los datos sin etiquetar, el «dataset» si contiene las etiquetas de estas instancias. Al igual que el aprendizaje supervisado su objetivo principal es la creación de clasificadores o regresores.

### 3.3. Minería de datos

La minería de datos es un proceso automatizado que permite realizar un análisis de grandes cantidades de datos para extraer patrones, relaciones y conocimientos sobre los datos. Este proceso se compone de varias fases: recopilación, preprocesamiento y análisis de los datos, creación del modelo e interpretación de resultados.

#### Recopilación de datos

El objetivo principal de esta fase es recopilar y organizar la información necesaria para realizar un correcto análisis. Esto puede incluir desde recopilación de datos mediante bases de datos, archivos de texto hasta extracción de características de archivos de vídeo y audio. En este proyecto, por ejemplo,

esta fase se ha compuesto de archivos de vídeo de personas realizando el RFTT y la evaluación a ciegas de dos médicos de estos vídeos.

## **Preprocesamiento de los datos**

En esta fase se limpian y transforman los datos para prepararlos para el análisis. Dentro de esta fase podemos encontrar distintas subfases para cada preprocesado.

### **Extracción de características**

En muchos casos, los datos que se recopilan para realizar un estudio no se pueden analizar de forma directa. Es por ello que es necesario transformar estos datos para que se comporten de forma numérica. En este proyecto al utilizar archivos de vídeo como fuente de información de los datos, se ha tenido que extraer las características en forma de series temporales para luego poder ser analizadas ya que los modelos no son capaces de procesar un vídeo de forma automática y saber como ha de analizarlo.

Dependiendo del conjunto de datos con el que se este tratando, la extracción de características puede variar bien sea por el tipo de datos, los modelos que se quieran aplicar o los recursos que dispongan.

### **Tratamiento de valores nulos**

Durante el análisis de los datos puede darse el caso de que ciertos valores son nulos, esto se puede deber a diversas razones: que se desconozcan completamente, que al realizar la extracción de características no haya sido capaz de extraer esa característica, que haya habido pérdida de información . . . Para realizar un correcto análisis de datos, es fundamental saber cómo tratar los valores nulos. Tenemos tres opciones principales para ello:

- Valores continuos: podemos asignar la media bien de las instancias con la misma clase o bien de todas las instancias.
- Atributos categóricos: se puede sustituir por el valor que más se repita.
- Eliminar instancias: podemos optar por ignorar esas instancias y eliminarlas de nuestro conjunto de datos.

En conjuntos de datos muy grandes, es recomendable eliminar las instancias con valores nulos, ya que un tratamiento inadecuado puede causar

errores en el modelo. Además, eliminar una instancia entre miles no afecta significativamente el análisis.

### Desbalanceo de las clases

En el análisis de los datos se puede dar la situación en el que una clase este desbalanceada. Esto quiere decir que el número de instancias de ese subgrupo dentro del atributo o clase sea considerablemente menor que el resto de subgrupos. Estas situaciones pueden dar problemas tanto a la hora de realizar el entrenamiento del modelo, puede dar resultados erróneos ya que los modelos clasifican correctamente las clases mayoritarias mientras que las minoritarias no.

Este problema se puede resolver de distintas maneras:

- *Oversampling*: el sobremuestro también conocido como *oversampling* consiste en crear nuevas instancias de las clases minoritarias de forma sintética para que exista el mismo número de instancias de cada clase. Esta solución trae consigo dos problemas principales que son el sobreajuste y la duplicación de instancias.
- *Undersampling*: el submuestro o *undersampling* consiste en reducir el número de instancias de cada clase hasta lograr que todas tengan el mismo número de instancias. El gran problema que acarrea este método es la pérdida de información debido a que al reducir el número total de instancias podríamos estar eliminando algunas con información relevante para el modelo.
- Eliminar la clase: en el caso en el que tengamos un reducidísimo número de instancias de una clase, por ejemplo una o dos, no es viable realizar ninguna de las técnicas anteriormente nombradas ya que el sobremuestro va a llevar consigo un sobreajuste muy elevado debido a que el número de instancias es insuficiente para crear nuevas instancias sintéticas de la clase, creando instancias duplicadas. Asimismo utilizar el subajuste solo hará que perdamos información de del resto de las clases lo cual dificultará a la hora de entrenar al modelo. Es por ello que hay situaciones en las que la mejor opción es ignorar esta clase minoritaria, bien sea mediante la reevaluación de las instancias de esa clase o su eliminación del dataset.

