



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática

Desarrollo de una herramienta para medir la experiencia de usuario basada en neurotecnología y machine learning.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Informática

AUTOR/A: Contreras Martínez, Nicolau

Tutor/a: Insfrán Pelozo, César Emilio

Cotutor/a: Gaspar Figueiredo, Daniel

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

# Resum

L'avaluació de l'efecte de les aplicacions de programari en els usuaris és essencial per garantir la qualitat. Per aconseguir avaluacions més exactes i objectives, s'ha implementat l'ús de monitoratge de dades fisiològiques. Específicament, el processament de les senyals electroencefalogràfiques ha demostrat ser eficaç per identificar l'estat cognitiu i emocional dels usuaris. Empreses com BitBrain han apostat per aquestes tecnologies, creant dispositius que registren aquestes senyals i programari que facilita la seva anàlisi i representació gràfica. Aquest programari avalua l'estat de l'usuari mitjançant quatre indicadors principals: atracció o valència, retenció de memòria, nivell d'implicació i càrrega cognitiva. En aquest treball, es presenta una eina de codi obert capaç de processar senyals EEG i transformar-les en aquestes mètriques, a més de proporcionar a l'usuari la visualització de les mateixes, mostrant en pantalla les senyals processades i mapes de calor per visualitzar l'activitat cerebral en temps real. Per al processament de les dades en cru a processades, s'ha reentrenat un model d'aprenentatge automàtic basant-se en un treball previ. Per a l'obtenció de dades habilitades per a l'entrenament del model, s'ha realitzat un experiment capaç d'estimular cadascuna de les mètriques que formaran part de l'eina. A més, per a aquest procés, s'han aplicat tècniques com el "*Data Augmentation*" per ampliar el conjunt de dades i obtenir models més robustos. Finalment, després de completar tot això, s'ha dut a terme la creació de l'eina anomenada "BrainScope".

**Paraules clau:** Mètriques, Experiment, EEG, Machine Learning

---

# Resumen

La evaluación del efecto de las aplicaciones de software en los usuarios es esencial para garantizar la calidad. Para lograr evaluaciones más exactas y objetivas, se ha implementado el uso de monitoreo de datos fisiológicos. Específicamente, el procesamiento de las señales electroencefalográficas ha probado ser eficaz para identificar el estado cognitivo y emocional de los usuarios. Compañías como BitBrain han apostado por estas tecnologías, creando dispositivos que registran estas señales y software que facilita su análisis y representación gráfica. Dicho software evalúa el estado del usuario mediante cuatro indicadores principales: atracción o valencia, retención de memoria, nivel de implicación y carga cognitiva. En este trabajo, se presenta una herramienta *open source* capaz de procesar señales EEG y transformarlas en estas métricas, además de brindar al usuario la visualización de las mismas, mostrando en pantalla las señales procesadas y mapas de calor para visualizar la actividad cerebral en cada momento. Para el procesamiento de los datos en crudo a procesados se ha reentrenado un modelo de aprendizaje automático, basándonos en un trabajo previo. Para la obtención de datos habilitados para el entrenamiento del mismo, se ha realizado un experimento capaz de estimular cada una de las métricas que van a formar parte de la herramienta. Además, para este proceso, se han aplicado técnicas como "*Data Augmentation*" para ampliar el dataset y obtener modelos más robustos. Por último, tras realizar todo esto, se ha llevado a cabo la creación de la herramienta llamada "BrainScope".

**Palabras clave:** Métricas, Experimento, EEG, Machine Learning

---



# Abstract

The evaluation of the effect of software applications on users is essential to ensure quality. To achieve more accurate and objective assessments, the use of physiological data monitoring has been implemented. Specifically, the processing of electroencephalographic signals has proven effective in identifying the cognitive and emotional state of users. Companies like BitBrain have invested in these technologies, creating devices that record these signals and software that facilitates their analysis and graphical representation. This software evaluates the user's state using four main indicators: attraction or valence, memory retention, engagement level, and cognitive load. This work presents an open-source tool capable of processing EEG signals and transforming them into these metrics, in addition to providing the user with visualization, displaying processed signals and heat maps on screen to visualize brain activity in real-time. For processing raw data into processed data, a machine learning model has been retrained based on a previous work. To obtain data suitable for training the model, an experiment was conducted to stimulate each of the metrics that will be part of the tool. Furthermore, techniques such as "*Data Augmentation*" have been applied in this process to expand the dataset and achieve more robust models. Finally, after completing all this, the creation of the tool called "*BrainScope*" has been carried out.

**Key words:** Metrics, Experiment, EEG, Machine Learning

---

---

# Agradecimientos

Quiero aprovechar este momento y agradecer en primer lugar a mi familia por todo el apoyo que me han estado dando durante todo este tiempo. Gracias a mis padres, que fueron mis pilares en todo el transcurso de mi vida y gracias a mis hermanos, quienes me aguantaron todas las pataletas que he ido teniendo a lo largo de este proceso.

Este TFG es fruto de muchas vivencias, de mucho estrés y de mucho sacrificio. Sin embargo, gracias al apoyo de mucha gente, he podido seguir adelante y poder presentar este pequeño trozo de mi. Gracias a mis amigos de la carrera, quienes estuvieron en esta gran aventura. Mi vida no hubiera sido la misma sin vuestro apoyo, sin vuestros consejos, sin que tuvierais que sacarme del laboratorio a por una cerveza cuando estaba a punto de colapsar, y sin vuestras preocupaciones hacia mi persona. Que sean muchos más viajes y risas los que nos esperen en un futuro. Dar gracias a mis amigos del pueblo, quienes me sacaban de casa cuando estaba en una crisis de inspiración y me llevaban a dar una vuelta.

También quiero dar gracias al equipo del laboratorio ResqueLab. Dani, has sido un gran apoyo en todo este tiempo, y quiero darte las gracias por tu preocupación y por poder llamarte amigo después de este tiempo. Tati, gracias por tus postres caseros que me ayudaban a seguir con el trabajo, y por dejar que te contara mi vida una y otra vez cuando nos aburríamos. Habéis sido muy importantes en este periodo tan corto de tiempo.

Dar las gracias a toda la gente que se ofreció a realizar el experimento que desarrollamos. Sin vosotros, no tendría prácticamente TFG que presentar. Por eso, esto es gracias a vosotros, nunca podré demostraros lo agradecido que estoy con cada uno de vosotros.

Por último, quiero dar las gracias a mi tutor Emilio, por darme la oportunidad de aprender y experimentar en este interesante mundo de la neurociencia. Gracias por tu apoyo y por tu guía.



# Índice general

---

<b>Índice general</b>	<b>5</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>7</b>
<b>Índice de tablas</b>	<b>8</b>
<hr/>	
<b>1 Introducción</b>	<b>1</b>
1.1 Motivación . . . . .	1
1.2 Objetivo . . . . .	2
1.3 Estructura de la memoria . . . . .	3
<b>2 Conceptos previos</b>	<b>5</b>
2.1 EEG . . . . .	5
2.2 Casco neuronal . . . . .	8
2.3 Ondas y métricas . . . . .	8
2.4 Machine Learning Pipeline . . . . .	11
2.5 Data Augmentation . . . . .	12
2.5.1 Ruido Gaussiano . . . . .	13
2.5.2 Aumento de escala ( <i>Scaling</i> ) . . . . .	13
2.6 Tipos de Machine Learning . . . . .	13
2.6.1 Árbol de decisión . . . . .	14
2.6.2 Redes neuronales . . . . .	14
2.6.3 Máquina de vectores de soporte . . . . .	14
2.7 Métricas de evaluación de modelos . . . . .	16
2.7.1 Coeficiente de determinación ( $R^2$ ) . . . . .	16
2.7.2 Error medio absoluto (MAE) . . . . .	16
2.7.3 Error absoluto mediano (MedAE) . . . . .	17
<b>3 Trabajos relacionados</b>	<b>19</b>
3.1 BWAnalysis . . . . .	19
3.2 Reaction Time . . . . .	20
3.3 OpenBCI . . . . .	21
3.4 Natus NeuroWorks . . . . .	22
3.5 Comparación . . . . .	24
<b>4 Especificación de requisitos</b>	<b>25</b>
4.1 Casos de Uso . . . . .	25
4.2 Prototipado . . . . .	31
<b>5 Tecnologías y Arquitectura</b>	<b>35</b>
5.1 Tecnologías usadas . . . . .	35
5.2 Arquitectura . . . . .	37
<b>6 Implementación</b>	<b>41</b>
6.1 Metodología . . . . .	41
6.2 Machine Learning Pipeline . . . . .	42
6.2.1 Recopilación de datos ( <i>Data Ingestion</i> ) . . . . .	42
6.2.2 Preprocesamiento de datos ( <i>Data preparation</i> ) . . . . .	50
6.2.3 Selección del modelo ( <i>Build model</i> ) . . . . .	51

6.2.4	Entrenamiento y evaluación del modelo ( <i>Model Training</i> ) . . . . .	52
6.2.5	Despliegue del modelo ( <i>Model deployment</i> ) . . . . .	56
6.2.6	Supervisión y mantenimiento ( <i>Performance monitoring</i> ) . . . . .	56
6.3	BrainScope . . . . .	56
6.3.1	Server . . . . .	57
6.3.2	Backend . . . . .	58
6.3.3	Frontend . . . . .	60
<b>7</b>	<b>Pruebas</b> . . . . .	<b>63</b>
7.1	Pruebas unitarias . . . . .	63
7.1.1	Server . . . . .	63
7.1.2	Backend . . . . .	65
7.1.3	Cobertura . . . . .	66
7.2	Heurísticas de Nielsen . . . . .	68
7.2.1	Visibilidad del estado del sistema . . . . .	69
7.2.2	Correspondencia entre el sistema y el mundo real . . . . .	69
7.2.3	Control y libertad del usuario . . . . .	70
7.2.4	Consistencia y estándares . . . . .	71
7.2.5	Prevención de errores . . . . .	71
7.2.6	Reconocimiento antes que recuerdo . . . . .	72
7.2.7	Flexibilidad y eficiencia de uso . . . . .	73
7.2.8	Estética y diseño minimalista . . . . .	75
7.2.9	Ayudar a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de errores . . . . .	76
7.2.10	Ayuda y documentación . . . . .	76
<b>8</b>	<b>Conclusiones</b> . . . . .	<b>79</b>
8.1	Relación con estudios . . . . .	79
8.2	Trabajo futuro . . . . .	80
	<b>Bibliografía</b> . . . . .	<b>81</b>
<hr/>		
Apéndices		
<b>A</b>	<b>Formularios</b> . . . . .	<b>85</b>
A.1	Formulario de consentimiento . . . . .	85
A.2	Formulario demográfico . . . . .	87
<b>B</b>	<b>Segundo experimento</b> . . . . .	<b>89</b>
B.1	Primera parte (Carga cognitiva y Memorización) . . . . .	89
B.2	Segunda parte (Implicación y Atracción) . . . . .	89
<b>C</b>	<b>Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)</b> . . . . .	<b>111</b>

# Índice de figuras

---

2.1	a) Distribución de electrodos en el casco de BitBrain. b) Casco neuronal de BitBrain. [2]	8
2.2	Tipos de ondas [48].	10
2.3	Fases del Machine Learning Pipeline	11
2.4	Algoritmo del árbol de decisión [53].	14
2.5	Capas de redes neuronales [40].	15
2.6	Tipos de máquina de vectores de soporte [30].	15
3.1	Interfaz de BWAnalysis [9]	20
3.2	Interfaz de Reaction Time Suite [39]	21
3.3	Interfaz de OpenBCI [11]	22
3.4	Interfaz de Natus NeuroWorks [32]	23
4.1	Diagrama de Casos de Uso.	25
4.2	Página principal de BrainScope.	31
4.3	Interfaz Visionado del Experimento.	32
4.4	Interfaz Procesamiento de datos.	33
4.5	Interfaz Elección de experimento.	33
4.6	Interfaz Elección de datos en crudo.	34
5.1	Arquitectura de BrainScope.	38
6.1	Estímulos para Carga Cognitiva.	43
6.2	Estímulos para Memorización.	43
6.3	Estímulos para Implicación.	44
6.4	Estímulos para Valencia positiva.	45
6.5	Estímulos para Valencia negativa.	45
6.6	Participantes del experimento.	46
6.7	Gráfica de estímulos de carga cognitiva.	46
6.8	Gráfica de estímulos de memorización.	47
6.9	Gráfica de estímulos de implicación.	47
6.10	Gráfica de estímulos de valencia.	48
6.11	Diagrama de flujo de la segunda versión de la prueba de valencia/atracción.	49
6.12	Gráfica del nuevo experimento de atracción.	50
6.13	Mapa de calor obtenido con el módulo de mapa de calor	59
6.14	Fachada para peticiones de visión.	60
6.15	Fachada para peticiones de procesamiento de datos.	60
6.16	Métricas de Carga Cognitiva y Memorización mostradas en gráficas.	61
6.17	Métricas de Carga Cognitiva mostrada en gráficas.	61
6.18	Mensaje de momento temporal seleccionando.	62
7.1	Cobertura conseguida en el servidor.	68
7.2	Cobertura conseguida en el backend.	68
7.3	Escoger datos en crudo.	70

7.4	Procesamiento de datos en crudo. . . . .	70
7.5	Elección de archivos para experimentos. . . . .	71
7.6	Escoger datos del experimento. . . . .	72
7.7	Elección de archivos de datos en crudo. . . . .	72
7.8	Aviso de elección de tiempo. . . . .	73
7.9	Main de BrainScope. . . . .	75
7.10	Elegir datos en crudo. . . . .	75
7.11	Visualización de experimento. . . . .	75
7.12	Gráficas del experimento. . . . .	75
7.13	Mensaje de error en elección de experimento. . . . .	76
7.14	Mensaje de error en elección de datos en crudo. . . . .	77
A.1	Formulario de Consentimiento. . . . .	86
A.2	Formulario Demográfico. . . . .	88
B.1	Interfaz de cartelera de cine difícil. . . . .	90
B.2	Interfaz de cartelera de cine fácil. . . . .	90
B.3	Main de la revista. . . . .	91
B.4	Noticia 1. . . . .	92
B.5	Noticia 2. . . . .	93
B.6	Noticia 3. . . . .	94
B.7	Noticia 4. . . . .	95
B.8	Noticia 5. . . . .	96
B.9	Noticia 6. . . . .	97
B.10	Main de venta de música. . . . .	98
B.11	Venta de Viña Rock. . . . .	99
B.12	Venta de Medusa. . . . .	100
B.13	Venta de Cruz Cafuné Tour. . . . .	101
B.14	Venta de Sen Senra Tour. . . . .	102
B.15	Venta de disco de Cruz Cafuné. . . . .	103
B.16	Venta de disco de C. Tangana. . . . .	104
B.17	Main de la churrería. . . . .	105
B.18	Main de la churrería. . . . .	106
B.19	Información de la churrería. . . . .	107
B.20	Carta de la churrería. . . . .	108
B.21	Franquicia de la churrería. . . . .	109

## Índice de tablas

---

4.1	Caso de uso de "Procesar datos en crudo". . . . .	26
4.2	Caso de uso de "Escoger datos datos en crudo". . . . .	27
4.3	Caso de uso de "Visualizar datos de atracción de la sesión". . . . .	27
4.4	Caso de uso de "Visualizar datos de carga cognitiva de la sesión". . . . .	27
4.5	Caso de uso de "Visualizar datos de memorización de la sesión". . . . .	28
4.6	Caso de uso de "Visualizar datos de implicación de la sesión". . . . .	28
4.7	Caso de uso de "Visualizar datos en crudo". . . . .	28
4.8	Caso de uso de "Escoger datos de la sesión". . . . .	29

---

4.9	Caso de uso de "Elegir momento temporal del experimento". . . . .	29
4.10	Caso de uso de "Visualizar captura de pantalla de la sesión". . . . .	30
6.1	Resultados del modelo de Redes neuronales para Carga cognitiva. . . . .	52
6.2	Resultados del modelo de Árboles de decisión para Carga cognitiva. . . . .	52
6.3	Resultados del modelo de Redes neuronales para Memorización. . . . .	53
6.4	Resultados del modelo de Árboles de decisión para Carga cognitiva. . . . .	53
6.5	Resultados del modelo de Redes neuronales para Implicación. . . . .	54
6.6	Resultados del modelo de Árboles de decisión para Implicación. . . . .	54
6.7	Comparativa de los módulos de Carga Cognitiva. . . . .	54
6.8	Comparativa de los módulos de Memorización. . . . .	55
6.9	Comparativa de los módulos de Implicación. . . . .	55
7.1	Datos de la cobertura del servidor. . . . .	67
7.2	Datos de la cobertura del backend. . . . .	68
7.3	Problema de eliminación de archivos. . . . .	71
7.4	Mejora para mostrar el momento temporal. . . . .	73
7.5	Propuesta de momento temporal pulsando tecla. . . . .	74
7.6	Propuesta de atajo de teclado para visualizar sesión. . . . .	74
7.7	Propuesta de atajo de teclado para procesar datos. . . . .	74
7.8	Propuesta de atajo de teclado para escoger archivos. . . . .	74
7.9	Propuesta de atajo de teclado para confirmar los archivos subidos. . . . .	75
7.10	Propuesta de atajo de teclado para cancelar los archivos subidos. . . . .	75
7.11	Problema encontrado. . . . .	76
C.1	Grado de relación del trabajo con los ODS. . . . .	111





---

---

# CAPÍTULO 1

## Introducción

---

El uso de aplicaciones de software es cada vez más común en diferentes aspectos de nuestra sociedad. La creciente digitalización de la mayoría de los procesos ha incrementado el uso de aplicaciones en el ámbito personal, abarcando áreas como el comercio en línea, el entretenimiento, la alimentación, los viajes y los servicios. La digitalización ha transformado profundamente la industria, llevando muchas actividades manuales a ser realizadas ahora mediante software especializado. En este contexto, donde el software juega un papel cada vez más importante, es crucial desarrollar aplicaciones de alta calidad que se adapten a las diversas necesidades de los usuarios.

Existen numerosos métodos para evaluar la interacción entre los usuarios y las aplicaciones. Estos métodos varían desde evaluaciones realizadas por expertos hasta encuestas subjetivas y el análisis de datos fisiológicos de los usuarios. Sin embargo, las evaluaciones de expertos y las encuestas pueden estar influenciadas por diversos factores, como el subconsciente del evaluador o recuerdos imprecisos de la interacción con la interfaz.

Para obtener mediciones más precisas sobre el estado del usuario, se ha propuesto la monitorización de datos fisiológicos mientras se utiliza una aplicación de software, con el fin de estudiar el impacto de diferentes eventos. Estudios han vinculado actividades cerebrales específicas con reacciones cognitivas y emocionales concretas, permitiendo definir métricas que informan sobre el estado cognitivo-emocional del usuario en cada momento, tales como la atracción, el esfuerzo cognitivo, la memorización y la implicación. Empresas de neurotecnología, como BitBrain [2], han desarrollado herramientas precisas pero costosas para medir señales electroencefalográficas (EEG) usando cascos neuronales. Estas herramientas suelen tener funcionalidades limitadas y requieren post-procesamiento de datos para una mejor interpretación de las métricas.

Este trabajo propone desarrollar una herramienta *open source* capaz de proporcionar a los usuarios una manera de visualizar y procesar datos electroencefalográficos y obtener una versión de datos procesados. Para esto, se ha optado por hacer uso de módulos de Inteligencia Artificial (IA) basados en Machine Learning (ML), capaces de procesar estos datos obtenidos y visualizarlos a través de la herramienta desarrollada.

### 1.1 Motivación

---

La motivación central que impulsa el presente trabajo radica en la creciente necesidad de mejorar la experiencia del usuario (UX) en sistemas de software mediante la adaptación dinámica y personalizada de las interfaces de usuario (IU). En un entorno digital en constante evolución, donde las preferencias y necesidades de los usuarios son diversas y cambiantes, las soluciones estáticas ya no son suficientes para garantizar una UX satis-

factoria. Por ello, se plantea la importancia de desarrollar IUs adaptativas que, a través de técnicas avanzadas como el Aprendizaje por Refuerzo y el Aprendizaje Automático, puedan ajustarse en tiempo real a las condiciones y demandas del usuario. Esta adaptación inteligente no solo busca optimizar la eficiencia y eficacia de la interacción, sino también mejorar aspectos más subjetivos como la satisfacción y la calidad hedónica del sistema.