### Creación del modelo

Esta fase, al igual que la anterior, se compone de varias subfases.

## Categoría de problema

Una vez se han analizado los datos y se ha identificado la clase objetivo se ha identificar el categoría de problema. Podemos distinguir tres grandes bloques:

- **Regresión:** la salida de estos modelos es continua y se utiliza para predecir datos numéricos como temperatura, precios de casas, etc.
- **Clasificación:** los modelos de clasificación devuelven una etiqueta asociada a una clase. Dentro de este tipo de modelo podemos distinguir:
  - **Clasificación binaria:** solo existen dos clases, suelen ser clases como si y no, verdadero y falso o apto y no apto. Se puede usar, por ejemplo, para clasificación de correos de *spam*, detección de fraude o diagnóstico médico (enfermo/no enfermo).
  - **Clasificación multiclase:** en este modelo existen más de dos clases. Se puede usar para clasificación de tipos de flores, clasificación del nivel de gravedad de una enfermedad, etc.
  - **Clasificación multietiqueta:** una sola instancia puede pertenecer a múltiples clases simultáneamente. Por ejemplo, una imagen puede contener múltiples objetos, y cada objeto pertenece a una clase diferente.
- **Clustering:** el *clustering* o agrupamiento se utiliza para agrupar un conjunto de instancias de manera que los objetos en el mismo grupo (o *cluster*) sean más similares entre sí que aquellos en otros grupos. Se puede usar para clasificar imágenes, agrupar documentos, detectar anomalías. . .

## Elección del modelo

Una vez se ha identificado la categoría del problema, se debe seleccionar el modelo adecuado. Para cada categoría de problema, existen modelos concretos que pueden ser útiles. Debido a la extensa variedad de modelos que existen, solo se explicarán aquellos que se han utilizado durante el desarrollo del proyecto.

- **Vecinos más cercanos:** también conocido como KNN (*K-Nearest Neighbors*) es un algoritmo de aprendizaje básico que sirve tanto para regresión como para clasificación. Este algoritmo trata de clasificar

una instancia por medio de obtener la clase más frecuente entre los  $k$  vecinos más cercanos. En el caso de la regresión KNN predice el valor objetivo a partir de la media de los  $k$  vecinos más cercanos. A diferencia del resto de algoritmos KNN no necesita una fase de entrenamiento, entre en la categoría de los métodos denominados *Lazy Learning*, ya que usa directamente el dataset entero para realizar las predicciones, es decir, no tiene que optimizar pesos. La forma en la que este algoritmo calcula las distancias dependerá del parámetro que le indiquemos.

- **Máquina de vectores de estado:** una máquina de vectores de estado o SVM (*State Vector Machine*), es un algoritmo que, al igual que los vecinos más cercanos, se puede usar para problemas tanto de regresión como de clasificación. El objetivo de este algoritmo es encontrar el hiperplano que separa las instancias en cada clase. El hiperplano se puede interpretar como un borde entre una o varias clases.
- **Random forest:** este algoritmo combina varios árboles de decisión para mejorar la precisión y robustez de las predicciones. Su funcionamiento se basa en crear múltiples grupos de datos, por cada set se creará un árbol de decisiones en el que se escogerán de manera aleatoria un subgrupo de características. Una vez creado cada árbol se hace lo que se conoce como una votación, en la que cada uno de los árboles predice una clase para la instancia. En el caso de los problemas regresivos el resultado de la votación es la media de los resultados de los distintos árboles. Por otro lado, en el caso de los problemas de clasificación, la clase ganadora es la más votada.
- **XGBoost:** este algoritmo busca, mediante la combinación de múltiples modelos de aprendizaje, construir modelos secuenciales de forma que cada nueva iteración intente corregir los errores de la iteración anterior. Se basa en el descenso de gradiente, ajustando los modelos para reducir el error.