Para lograr este objetivo, se han propuesto y realizado múltiples tipos de estudios, donde se motivan la investigación y desarrollo de frameworks [21][18][19] y herramientas que permitan implementar estrategias de adaptación más efectivas y proactivas, orientadas a maximizar la UX en un mundo digital cada vez más complejo y exigente [20]. Estos estudios se realizaron considerando que las personas manifiestan su estado de diversas maneras, como a través de sus expresiones faciales o movimientos. Por ejemplo, una persona que disfruta lo que ve, mostrará un rostro sereno y probablemente una sonrisa. Sin embargo, si se le presenta algo que le desagrada, le inquieta o le hace sentir incómodo, estará en un estado de tensión y su rostro reflejará una sensación de insatisfacción, ya sea mediante una mueca de disgusto o la tensión en ciertas partes de la cara.

Para contribuir a esta investigación, se identificó que también existen otras formas de obtener datos de las personas para determinar cuándo sienten atracción hacia algo o verificar si la tarea que están realizando no les consume mucho esfuerzo mental. En este contexto, se hace referencia a las ondas EEG. Estas ondas, capaces de mostrar el estado mental de la persona, pueden utilizarse para medir la comodidad, esfuerzo mental, interés, entre otros, con la tarea que esté realizando, si la tarea le requiere un gran esfuerzo mental o si le interesa mucho o poco lo que está haciendo en ese momento.

Con esto explicado, se realizó un trabajo previo al presente [25]. En él, se estuvo investigando acerca de como poder desarrollar módulos de ML para poder extraer datos procesados para distintas métricas cognitivo-emocionales. Además, en este se presentaba la manera de poder limpiar y preprocesar estos datos, para un mejor procesamiento de estos.

Este TFG es fruto de una beca de colaboración con el grupo de investigación de Ingeniería del Software y Sistemas de Información (ISSI).

## 1.2 Objetivo

---

Con tal de conseguir todo lo dicho anteriormente, el objetivo de este TFG es desarrollar una herramienta *open source* que implemente unas características de procesamiento de señales EEG para obtener las métricas: atracción, esfuerzo cognitivo, memorización e implicación a partir de datos fisiológicos grabados con un casco neuronal de BitBrain. Para ello, se han propuesto las siguientes tareas:

1. Estudiar las distintas soluciones software relacionadas con este proyecto, que se han ido desarrollando a lo largo de todo este tiempo.
2. Desarrollar un experimento capaz de poder extraer datos de calidad para el entrenamiento de módulos de IA desarrollados en el trabajo anterior mencionado.
3. Entrenar y mejorar estos módulos investigando y explorando distintas opciones de IA para obtener los mejores resultados.
4. Desplegar los módulos en un servidor haciendo que sean más accesibles a las distintas personas que quieran hacer uso de estas.
5. Diseño e implementación de una herramienta software que sea capaz de usar estos módulos y poder mostrar y visualizar los datos procesados.

---

## 1.3 Estructura de la memoria

---

A continuación, se describe la estructura que tendrán los contenidos restantes de esta memoria:

**Capítulo 2. Conceptos previos:** En este capítulo, se pretende dar una pincelada sobre el proceso EEG y las distintas métricas que se pueden obtener gracias a estas señales, ya que esto es gran parte de la base de la que parte este proyecto. Además, se quiere presentar el casco que se ha usado para la realización del experimento y documentar los distintos modelos de ML y de métricas de evaluación de IA que se han usado.

**Capítulo 3. Trabajos relacionados:** En este capítulo se presentan cuatro distintas soluciones de software donde se usan estas señales y se presentan los distintos ámbitos donde pueden ayudar el procesamiento de estas señales. Además, también se presenta una comparativa de estas para poder ver la contribución de este trabajo a la sociedad científica.

**Capítulo 4. Especificación de requisitos:** En este capítulo se muestran los distintos requisitos que se han definido para el desarrollo de la aplicación. Para ello, se han usado métodos como la realización de casos de uso o prototipado.

**Capítulo 5. Tecnologías y Arquitectura:** En este capítulo se presenta el diseño de lo que sería la arquitectura de la solución software propuesta y unas explicaciones de las distintas tecnologías usadas y el por qué se han usado en el desarrollo de la aplicación.

**Capítulo 6. Implementación:** En este capítulo se presenta todo el desarrollo del software, desde los experimentos realizados para obtener datos, hasta la implementación de la aplicación.

**Capítulo 7. Pruebas:** En este capítulo se muestran las distintas pruebas que se han realizado para verificar su correcto funcionamiento y, además, demostrar que es usable usando métodos como las Heurísticas de Nielsen.

**Capítulo 8. Conclusiones:** Para terminar, se presentan unas conclusiones de todo el trabajo hecho y lo que se podría realizar en trabajos futuros.



---

---

## CAPÍTULO 2

# Conceptos previos

---

Tradicionalmente, la obtención de datos sobre las preferencias y gustos de los usuarios se ha realizado a través de métodos como cuestionarios, encuestas y pruebas de usuario. Estos enfoques, presentan limitaciones debido a que dependen en gran medida de la memoria y la percepción subjetiva de los usuarios sobre su propia experiencia e interacción. No obstante, la integración de mediciones fisiológicas, como la respuesta galvánica de la piel (GSR), el seguimiento ocular (*eye tracking*) o la electroencefalografía, ofrece una vía alternativa para recopilar información. Estas técnicas permiten captar un conjunto de datos más objetivos y precisos sobre el estado emocional y cognitivo de los usuarios, facilitando la extracción de métricas que pueden proporcionar una visión más completa y fiel de su experiencia real.

Por este motivo, muchas empresas han optado por emplear la neurociencia para obtener datos sobre los distintos procesos que ocurren en la mente humana. Esto se debe a que estos procesos pueden indicar el estado de una persona, ya sea en términos de bienestar mental, físico o simplemente para mostrar implicación o atracción por algo. Para ello, estas empresas han decidido utilizar EEG y medir diversas métricas extraídas de este proceso, obteniendo así una visión del estado mental de la persona examinada.

En este capítulo, se hará hincapié en la explicación del proceso de obtención de métricas a través de EEG y los distintos ámbitos en los que se puede aplicar. Además, al utilizar diversas métricas en el presente TFG, se mencionarán cuántas métricas se han podido extraer hasta la fecha a partir de estos datos cerebrales y el motivo por el cual se han seleccionado cuatro de ellas para la realización del proyecto.

### 2.1 EEG

---

El electroencefalograma o EEG, es una técnica muy usada en ámbitos de la neurociencia. Según "Mejor con Salud" [29], una revista en línea que se centra en proporcionar información sobre buenos hábitos y cuidados para la salud, definió el EEG como una técnica de exploración funcional que permite medir la actividad eléctrica del cerebro en tiempo real. Fue en 1929 cuando Hans Berger acuñó el término "electroencefalograma" para describir el registro de las fluctuaciones eléctricas cerebrales captadas por electrodos adheridos al cuero cabelludo. Las neuronas, constantemente activas, transmiten impulsos eléctricos a lo largo del sistema nervioso central. El EEG recoge y amplifica estas señales eléctricas, que se representan mediante líneas onduladas, reflejando la actividad de diferentes regiones cerebrales.

Generalmente, el EEG se realiza en estado basal, es decir, en una condición natural y de reposo del paciente, sin ningún tipo de estimulación o actividad adicional; y puede

complementarse con métodos de activación, como la hiperventilación o la estimulación visual. Algunos especialistas incluso recomiendan realizar el registro durante el sueño para obtener un análisis más detallado. Además, existen electroencefalogramas de seguimiento continuo que se realizan durante 24 horas.

Los resultados de esta prueba pueden mostrar tanto patrones normales como anormales, lo que permite diagnosticar lesiones o trastornos específicos, como las convulsiones. Por esta razón, el EEG es una herramienta complementaria ampliamente utilizada en la consulta neurológica.

Para justificar esta definición, muchas empresas como "Neurocenter" [34], definieron también el EEG como una técnica no invasiva que permite medir la actividad eléctrica del cerebro.

Por lo tanto, se puede afirmar que el EEG es una técnica de monitoreo neurofisiológico que registra la actividad eléctrica del cerebro a través de electrodos colocados en el cuero cabelludo. Esta actividad eléctrica se origina principalmente de las neuronas piramidales en la corteza cerebral y se mide en términos de voltaje frente al tiempo. El EEG es utilizado para evaluar una variedad de condiciones neurológicas, como epilepsia, trastornos del sueño, encefalopatías, y para monitorear la profundidad de la anestesia en procedimientos quirúrgicos. La señal EEG se caracteriza por diferentes tipos de ondas cerebrales, categorizadas por su frecuencia, tales como las ondas delta, theta, alfa y beta, cada una asociada con diferentes estados del cerebro y funciones cognitivas.

Sabiendo esto, la página web "Mayo Clinic" [27] definió el proceso de obtención de los datos EEG de la siguiente manera:

1. La cabeza del paciente es medida y el cuero cabelludo es marcado con un lápiz especial para indicar la colocación de los electrodos.
2. Los electrodos se colocan sobre el cuero cabelludo con un adhesivo especial o una gorra elástica, y se conectan a un dispositivo que amplifica y registra las ondas cerebrales en una computadora.
3. Una vez colocados los electrodos, la prueba del electroencefalograma suele durar entre 20 y 40 minutos, pudiendo requerir más tiempo si es necesario dormir durante el procedimiento.
4. Durante la prueba, el paciente se relaja en una posición cómoda con los ojos cerrados. En varios momentos, se le solicitará que abra y cierre los ojos, realice cálculos simples, lea, observe imágenes, respire profundamente o mire una luz brillante.
5. Habitualmente, se graba un video durante el electroencefalograma para capturar los movimientos del cuerpo mientras se registran las ondas cerebrales. Este registro combinado ayuda en el diagnóstico y tratamiento de afecciones.