### Selección de hiperparámetros

Una vez elegido el modelo, se han de encontrar los hiperparámetros que más se adecuen al problema. Para ello existen varias técnicas, entre ellas se encuentra el *GridSearch* (la utilizada en el proyecto). Esta técnica consiste en proveer al modelo una lista de hiperparámetros y que, con todas las posibles combinaciones entre los diferentes hiperparámetros, devuelva tanto el mejor resultado obtenido para la métrica que se ha solicitado como los hiperparámetros óptimos que dan ese resultado.

## Evaluación del modelo

A la hora de hacer la evaluación del modelo hay distintos métodos y métricas que permiten hacerse una idea de la eficacia del modelo. Uno de los métodos más usados es la matriz de confusión (ver tabla 3.1). Esta matriz se utiliza principalmente en clasificación binaria. Este método se trata de una matriz de dimensiones 2 x 2 en la cual se reflejan los siguientes datos:

- True positives (TP): los true positives o verdaderos positivos son aquellas instancias en las que el valor predicho para su clase y el valor real de su clase coinciden, siendo esta la clase positiva.
- False positives (FP): los false positives o falsos positivos son aquellas instancias que han sido predichos como una clase positiva pero realmente pertenecen a la clase negativa.
- False negatives (FN): los false negatives o falsos negativos son aquellas instancias que han sido predichos como una clase negativa pero realmente pertenecen a la clase positiva.
- True negatives (TN): los true negatives o verdaderos negativos son aquellas instancias en las que el valor predicho para su clase y el valor real de su clase coinciden, siendo esta la clase negativa.

## Métricas de evaluación

Una vez facilitados los conceptos anteriores se exponen y explican algunas de las métricas más comunes y las utilizadas durante en proyecto.

- **Accuracy o Exactitud:** esta medida es la más común en la clasificación binaria ya que proporciona una buena visión general de como de eficaz es el modelo. No obstante, esta medida en problemas de clasificación multiclase no siempre es útil ya que, en caso de que exista desbalanceo de clases o el modelo no sea capaz de predecir correctamente una clase, no se puede distinguir como de eficaz es para cada clase.

$$\text{Exactitud} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (3.1)$$

- **Precision:** mide cuantas predicciones son correctas frente al número total de predicciones de la clase.

$$\text{Precisión} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (3.2)$$



		Valor predicho		total
		p	n	
Valor real	p'	True Positive	False Negative	P'
	n'	False Positive	True Negative	N'
total		P	N	

Tabla 3.1: Matriz de confusión.

- **Recall o Sensibilidad:** mide el número de positivos predichos correctamente frente al número total de positivos reales.

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3.3)$$

- **Specificity o Especificidad :** mide el número de negativos predichos correctamente frente al número total de negativos reales.

$$\text{Especificidad} = \frac{TN}{TN + FP} \quad (3.4)$$

- **F-Measure:** combina la *precision* y el *recall*. Esta medida es especialmente útil en casos donde existe desequilibrio entre clases o cuando los falsos positivos y falsos negativos tienen distinto coste.

$$\text{F-Measure} = 2 \cdot \frac{\text{Precision} \cdot \text{Recuperación}}{\text{Precision} + \text{Recuperación}} \quad (3.5)$$

- **G-mean:** combina la *specificity* y el *recall*. Es muy útil en problemas de clasificación desequilibrados ya que la precisión general del modelo

puede ser engañosa al solo tener en cuenta si clasifica bien los casos positivos.

$$\text{G-mean} = \sqrt{\left(\frac{TP}{TP + FN}\right) \times \left(\frac{TN}{TN + FP}\right)} \quad (3.6)$$

### Técnicas de evaluación

La validación cruzada es un proceso mediante el que se evalúa un modelo comprobando que no depende de la partición de datos asignada al entrenamiento. Para realizar esta evaluación existen varias técnicas pero la más común (y la utilizada en este proyecto) es la conocida como *K-folds* en la que se divide el *dataset* en *k* pliegues o *folds*. Cada uno de estos pliegues se compone del mismo número de instancias. La forma en la que se seleccionan las instancias depende de los parámetros que se indiquen. Por ejemplo, existe una separación balanceada que procura que en cada pliegue exista el mismo número de instancias de cada clase. Otra forma de seleccionar estas instancias es de manera aleatoria.

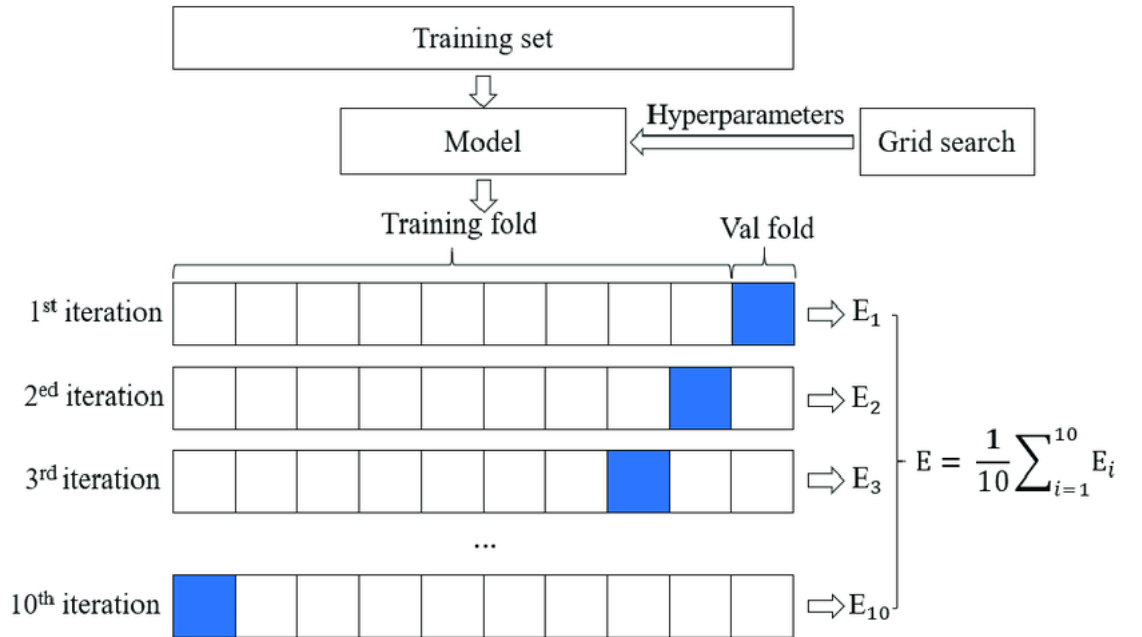


Figura 3.1: Diagrama K-fold cross-validation extraído de «Predicting Mechanical Properties of High-Performance Fiber-Reinforced Cementitious Composites by Integrating Micromechanics and Machine Learning» [9]

Una vez dividido el *dataset* se realiza un entrenamiento y prueba por cada pliegue de manera que en cada iteración se selecciona uno de los pliegues como validación y el resto sirven como entrenamiento. Tras realizar cada uno de las iteraciones se extraen las métricas que se correspondientes y se realiza una media aritmética siendo esta el resultado deseado.



---

## 4. Técnicas y herramientas

---

En este capítulo se muestran las diferentes técnicas y herramientas que se han utilizado para el desarrollo del proyecto.

### 4.1. Técnicas

En esta sección se muestran las técnicas principales empleadas para el desarrollo del proyecto.