Siguiendo este procedimiento, el EEG se ha usado en muchos ámbitos como:

**Evaluación de trastornos neurológicos:** El EEG se utiliza para evaluar y diagnosticar una amplia gama de trastornos neurológicos, como la epilepsia, ciertos trastornos del sueño, los trastornos del movimiento, las enfermedades cerebrovasculares, las lesiones cerebrales o los trastornos del desarrollo neurológico. Un estudio publicado en Revere Health, [41] examina el uso del EEG en la localización de focos epilépticos para planificar la cirugía en pacientes con epilepsia refractaria. El EEG prolongado con monitorización de video es fundamental para identificar las regiones cerebrales responsables de las convulsiones, lo que ayuda en la decisión quirúrgica y en el pronóstico del tratamiento.

**Evaluación preoperatoria y durante cirugías cerebrales:** Antes de una cirugía cerebral, el EEG se utiliza para evaluar la relación entre la actividad eléctrica y las funciones cognitivas. Durante la cirugía, el EEG permite monitorear la actividad cerebral en tiempo real y detectar cualquier anomalía. Un estudio desarrollado en 2012 por Brandon Foreman y Jan Claassen, [17] explica la importancia del uso del EEG en el monitoreo de la actividad cerebral en tiempo real.

**Investigación neurocientífica:** El EEG se utiliza para estudiar procesos cognitivos, como la atención, la memoria, la percepción y el procesamiento del lenguaje. Además, también puede aportar información al investigar sobre el envejecimiento cerebral, el aprendizaje y la plasticidad neuronal. Esto ayuda a los cirujanos a evitar áreas críticas del cerebro que controlan funciones importantes como el habla y el movimiento. Un estudio presentado en Brain Sciences [4] analiza el uso de EEG y fMRI para entender cómo funciona el cerebro durante procesos cognitivos básicos como la atención, la memoria, la percepción y el procesamiento del lenguaje. Estas técnicas permiten una comprensión detallada de los mecanismos psicofisiológicos subyacentes a diferentes trastornos cerebrales, y cómo estas funciones pueden verse afectadas o mejoradas mediante diversas intervenciones.

**Neurociencia deportiva:** En este ámbito, el EEG permite a los investigadores evaluar el rendimiento cerebral y analizar las diferencias en la actividad eléctrica entre los atletas de alto rendimiento y personas que no realizan deporte a este nivel. Esta información posteriormente se podrá utilizar para mejorar el entrenamiento, la toma de decisiones tácticas o la rehabilitación de lesiones. Un estudio en 2016 desarrollado por Cheron, G et. al. [6] demuestra que las oscilaciones neuronales registradas mediante EEG pueden identificar biomarcadores de rendimiento deportivo. Por ejemplo, se han observado diferencias en la actividad eléctrica del cerebro de atletas de élite durante movimientos específicos, como el "sleep push" en hockey de campo, lo que ayuda a entender la relación entre la eficiencia cerebral y el rendimiento físico.

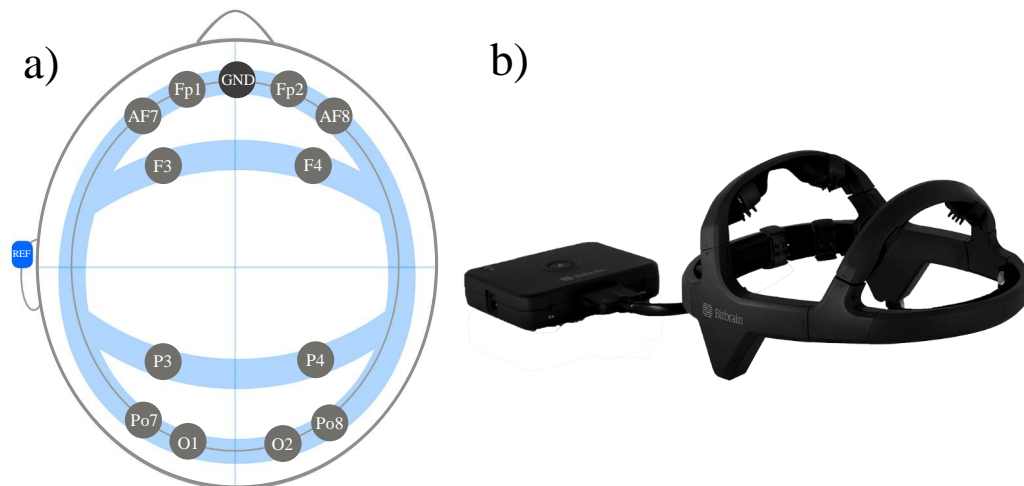
**Ingeniería del Software:** El EEG también se ha utilizado en la ingeniería del software para mejorar la interacción humano-computadora y optimizar el desarrollo de software. Mediante la monitorización de la actividad cerebral de los desarrolladores, los investigadores pueden identificar niveles de concentración, estrés y fatiga durante tareas complejas de programación. Esta información se emplea para diseñar interfaces de usuario más intuitivas y adaptar entornos de desarrollo que maximicen la productividad y el bienestar del programador. Además, el EEG permite evaluar la usabilidad de software y aplicaciones, asegurando que la experiencia del usuario sea lo más fluida y eficiente posible. También se ha explorado su uso en la creación de software que pueda adaptarse dinámicamente a las necesidades cognitivas del usuario en tiempo real, abriendo nuevas posibilidades en la personalización y adaptación de herramientas digitales. Un estudio de 2014 realizado por Mühl C, Jeunet C y Lotte F [31], donde se aborda la estimación de la carga de trabajo usando señales EEG, que resulta ser una herramienta sensible para adaptar la interacción humano-computadora al estado del usuario. Otro estudio relacionado es el publicado en 2012 por Sourina, O. et. al. [45] En el se discute cómo los dispositivos modernos de EEG y los avances en algoritmos de reconocimiento de patrones se han integrado en interfaces cerebro-computadora. Con todo esto, se permite una personalización en tiempo real de las herramientas digitales basadas en los estados cerebrales del usuario, mejorando la eficiencia y la experiencia del usuario en entornos de software.



## 2.2 Casco neuronal

Como se ha mencionado anteriormente, la obtención del EEG, se hace mediante el uso de electrodos, colocados de manera que se puedan obtener las ondas EEG. Para estos procesos, en lugar de hacer el proceso de marcar las zonas en el cuero cabelludo y poner los electrodos, como se ha descrito anteriormente en el proceso EEG, existen dispositivos capaces de captar estas señales sin necesidad de realizar el proceso previo.

Empresas especializadas en la neurociencia como BitBrain, han desarrollado estos tipos de cascos para hacer el proceso de EEG más cómodo y rápido. En particular, el casco neuronal utilizado en el experimento es el modelo "Diadem" [13] de la empresa Bitbrain, donde se muestra en la Figura 2.1 b. Este casco está equipado con 14 electrodos de sensores secos, como se puede apreciar en la Figura 2.1 a, que permiten la captura de señales electroencefalográficas (EEG) a través de 12 canales. La disposición de estos electrodos está diseñada para facilitar la toma de datos de la actividad cerebral de manera precisa y con mínima interferencia del ruido externo. Además, el casco está conectado a un amplificador con una resolución de 24 bits y una frecuencia de muestreo de 256 Hz, lo que mejora la calidad de las señales recogidas.



**Figura 2.1:** a) Distribución de electrodos en el casco de BitBrain. b) Casco neuronal de BitBrain. [2]

Este casco es capaz de obtener señales de ondas de 0 a 30 Hz, pudiendo recolectar estos datos y posteriormente, con un software especializado, procesar estos datos y obtener métricas cognitivo-emocionales como puede ser la implicación o la memorización.

## 2.3 Ondas y métricas

Las ondas cerebrales tienen distintas propiedades como la frecuencia, la intensidad, etc. y gracias al análisis de las mismas se pueden obtener distintas métricas cognitivo-emocionales. Muchas páginas web como es el caso de NeuroFeedBack [33] y la facultad de medicina de UNAM [51], definen y ubican las frecuencias de ondas cerebrales que se podrían obtener con el EEG de la siguiente manera:

- **Ondas Delta [frecuencia de 0.1-4 Hz].** Las ondas Delta, situadas en su gran mayoría en la corteza cerebral, son frecuencias muy lentas pero de mayor amplitud, características del sueño profundo y predominantes durante el descanso. También se observan en estados de meditación. La producción de estas ondas coincide con

la regeneración y restauración del Sistema Nervioso Central, haciendo que el sueño sea reparador.

- **Ondas Theta [frecuencia de 4-7 Hz].** Las ondas Theta, situadas principalmente en el hipocampo y la corteza entorrinal, predominan cuando los sentidos procesan información interna y el individuo se encuentra desconectado del mundo exterior, como en estados de ensimismamiento o meditación profunda. Son esenciales durante el aprendizaje y la memoria, y se producen en la transición entre la vigilia y el sueño.

Estas ondas se generan en estados de intuición o al procesar información inconsciente, como traumas, pesadillas o miedos.

- **Ondas Alfa [frecuencia de 7-12 Hz].** Las ondas Alfa, producidas principalmente en las regiones occipitales y parietales del cerebro, predominan cuando el Sistema Nervioso Central se encuentra en reposo, relajado pero despierto y atento. Un déficit de alfa puede dificultar la relajación. En este estado, el cerebro está en ralentí, preparado para la acción si fuera necesario.

Esta frecuencia contribuye a la coordinación mental, la integración mente/cuerpo, la calma y la alerta. Además, el cerebro utiliza las ondas alfa como gratificación después de una tarea bien realizada, conocido como Post Reinforcement Synchronization, proporcionando una sensación de éxito y preparación para futuras tareas.

- **Ondas Beta [frecuencia de 13-30 Hz].** Las ondas Beta, generadas en la corteza prefrontal, predominan durante el periodo de vigilia y se manifiestan cuando la atención está dirigida a tareas cognitivas externas, a diferencia de las ondas Theta que surgen en estados cognitivos internos. Estas frecuencias rápidas están presentes cuando estamos atentos, resolviendo problemas cotidianos, tomando decisiones o concentrados en diversas tareas.
- **Ondas Gamma [frecuencia de 30-100 Hz].** Las ondas Gamma, situadas en diversas áreas corticales superiores, son las más rápidas y se producen en ráfagas cortas. Están relacionadas con el procesamiento simultáneo de información en varias áreas del Sistema Nervioso Central. Estas ráfagas se observan cuando el cerebro está en un estado de alta resolución, como durante el cálculo de una fórmula matemática. También se manifiestan en estados de espiritualidad, altruismo, amor y otros estados de virtualidad. Las ondas Gamma modulan las percepciones y la consciencia, y desaparecen durante la anestesia.