#### Scrum

Para el desarrollo de este proyecto ha sido utilizada la metodología ágil conocida como Scrum.

La metodología Scrum trata de fraccionar la duración de un proyecto en lo que se conoce como «sprints», cuya duración varía de una a dos semanas. El objetivo de los «sprints» es decidir que parte del proyecto se va a desarrollar durante ese periodo de tiempo realizando revisiones diarias para ver como avanza así como una revisión de «sprint» en el que hace una valoración general del «sprint» y se decide en que va a consistir el siguiente.

### 4.2. Herramientas

En esta sección se describen las herramientas que se han utilizado durante la realización del proyecto.

## Portales

Usados principalmente para el seguimiento de la metodología Scrum, creación de diagramas y bocetos y control de versiones:

- **Zube:** portal dedicado a la gestión de proyectos «software» [23]. Permite visualizar proyectos, sprints, gráficos propios de Scrum y crear tableros.
- **GitHub:** es una plataforma web que proporciona una interfaz gráfica para el control de versiones utilizando Git [8]. Además, GitHub permite a los usuarios revisar versiones anteriores de proyectos y realizar un seguimiento de los cambios a lo largo del tiempo.
- **DrawIO:** es una herramienta que permite la creación de diagramas entidad-relación, diagramas de flujo, casos de uso, etc [4]. Esta herramienta dispone además de los símbolos UML necesarios para todas las funcionalidades.

## Librerías

Principalmente de Python:

- **Scikit-Learn:** esta librería ofrece una amplia variedad de algoritmos de aprendizaje supervisados, semisupervisados y no supervisados [16]. Además posee una gran compatibilidad con otras librerías como así como una extensa documentación que facilitan su implementación.
- **TSFresh:** es una biblioteca de Python, para la extracción y representación de características de series temporales [19]. Esta herramienta agiliza el proceso de extracción de características a partir de datos de series temporales para apoyar las tareas de aprendizaje automático. Ofrece una selección de características definidas que abarcan diferentes medidas estadísticas, como análisis de tendencias, patrones estacionales, métricas de correlación y evaluaciones de complejidad.

## Entorno de desarrollo

Incluye el entorno integrado de desarrollo (IDE), lenguaje y otros programas usados.

- **Visual Studio Code:** editor y depurador de código, así como algunas de sus extensiones más importantes.

- **Python:** lenguaje de programación de alto nivel ampliamente usado. Ha sido escogido para realizar este proyecto debido a que posee una gran variedad de paquetes y librerías de Machine Learning [12].
- **Git:** es un software de control de versiones distribuido, utilizado para la control de versiones en proyectos software.
- **Github Copilot:** es un asistente de programación con inteligencia artificial que te permite realizar código de forma más rápida mediante la realización de consultas y las sugerencias que provee.

## Desarrollo web

A continuación se exponen tanto librerías como recursos para el desarrollo del apartado web:

- **Bootstrap:** es un «framework» utilizado para la creación de páginas web [2]. En esencia es un librería de código que simplifica el proceso de desarrollo de una página web. Unas de sus principales características son:
  - **Diseño «responsive»:** Bootstrap permite de una forma muy sencilla implementar la posibilidad de que la página web con todos sus componentes se adapten automáticamente en tiempo real a cualquier pantalla incluso si se modifica el tamaño de la ventana.
  - **Documentación y comunidad:** dado que Bootstrap es un framework muy conocido, tanto la documentación del framework como la comunidad que ayuda a desarrollarlo facilitan mucho la posibilidad de aprenderlo y poder encontrar soluciones específicas a nuestro diseño en poco tiempo.
  - **Enfoque móvil:** Bootstrap está diseñado teniendo en cuenta también el diseño en dispositivos móviles, lo que ayuda al desarrollo de la web para multiplataformas.
- **Flask:** es un «framework» escrito en Python que simplifica y facilita la creación de aplicaciones web mediante el uso del patrón Modelo-Vista-Controlador [5]. Dado que es considerado un micro «framework» no viene con todas las funcionalidades por defecto; sin embargo, existen librerías compatibles con Flask que permiten añadir todas las funcionalidades que se necesiten. Entre ellas se han usado:

- **Werkzeug**: es un conjunto de librerías de Python usados para el desarrollo web [20]. Se ha utilizado Flask junto a Werkzeug ya que este contiene una librería de cifrado que se ha utilizado durante el desarrollo del proyecto.
  - **SQLAlchemy**: dado que Flask no puede hacer uso de forma directa de las bases de datos hace uso de la librería SQLAlchemy [17]. Esta librería permite la creación de bases de datos mediante la creación de clases en Python, definir el esquema y la relación entre las tablas y hacer consultas mediante métodos y objetos en vez de consultas SQL sin formato.
  - **Flask-Login**: es una extensión de Flask que simplifica añadir la funcionalidad de iniciar sesión, administrar sesión y cerrar sesión [7]. Permite además otorgar y restringir accesos de distintas secciones de la aplicación así como cargar datos relacionados con la sesión actual.
- **Jinja**: es un motor de plantillas rápido, seguro y fácil de usar para Python [10]. Permite la modificación de partes de la plantilla de la web mediante el uso de código como la agregación de contenido dependiendo del valor de variables mediante bucles o condicionales.
- **Font Awesome**: es una herramienta usada para el diseño y desarrollo de páginas web [1]. En vez de usar archivos de imágenes para iconos utiliza fuentes. Esto ofrece diversas ventajas:
- Escalabilidad: los iconos se escalan perfectamente a cualquier tamaño sin perder calidad.
  - Colores personalizables: permite modificar el color de los iconos usando solo CSS. Para poder utilizar Font Awesome con Flask se ha utilizado la librería Flask-FontAwesome que permite su implementación [6].



---

## 5. Aspectos relevantes del desarrollo del proyecto

---

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



---

## 6. Trabajos relacionados

---

Durante los últimos años se han utilizado diferentes métodos para evaluar la enfermedad de Parkinson mediante la prueba del *Rapid Finger-tapping*. En este capítulo se recogen algunos de los trabajos de manera resumida.

### 6.1. A computer vision framework for finger-tapping evaluation

En este artículo [11] se documenta el uso de la visión por computador para la clasificación de individuos según el nivel de gravedad de la enfermedad de Parkinson.

Se emplea un método en el que se emplea el uso de la cara para la calibración de la amplitud de la prueba. Para ello el sujeto ha de elevar las manos a la altura de la cara y apuntar con las puntas de los dedos hacia la misma.

El estudio se realizó con 387 vídeos de *rapid finger-tapping test* (RFT) de 13 pacientes diagnosticados con Enfermedad del Parkinson en estado avanzado y 84 vídeos de *rapid finger-tapping test* de 6 personas de control sanas. En total 471 vídeos.

#### Metodología

- Se realiza un reconocimiento facial del individuo y se crea a partir de él 2 cuadrados en los costados de la cara para realizar la medición de la amplitud.

- Se genera una serie temporal que representa la distancia desde el dedo índice al pulgar siendo esta la amplitud del movimiento.
- Se extraen algunas características de la serie temporal, por ejemplo, la velocidad media de apertura y cierre de dedos, el número total de toques de los dedos, la amplitud máxima...
- Se seleccionan las características no redundantes mediante el algoritmo chi-cuadrado
- Se entrena una máquina de vectores de soporte (SVM) mediante las características obtenidas para realizar la clasificación.

## Resultados

Se encontró una nueva característica representativa del ritmo de golpeteo llamada «correlación cruzada entre los picos normalizados», la cual mostró una fuerte correlación de Guttman con las valoraciones clínicas. Al utilizar el clasificador de máquina de vectores de soporte y una validación cruzada de 10 grupos, se logró categorizar las muestras de pacientes en los niveles UPDRS-FT con una precisión del 88 %. Este mismo esquema de clasificación también permitió discriminar entre las muestras **RFT** de los controles sanos y los pacientes con **EP**, logrando una precisión del 95 %.

## 6.2. The discerning eye of computer vision

Este artículo [22] utilizan 133 vídeos de manos realizando el **RFT** procedentes de 39 pacientes de enfermedad de Parkinson y 30 pacientes de control.

A través de estos vídeos se han logrado extraer características y comprobar la relación que existe entre estas y la gravedad de la enfermedad en un paciente siendo esta valorada desde 0 (normal) hasta 4 (enfermedad muy grave).

## Metodología

- Se utiliza la librería de DeepCutLab la cual se trata de una librería de visión por computador para obtener la serie temporal de la amplitud.
- Se normaliza la serie con la amplitud máxima siendo igual a 1 y escalando los valores conforme a esta medida.

- Al igual que en el estudio anterior se extraen ciertas características de la serie siendo estas la velocidad, la amplitud y el ritmo.

## Resultados

DeepLabCut rastreó y midió con fiabilidad el *finger-tap* en un vídeo estándar de smartphone. Las medidas del ordenador se relacionaron bien con las valoraciones clínicas de la bradicinesia.

### 6.3. Supervised classification of bradykinesia

Este artículo [21] utiliza 70 vídeos de evaluaciones de *finger-tap* en un entorno clínico (40 manos con **Parkinson**, 30 manos de control). Dos expertos clínicos en **Parkinson**, que desconocían los diagnósticos, evaluaron los vídeos para dar un grado de gravedad de la bradicinesia entre 0 y 4 utilizando la Escala Unificada de Calificación de la Enfermedad de Parkinson (UPDRS, por sus siglas en inglés)

## Metodología

- Extraer la frecuencia: La frecuencia de intervención se estimó como la frecuencia correspondiente al pico de amplitud máxima en el espectro de la transformada rápida de Fourier (FFT).
- La densidad espectral de energía se calculó como la integral al cuadrado del espectro FFT, una medida que se espera que aumente con la amplitud del golpeteo.

## Resultados

Una máquina de vectores de soporte con núcleos de función de base radial predijo la presencia de bradicinesia leve/moderada/grave con una precisión de prueba estimada del 0,8 %. Un modelo Naïve Bayes predijo la presencia de la enfermedad de Parkinson con una precisión de prueba estimada de 0,67.

## 6.4. Paddel

Este proyecto [3] utiliza 158 vídeos de evaluación etiquetados para determinar la presencia o ausencia de Parkinson. El objetivo es realizar una predicción binaria sobre si una persona padece la enfermedad de Parkinson.

### Metodología

- Extracción de «landmarks»: Convertir el vídeo de la prueba de «finger-tapping» en una secuencia temporal de puntos de referencia de la mano.
- Lectura de imágenes del vídeo: haciendo uso de la librería OpenCV en Python para leer las imágenes del vídeo sin cargar todo el archivo en memoria.
- Extracción de «landmarks» de las imágenes: Utilizar Mediapipe Hands para obtener puntos de referencia de la mano en cada imagen del vídeo.
- Manejo de oclusión de «landmarks»: Descartar puntos de referencia no fiables debido a la perspectiva de los vídeos de «finger-tapping».
- Extracción precisa de «landmarks»: Elegir no paralelizar el proceso para obtener resultados más precisos en la aplicación web.
- Extracción de series temporales: Generar una secuencia de datos que represente la pose de la mano en cada fotograma del vídeo.
- Extracción de características: Obtener atributos útiles para entrenar el modelo de aprendizaje a partir de las series temporales.

### Resultados

Una máquina de vectores de soporte con los hiperparametros optimizados por medio de «gridsearch» da una precisión media del 78,85 %.