Para visualizar como se mostrarían las ondas, se puede apreciar la Figura 2.2, donde todas las ondas están representadas con sus respectivas gráficas.

A partir de la información recopilada mediante el proceso descrito, es posible extraer varias métricas cognitivas relevantes para estudios como este proyecto. Estas métricas son particularmente útiles en el campo del neuromarketing, donde se aplican para evaluar cómo captar la atención del público objetivo y determinar su reacción hacia los productos ofrecidos. Un ejemplo destacado de la aplicación de estas técnicas se encuentra en "Neuromarketing For Dummies" [22] de Stephen J. Genco, que ilustra cómo los principios de neurociencia pueden ser integrados en estrategias de marketing, facilitando la comprensión de las métricas más relevantes. A continuación, se presentan las métricas más relevantes que explicó:

- **Atracción:** Se puede evaluar observando la activación de ciertas áreas cerebrales o patrones de actividad cuando los sujetos son expuestos a estímulos. Por ejemplo, incrementos en la actividad en la corteza prefrontal pueden indicar un mayor interés o atracción hacia un producto o un estímulo.

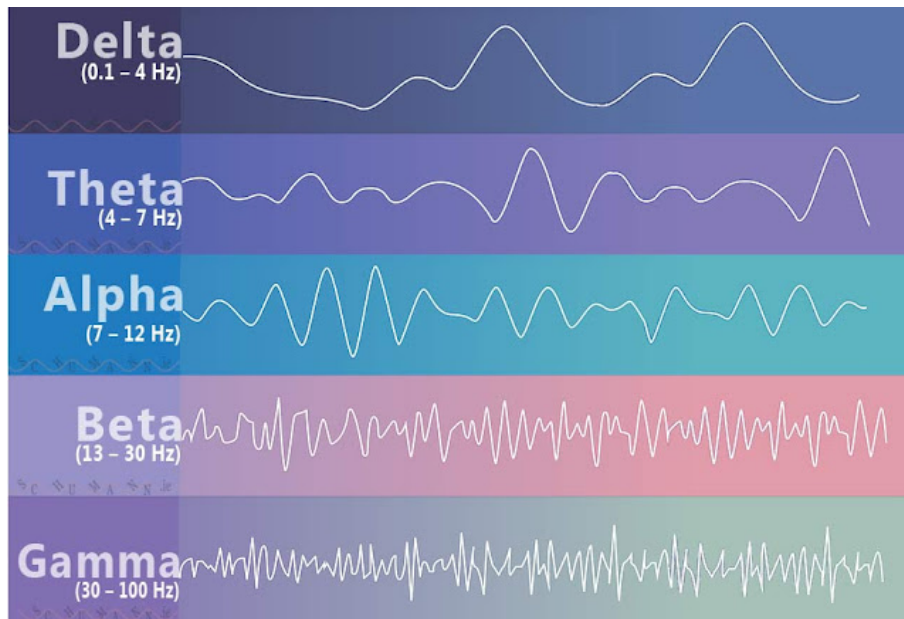


Figura 2.2: Tipos de ondas [48].

- **Memorización:** La memorización se puede medir observando los potenciales evocados y la actividad en las regiones del cerebro asociadas con la memoria, como el hipocampo. Una mayor actividad en estas áreas durante la exposición a un estímulo puede sugerir una mejor memorización del mismo.
- **Implicación:** El grado de compromiso o engagement puede ser estimado mediante la medición de la actividad en bandas de frecuencia específicas. Por ejemplo, una alta actividad en la banda beta puede indicar un mayor enfoque y atención.
- **Emoción:** La respuesta emocional puede ser analizada mediante la observación de la asimetría en la actividad frontal. La actividad predominante en el hemisferio izquierdo puede asociarse con emociones positivas, mientras que la actividad en el derecho puede indicar emociones negativas.
- **Carga Cognitiva:** La carga cognitiva se refiere a la cantidad de recursos mentales que se están utilizando. Esto puede evaluarse a través de la actividad en la banda theta, especialmente en la corteza frontal.
- **Sorpresa:** La sorpresa o el impacto inesperado de un estímulo pueden ser detectados por cambios abruptos en la actividad cerebral, particularmente en las bandas de frecuencia alta como la gamma, que sugieren un alto procesamiento cognitivo.
- **Fatiga:** Se puede estimar la fatiga observando la disminución de la actividad en las bandas de alta frecuencia (como beta y gamma) y el aumento en las bandas de baja frecuencia (como delta y theta). Esto puede ser un indicativo de la disminución de la alerta y el aumento de la somnolencia.

En el marco de este proyecto, se ha optado por concentrar los esfuerzos en analizar las métricas de Atracción, Memorización, Engagement y Carga Cognitiva. Esta elección se fundamenta en las posibilidades que ofrece el casco neuronal que se ha utilizado y en la necesidad de diseñar interfaces que no solo sean intuitivas y sencillas de utilizar, sino que también minimicen la carga cognitiva requerida por los usuarios. De igual importancia es el desarrollo de interfaces visualmente atractivas, capaces de captar el interés y la

aprobación del usuario. El objetivo es crear una experiencia de usuario que sea tanto estéticamente placentera como funcionalmente eficiente, fomentando así un mayor interés y mejor retención de la información presentada.

## 2.4 Machine Learning Pipeline

Para la obtención de estas métricas, algunos estudios como el desarrollado por Samal, P., y Hashmi, M. F. [43], donde destacan cómo las técnicas de ML y deep learning, como la fusión de características y la fusión de decisiones, pueden mejorar significativamente la precisión del reconocimiento de emociones a partir de señales EEG en sistemas BCI; avalan la posibilidad de usar el ML. Con ello, existe un proceso llamado "Machine Learning Pipeline" [26], el cual se define como una secuencia estructurada de etapas de procesamiento y modelado de datos que están meticulosamente interconectadas. Estas etapas están diseñadas con el propósito específico de automatizar, estandarizar y optimizar el proceso integral que abarca la creación, entrenamiento, evaluación e implementación de modelos de aprendizaje automático.

Este proceso desempeña un papel crucial en el desarrollo y la producción de sistemas de aprendizaje automático avanzados. Facilita la labor de los científicos de datos y los ingenieros de datos al proporcionar un marco organizado que gestiona la complejidad del proceso de aprendizaje automático de extremo a extremo. Además, este proceso ayuda a los profesionales en el campo a desarrollar soluciones precisas y escalables que son aplicables a una amplia gama de necesidades y contextos de aplicación.

Al implementar canalizaciones de aprendizaje automático, las organizaciones pueden asegurar una mayor coherencia y eficiencia en el desarrollo de modelos, lo que resulta en una implementación más rápida y efectiva de soluciones basadas en inteligencia artificial. Esto no solo aumenta la capacidad de adaptación de las empresas a las necesidades cambiantes del mercado, sino que también mejora significativamente la calidad y el rendimiento de los sistemas de aprendizaje automático que desarrollan.

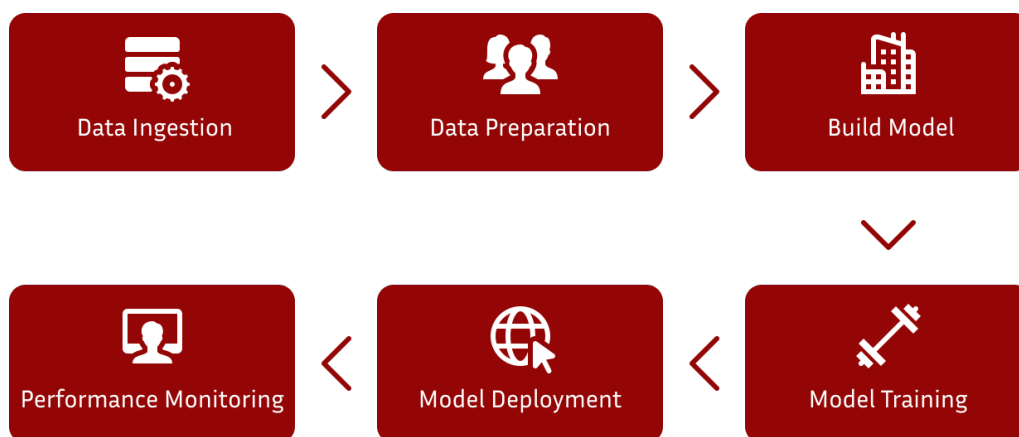


Figura 2.3: Fases del Machine Learning Pipeline

Como se puede apreciar en la Figura 2.3, el Machine Learning Pipeline se compone de las siguientes fases:

1. **Recopilación de datos (*Data ingestion*):** En esta etapa inicial, se recolectan datos nuevos provenientes de múltiples fuentes, tales como bases de datos, APIs o archivos. Esta ingesta de datos a menudo incluye datos sin procesar que podrían requerir preprocesamiento para convertirlos en útiles.

2. **Preprocesamiento de datos (*Data preparation*):** Esta fase implica la limpieza, transformación y preparación de los datos de entrada para el modelado. Los procesos comunes en esta etapa incluyen el manejo de valores ausentes, la codificación de variables categóricas, el escalado de características numéricas y la segmentación de los datos en conjuntos para entrenamiento y pruebas.
3. **Selección del modelo (*Build model*):** En esta etapa, se seleccionan los algoritmos de aprendizaje automático más adecuados según el tipo de problema (por ejemplo, clasificación o regresión), las características de los datos y los requisitos de rendimiento. Este proceso puede incluir también el ajuste de hiperparámetros.
4. **Entrenamiento y evaluación del modelo (*Model training*):** Los modelos seleccionados se entrenan utilizando el conjunto de datos de entrenamiento y los algoritmos escogidos. Este proceso implica identificar y aprender los patrones y relaciones subyacentes en los datos de entrenamiento. También es posible utilizar modelos pre-entrenados en lugar de desarrollar uno nuevo.  
Tras el entrenamiento, se evalúa el rendimiento del modelo usando un conjunto de datos de prueba independiente o mediante técnicas de validación cruzada. Las métricas de evaluación varían según el problema específico, pero pueden incluir exactitud, precisión, sensibilidad, puntuación F1, error cuadrático medio, entre otros.
5. **Despliegue del modelo (*Model deployment*):** Una vez que el modelo ha sido desarrollado y evaluado satisfactoriamente, se despliega en un entorno de producción donde puede realizar predicciones sobre datos nuevos. El despliegue puede requerir el desarrollo de APIs y la integración con otros sistemas.
6. **Supervisión y mantenimiento (*Performance monitoring*):** Posterior al despliegue, es crucial supervisar de forma continua el rendimiento del modelo y reentrenarlo según sea necesario para adaptarse a los cambios en los patrones de datos. Este paso asegura que el modelo mantenga su precisión y fiabilidad en un entorno operativo real.