---

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

---

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





---

## Bibliografía

---

- [1] Font Awesome. Font awesome. <https://fontawesome.com/>, 2024.
- [2] Bootstrap. Bootstrap · the most popular html, css, and js library in the world. <https://getbootstrap.com/>, 2024.
- [3] Catalin Andrei Cacuci. Github:paddel. <https://github.com/cataand/tfg-paddel>, 2024.
- [4] DrawIO. Drawio. security-first diagramming for teams. <https://drawio.com/>, 2024.
- [5] Flask. Guía del usuario. <https://flask-es.readthedocs.io/>, 2024.
- [6] Flask-FontAwesome. Flask-fontawesome. <https://pypi.org/project/Flask-FontAwesome/>, 2024.
- [7] Flask-Login. Flask-login. <https://flask-login.readthedocs.io/en/latest/>, 2024.
- [8] Github. Github. let's build from here. <https://github.com/>, 2024.
- [9] Pengwei Guo, Weina Meng, Mingfeng Xu, Victor C. Li, and Yi Bao. Predicting mechanical properties of high-performance fiber-reinforced cementitious composites by integrating micromechanics and machine learning. *Materials*, 14(12):3143, June 2021.
- [10] Jinja. Jinja templating engine. <https://jinja.palletsprojects.com/en/3.1.x/>, 2024.
- [11] Taha Khan, Dag Nyholm, Jerker Westin, and Mark Dougherty. A computer vision framework for finger-tapping evaluation in parkinson's disease. *Artificial Intelligence in Medicine*, 60(1):27–40, January 2014.

- [12] Phyton. 3.12.3 documentation. <https://docs.python.org/3/>, 2024.
- [13] Werner Poewe, Klaus Seppi, Caroline M. Tanner, Glenda M. Halliday, Patrik Brundin, Jens Volkmann, Anette-Eleonore Schrag, and Anthony E. Lang. Parkinson disease. *Nature Reviews Disease Primers*, 3(1), March 2017.
- [14] R. Bharat Rao, Sriram Krishnan, and Radu Stefan Niculescu. Data mining for improved cardiac care. *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, 8(1):3–10, June 2006.
- [15] Diego Santos García, Marta Blázquez-Estrada, Matilde Calopa, Francisco Escamilla-Sevilla, Eric Freire, Pedro J. García Ruiz, Francisco Grandas, Jaime Kulisevsky, Lydia López-Manzanares, Juan Carlos Martínez Castrillo, Pablo Mir, Javier Pagonabarraga, Francisco Pérez-Errazquin, José María Salom, Beatriz Tijero, Francesc Valldeoriola, Rosa Yáñez, Arantxa Avilés, and María-Rosario Luquín. Present and future of parkinson’s disease in spain: Parkinson-2030 delphi project. *Brain Sciences*, 11(8):1027, July 2021.
- [16] Scikit-Learn. Scikit-learn. machine learning in python. <https://scikit-learn.org/stable/>, 2024.
- [17] SQLAlchemy. Sqlalchemy. the python sql toolkit and object relational mapper. <https://www.sqlalchemy.org/>, 2024.
- [18] Sigurlaug Sveinbjornsdottir. The clinical symptoms of parkinson’s disease. *Journal of Neurochemistry*, 139(S1):318–324, 2016.
- [19] TSfresh. Tsfresh.time series feature extraction based on scalable hypothesis tests. <https://tsfresh.readthedocs.io/en/latest/>, 2024.
- [20] Werkzeug. Werkzeug documentation. <https://werkzeug.palletsprojects.com/en/3.0.x/>, 2024.
- [21] Stefan Williams, Samuel D. Relton, Hui Fang, Jane Alty, Rami Qahwaji, Christopher D. Graham, and David C. Wong. Supervised classification of bradykinesia in parkinson’s disease from smartphone videos. *Artificial Intelligence in Medicine*, 110:101966, November 2020.
- [22] Stefan Williams, Zhibin Zhao, Awais Hafeez, David C. Wong, Samuel D. Relton, Hui Fang, and Jane E. Alty. The discerning eye of computer vision: Can it measure parkinson’s finger tap bradykinesia? *Journal of the Neurological Sciences*, 416:117003, September 2020.

- [23] Zube. Zube. developer collaboration, solved. <https://www.zube.io/>, 2024.