## 2.5 Data Augmentation

---

En muchos casos, existe la posibilidad de que el dataset para el entrenamiento de un módulo de ML no contenga suficientes datos o no tenga una variedad significativa de los datos que se requieren. En estos casos, aparece el proceso de aumento de datos denominado "*Data Augmentation*".

El *Data Augmentation* [49] [8] es una técnica que se utiliza para aumentar el tamaño y la diversidad de un conjunto de datos de entrenamiento mediante la creación de versiones modificadas de los datos existentes. En el caso de señales u ondas, esto puede incluir transformaciones como desplazamiento temporal, adición de ruido, cambio de frecuencia, o alteración de la amplitud. El objetivo es exponer al modelo a una variedad más amplia de patrones y características durante el entrenamiento, mejorando así su capacidad para generalizar a nuevas señales que no ha visto antes, y reduciendo el riesgo de sobreajuste.

En el presente trabajo, los datos en crudo son extraídos de ondas cerebrales, por lo que se tuvo que realizar procesos de *Data Augmentation* específicos para ondas. Dos de los más usados son el ruido gaussiano y el aumento de escala.

### 2.5.1. Ruido Gaussiano

El *ruido gaussiano* consiste en agregar ruido aleatorio a las señales de entrada. Este ruido sigue una distribución gaussiana o normal, lo que significa que la mayoría de los valores del ruido estarán cerca de la media (generalmente 0) y habrá menos valores extremos a medida que nos alejamos de la media.

El principal objetivo de añadir ruido gaussiano es hacer que el modelo sea más robusto y generalizable, al entrenarlo en datos que no son idénticos pero están relacionados con los datos reales. En entornos del mundo real, las señales pueden estar afectadas por interferencias o ruido, por lo que añadir ruido gaussiano ayuda a simular esta variabilidad.

Para la implementación de añadir el ruido gaussiano, se procedió de la siguiente manera:

- **Generar una señal de ruido gaussiano:** en este caso se generó una señal de 0.01.
- **Sumar la señal de ruido a la señal original.**
- **Utilizar la señal ruidosa resultante como un nuevo ejemplo de entrenamiento.**

El resultado es una señal ligeramente diferente de la original, que el modelo debe aprender a manejar, ayudando a mejorar su rendimiento en condiciones reales.

### 2.5.2. Aumento de escala (*Scaling*)

El *aumento de escala* es una técnica de *Data Augmentation* donde la señal original se escala, es decir, se multiplica por un factor constante. Esta técnica puede modificar tanto la amplitud como la energía total de la señal.

Al modificar la escala de la señal, el modelo aprende a reconocer patrones en señales de diferente amplitud, lo que es útil en situaciones donde la intensidad de la señal puede variar. Ayuda al modelo a ser más robusto a cambios en la intensidad de la señal, lo que puede ocurrir en aplicaciones prácticas.

Para la implementación de añadir un aumento de escala, se procedió de la siguiente manera:

- **Seleccionar un factor de escala aleatorio dentro de un rango razonable:** en este caso se cogió un factor del 1.1.
- **Multiplicar la señal original por este factor de escala.**
- **Utilizar la señal escalada como un nuevo ejemplo de entrenamiento.**

Esta técnica genera versiones de la señal con diferentes niveles de intensidad, lo cual enriquece el conjunto de datos de entrenamiento y mejora la capacidad del modelo para manejar variaciones en la entrada.

## 2.6 Tipos de Machine Learning

---

En el trabajo previo se hablaba de seguir un modelo de regresión, en particular, hacer uso de redes neuronales para el desarrollo de los módulos de ML. Sin embargo, no hay solo un tipo de modelo de regresión. También hay otros como pueden ser el árbol de decisión o la máquina de vectores de soporte.

### 2.6.1. Árbol de decisión

Los *árboles de decisión* [53] son un método de aprendizaje supervisado no paramétrico que se utiliza tanto para clasificación como para regresión. Su objetivo es crear un modelo que prediga el valor de una variable objetivo mediante la aplicación de reglas de decisión simples basadas en las características del conjunto de datos. Los árboles de decisión son fáciles de entender e interpretar, requieren poca preparación de los datos y pueden manejar tanto datos numéricos como categóricos. Sin embargo, pueden generar árboles demasiado complejos que no generalizan bien, lo que lleva al sobreajuste. Además, los árboles de decisión pueden ser inestables, ya que pequeñas variaciones en los datos pueden resultar en un árbol completamente diferente. Para mitigar estos problemas, se suelen utilizar en combinación con técnicas de ensamblado (ensemble learning).

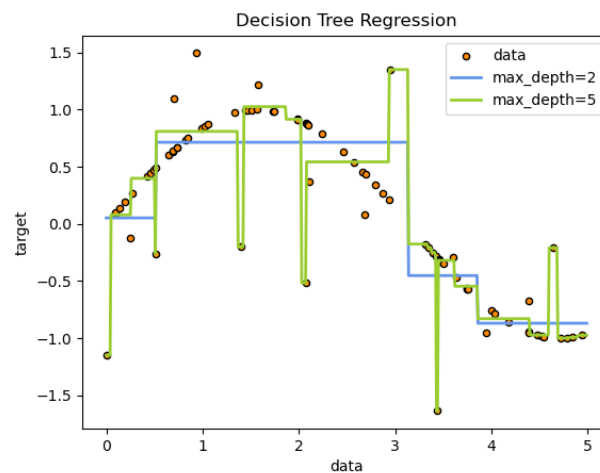


Figura 2.4: Algoritmo del árbol de decisión [53].

En la Figura 2.4, se puede observar el algoritmo del árbol de decisión.

### 2.6.2. Redes neuronales

Las *redes neuronales de perceptrón multicapa* (MLP) [40] son un algoritmo de aprendizaje supervisado que aprende una función al entrenarse con un conjunto de datos. A diferencia de la regresión logística, las MLP pueden tener una o más capas no lineales, llamadas capas ocultas, entre la capa de entrada y la capa de salida. Cada neurona en una capa oculta transforma los valores de la capa anterior mediante una suma ponderada seguida de una función de activación no lineal, como la función tangente hiperbólica. Esto permite que las MLP aprendan funciones no lineales y las apliquen tanto en problemas de clasificación como de regresión. Las redes MLP son especialmente útiles para modelar relaciones complejas y no lineales en los datos.

En la Figura 2.5 se ilustra la base del algoritmo de redes neuronales.

### 2.6.3. Máquina de vectores de soporte

Las *máquinas de vectores de soporte* (SVM) [30] son un conjunto de métodos de aprendizaje supervisado utilizados para clasificación, regresión y detección de anomalías. Las SVM son efectivas en espacios de alta dimensión y funcionan bien incluso cuando el número de dimensiones es mayor que el número de muestras. Utilizan un subconjunto de puntos de entrenamiento llamados vectores de soporte, lo que las hace eficientes

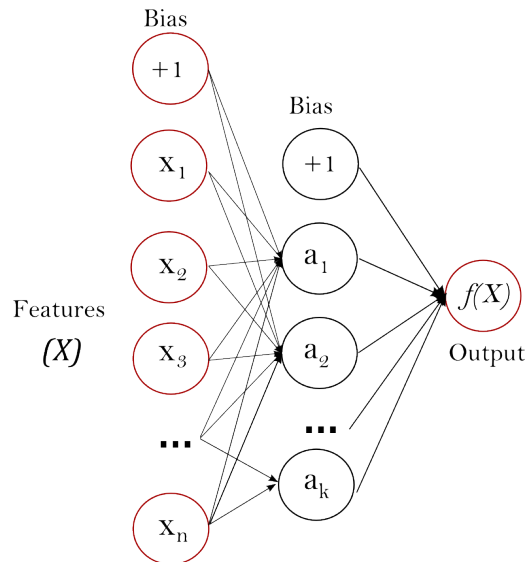


Figura 2.5: Capas de redes neuronales [40].

en términos de memoria. Además, son versátiles, ya que permiten especificar diferentes funciones Kernel para la función de decisión, con la posibilidad de usar Kernels personalizados.

Sin embargo, las SVM presentan algunas desventajas. Cuando el número de características es mucho mayor que el número de muestras, es crucial evitar el sobreajuste eligiendo cuidadosamente la función Kernel y el término de regularización. Además, las SVM no proporcionan estimaciones de probabilidad de manera directa, lo que requiere un proceso costoso de validación cruzada para calcularlas. También, para predecir datos dispersos, la SVM debe haberse ajustado en tales datos, lo que requiere un uso óptimo de matrices específicas para un mejor rendimiento.

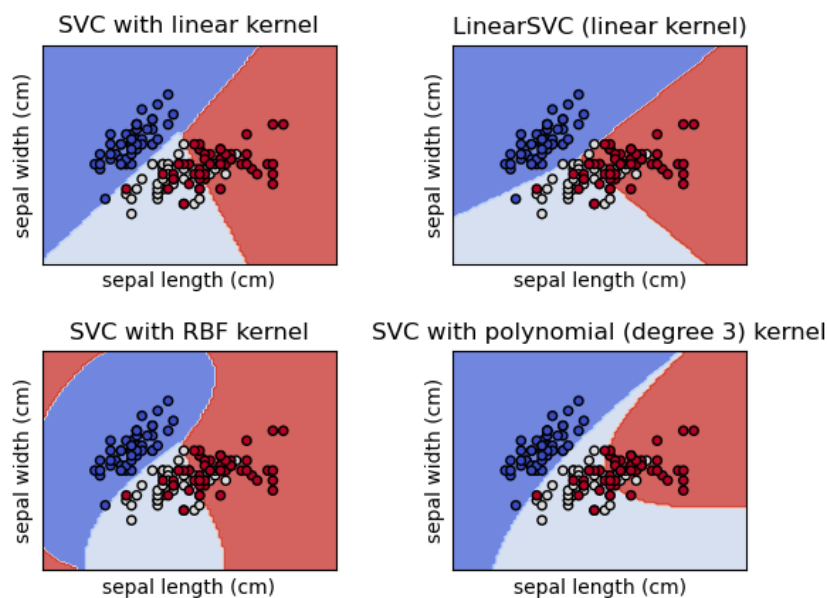


Figura 2.6: Tipos de máquina de vectores de soporte [30].



En la Figura 2.6 se presentan diferentes tipos de algoritmos de máquinas de vectores de soporte.

## 2.7 Métricas de evaluación de modelos

A la hora de comprobar el correcto funcionamiento de los módulos de ML, existen distintas métricas que calculan su exactitud. Algunas de las métricas más usadas son las siguientes.

### 2.7.1. Coeficiente de determinación ( $R^2$ )

La métrica de evaluación  $R^2$  (R cuadrado) [42], también conocida como el *coeficiente de determinación*, mide la proporción de la varianza en la variable dependiente (Y) que es explicada por las variables independientes (X) en un modelo de regresión.

El  $R^2$  se calcula con la siguiente fórmula:

$$R^2 = 1 - \frac{\text{Suma de los residuos al cuadrado (SSR)}}{\text{Suma total de los cuadrados (SST)}}$$

Donde:

- $SSR$  es la suma de los cuadrados de los residuos, es decir, la suma de las diferencias al cuadrado entre los valores observados y los valores predichos por el modelo.
- $SST$  es la suma total de los cuadrados, es decir, la suma de las diferencias al cuadrado entre los valores observados y la media de los valores observados.

El valor de  $R^2$  varía entre 0 y 1:

- Un  $R^2$  de 1 indica que el modelo explica toda la variabilidad de la variable dependiente.
- Un  $R^2$  de 0 indica que el modelo no explica ninguna variabilidad de la variable dependiente.
- Un valor intermedio indica qué proporción de la variabilidad está explicada por el modelo.

### 2.7.2. Error medio absoluto (MAE)

El MAE (Mean Absolute Error o Error Medio Absoluto) [42], es una métrica de evaluación que mide el promedio de los errores absolutos entre los valores predichos por un modelo y los valores observados. Es decir, el MAE indica, en promedio, cuánto se desvía la predicción del modelo con respecto a los valores reales.

La fórmula para calcular el MAE es:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|$$

Donde:

- $n$  es el número de observaciones.

- $y_i$  es el valor observado (real) para la  $i$ -ésima observación.
- $\hat{y}_i$  es el valor predicho por el modelo para la  $i$ -ésima observación.
- $|y_i - \hat{y}_i|$  es el valor absoluto del error para la  $i$ -ésima observación.

El MAE es una métrica que se expresa en las mismas unidades que los datos que se están prediciendo, lo que facilita su interpretación. Un MAE más bajo indica un mejor rendimiento del modelo, ya que significa que, en promedio, las predicciones están más cerca de los valores reales.

### 2.7.3. Error absoluto mediano (MedAE)

El MedAE (Median Absolute Error o Error Absoluto Mediano) [28], es una métrica de evaluación que mide la mediana de los errores absolutos entre las predicciones del modelo y los valores observados. A diferencia del MAE, que calcula el promedio de los errores absolutos, el MedAE toma la mediana, lo que lo hace menos sensible a valores atípicos (outliers).

La fórmula para calcular el MedAE es:

$$\text{MedAE} = \text{mediana}(|y_1 - \hat{y}_1|, |y_2 - \hat{y}_2|, \dots, |y_n - \hat{y}_n|)$$

Donde:

- $y_i$  es el valor observado para la  $i$ -ésima observación.
- $\hat{y}_i$  es el valor predicho por el modelo para la  $i$ -ésima observación.
- $|y_i - \hat{y}_i|$  es el valor absoluto del error para la  $i$ -ésima observación.
- La mediana es el valor que separa la mitad inferior de la mitad superior de la lista ordenada de errores absolutos.

El MedAE es útil cuando se desea una medida robusta de error que no sea afectada por unos pocos errores grandes, como sucede con el MAE. Un valor más bajo de MedAE indica un mejor ajuste del modelo, ya que implica que la mayoría de las predicciones están cerca de los valores reales.



---

---

## CAPÍTULO 3

# Trabajos relacionados

---

Como se ha mostrado previamente, el EEG es muy usado en muchos ámbitos, abarcando el marketing, la medicina o la ingeniería del software. En esta sección, se revisarán diferentes estudios anteriores que han empleado esta tecnología, seguido de una comparación con el software que se desarrollará en el marco de este proyecto.

### 3.1 BWAnalysis

---

BWAnalysis [5] es una herramienta de medición que permite al usuario seleccionar un área específica en el EEG para mostrar la frecuencia o la amplitud de la función de espectrograma EEG para seleccionar canales específicos, permitiendo la visualización y análisis de amplitud de frecuencias dominantes, mediante gráficas. Permite la sincronización HD de video y es compatible con Windows 7 a 10. Además, es capaz de sincronizar el sistema de video EEG con el estudio realizado. Es muy usado en ámbitos como:

- **Neurología.** Aquí se emplea para registrar y analizar las ondas cerebrales en diversas condiciones neurológicas, incluyendo epilepsia, trastornos del sueño, y otras afecciones neurológicas.
- **Medicina del Sueño.** Se utiliza en estudios de sueño para monitorizar múltiples parámetros fisiológicos durante el sueño, como actividad cerebral, movimientos oculares, tono muscular, y respiración. Es esencial para el diagnóstico de trastornos del sueño como apnea del sueño y insomnio.
- **Cuidados Intensivos (UCI).** En las unidades de cuidados intensivos, BWAnalysis se usa para la monitorización continua de pacientes críticos, permitiendo el seguimiento detallado de la actividad cerebral y otros parámetros vitales.
- **Investigación Clínica.** BWAnalysis se utiliza en estudios clínicos para recopilar y analizar datos neurofisiológicos, contribuyendo a la investigación y desarrollo de nuevos tratamientos y terapias.

Una de sus principales interfaces sería la mostrada en la Figura 3.1, donde se puede apreciar las gráficas de las distintas señales que estarían captando los electrodos repartidos por la cabeza del usuario. Esto sería un claro ejemplo de cómo se podría usar el EEG.

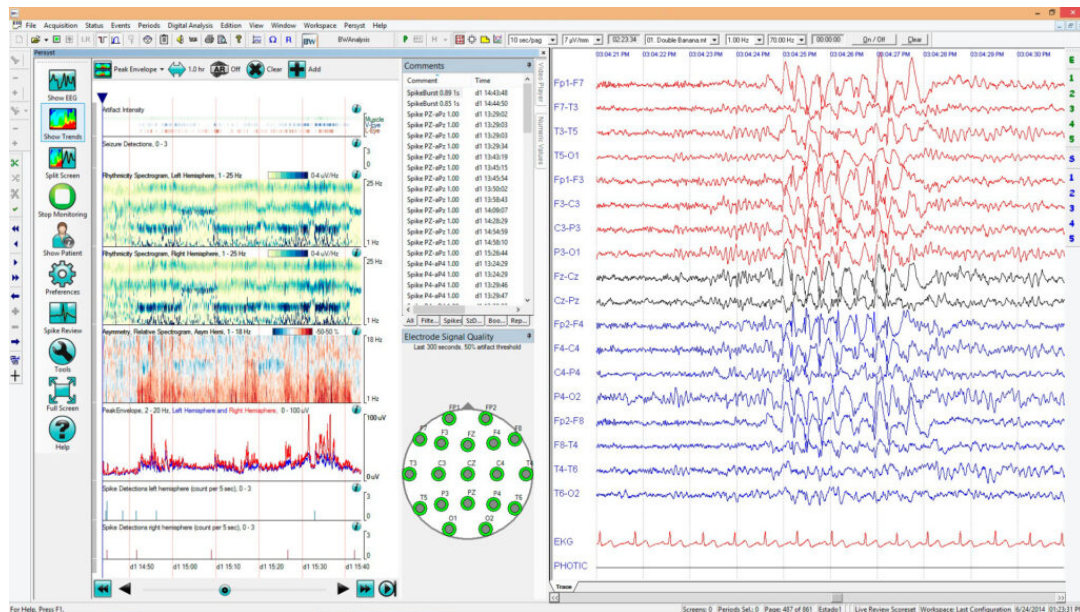


Figura 3.1: Interfaz de BWAnalysis [9]

## 3.2 Reaction Time

La herramienta de Reaction Time [39] se utiliza principalmente para medir y mejorar el tiempo de reacción de una persona ante un estímulo específico. Este tipo de software se aplica en diversas áreas como la investigación psicológica, el entrenamiento deportivo y el ámbito clínico.

Reaction Time Suite perfecciona los protocolos tradicionales de Pruebas Continuas de Rendimiento (CPT), que incluyen variantes simple, variable y de elección, mediante la integración de datos de tiempo de reacción con registros sincronizados de EEG y otros parámetros fisiológicos. Esta integración permite una correlación directa entre el tipo de respuesta y la actividad cerebral y fisiológica subyacente. Facilita la realización de análisis detallados sobre eventos individuales o datos agrupados por categorías de grupos, permitiendo la comparación de EEG, EMG y respuestas fisiológicas durante respuestas correctas e incorrectas, así como errores de omisión y comisión.

Esta herramienta se usa en ámbitos como:

- **Investigación Psicológica.** Se usa para medir tiempos de reacción en estudios sobre la percepción y el procesamiento cognitivo.
- **Entrenamiento Deportivo.** Programas como ReacTime Training Software están diseñados para atletas, permitiéndoles medir y mejorar sus tiempos de reacción, cruciales en deportes de alta velocidad como el atletismo.
- **Evaluación y Mejora en Juegos.** Herramientas en línea como Aim Trainer y ReactionTest.io son populares entre jugadores para mejorar sus tiempos de reacción, lo cual es crucial para el rendimiento en juegos competitivos. Estas herramientas permiten practicar y medir el tiempo de respuesta ante estímulos visuales y auditivos.
- **Aplicaciones Clínicas y de Diagnóstico.** Software como el de FinishLynx se utiliza para medir y analizar tiempos de reacción en contextos clínicos, ayudando a diagnosticar y tratar condiciones neurológicas donde los tiempos de reacción son un factor relevante.

La Figura 3.2 muestra una de las interfaces de la aplicación, donde se presenta distintas métricas sobre un estudio que se ha realizado a lo que parece ser un deportista. Junto con estas métricas también se pueden observar gráficas de lo que sería el estudio del EEG.

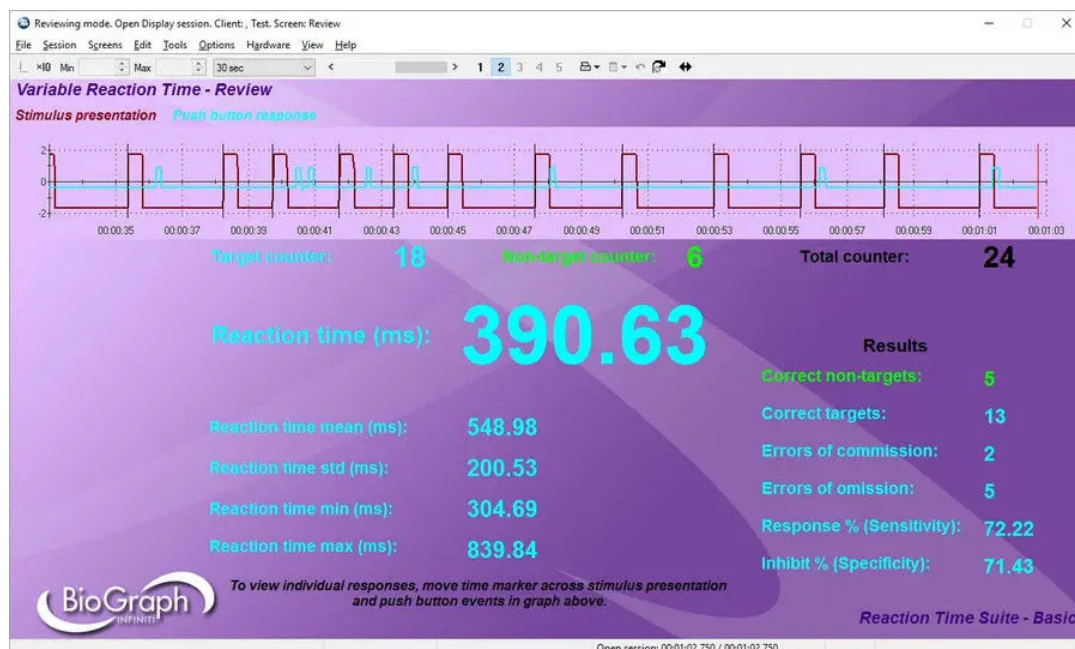


Figura 3.2: Interfaz de Reaction Time Suite [39]

### 3.3 OpenBCI

La interfaz gráfica de usuario de OpenBCI [35] ha sido diseñada para visualizar datos de cada uno de los dispositivos, incluyendo Ganglion, Cyton, y Cyton con Daisy. Esta interfaz funciona como una aplicación nativa compatible con sistemas operativos macOS, Windows y Linux. Entre sus características se incluyen filtros avanzados y otras herramientas de procesamiento de datos, que permiten la limpieza y el manejo eficiente de los datos brutos en tiempo real. Adicionalmente, proporciona un sistema de red que facilita la transferencia de datos desde la GUI hacia otras aplicaciones mediante protocolos como UDP, OSC, LSL y Serial.

La interfaz también incorpora un marco de widgets configurable, que posibilita a los usuarios la creación de experimentos personalizados. Asimismo, ofrece la capacidad de guardar los datos recogidos en un archivo, para su posterior procesamiento fuera de línea. Utilizar la GUI de OpenBCI permite al usuario no solo visualizar y manejar de manera efectiva su dispositivo OpenBCI, sino también expandir y adaptar el robusto marco subyacente para desarrollar e implementar innovaciones propias.

Se utiliza en diversos ámbitos debido a su flexibilidad, capacidad de personalización y compatibilidad con diferentes tipos de hardware y software. Los principales ámbitos de uso de esta herramienta serían los siguientes:

- **Investigación Científica y Neurociencia.** Se utiliza para capturar y analizar señales cerebrales en estudios de neurociencia, permitiendo a los investigadores explorar patrones de actividad cerebral relacionados con diferentes estados cognitivos y comportamentales.

- **Desarrollo de Interfaces Cerebro-Computadora (BCI).** OpenBCI permite el desarrollo de interfaces que interpretan señales cerebrales para controlar dispositivos externos, como prótesis, sillas de ruedas, y otros dispositivos asistivos, mejorando la calidad de vida de personas con discapacidades.
- **Neurofeedback y Neuroterapia.** Utilizado en terapias de neurofeedback donde los pacientes aprenden a autorregular su actividad cerebral para mejorar condiciones como ansiedad, TDAH y otros trastornos neurológicos mediante retroalimentación en tiempo real.
- **Investigación en Psicología y Ciencias Cognitivas.** Se emplea en investigaciones sobre percepción, atención, memoria y otros procesos cognitivos, permitiendo una comprensión más profunda de cómo funciona el cerebro humano en diferentes contextos.

La interfaz de OpenBCI se puede ver en la Figura 3.3, donde se puede apreciar un mapa de calor con las zonas activas del cerebro en una parte determinada del experimento. Además, este software puede extraer a partir de los datos EEG la implicación del usuario mientras realizaba la tarea experimental. Con esto se puede demostrar que ya hay investigaciones y herramientas donde se usan ya métricas cognitivas para ver el estado mental de los usuarios en distintas actividades.



Figura 3.3: Interfaz de OpenBCI [11]

### 3.4 Natus NeuroWorks

La última solución de software que se va ha investigado es de Natus NeuroWorks [32]. Este es un software avanzado diseñado para la adquisición, visualización, y análisis de datos neurofisiológicos en entornos clínicos y de investigación. Esta herramienta forma parte de los sistemas de neurodiagnóstico ofrecidos por Natus Medical Incorporated,



una compañía especializada en equipos médicos para neurología. NeuroWorks se utiliza principalmente en el contexto de estudios de electroencefalografía (EEG), permitiendo a los profesionales de la salud monitorizar y analizar la actividad eléctrica cerebral de forma eficiente.

El software ofrece una amplia gama de funciones que incluyen la recopilación de datos en tiempo real, la revisión de datos históricos, amplias capacidades de anotación y marcado, así como opciones de análisis avanzadas.

Se utiliza en una variedad de ámbitos dentro de la neurología y la medicina del sueño. Los principales campos de aplicación serían:

- **Neurología Clínica.** Se usa para realizar electroencefalogramas rutinarios en clínicas y hospitales. Este software permite una monitorización eficiente y precisa de la actividad cerebral, lo cual es esencial para el diagnóstico de trastornos neurológicos como la epilepsia.
- **Medicina del Sueño.** Natus NeuroWorks se emplea en la realización de estudios del sueño para diagnosticar trastornos como la apnea del sueño, insomnio, y otros trastornos del sueño. El software permite una monitorización integral de múltiples parámetros fisiológicos durante el sueño.
- **Investigación y Educación.** Natus NeuroWorks se utiliza en estudios de investigación para explorar diversas condiciones neurológicas y del sueño. Su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos y proporcionar análisis detallados lo hace ideal para entornos de investigación académica y clínica.
- **Terapia y Tratamiento.** El software es útil en programas de neuroterapia donde se monitorea la actividad cerebral de los pacientes para proporcionar retroalimentación en tiempo real y ayudar en el tratamiento de diversas condiciones neurológicas y psicológicas.

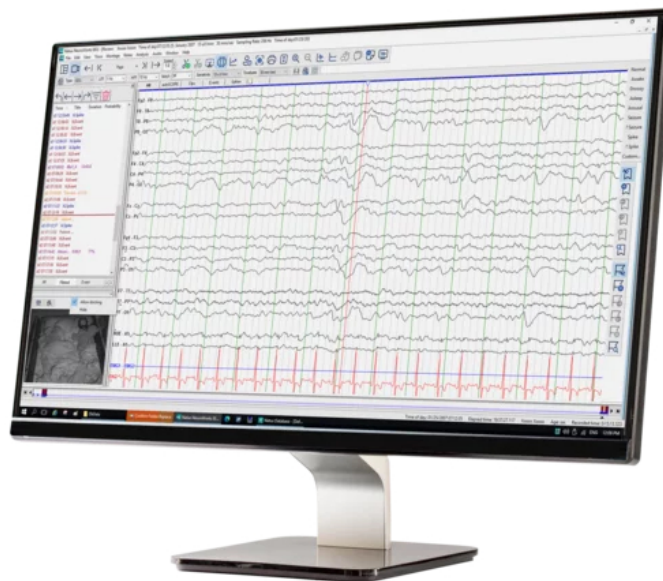


Figura 3.4: Interfaz de Natus NeuroWorks [32]

La interfaz de Natus NeuroWorks es la mostrada en la Figura 3.4. En esta se puede apreciar los resultados de un experimento a un usuario mostrados en distintas gráficas.



---

## 3.5 Comparación

---

Para concluir este análisis, es importante destacar que los productos de software revisados, a pesar de su alta demanda en el mercado, se orientan predominantemente hacia aplicaciones médicas o estudios psicológicos. Frente a esta realidad, se ha desarrollado una herramienta enfocada en el ámbito de investigación y diseñada para facilitar el procesamiento de señales EEG obtenidas con el casco neuronal Diadem de BitBrain y entender los diversos estímulos que afectan al cerebro humano, sin la necesidad de especialización en un entorno médico. Además, todo aquel que pueda tener acceso a cualquier casco con los electrodos que usa la aplicación desarrollada, podrá usarla realizando siempre un mapeo anterior para su correcto procesamiento.

Además, el objetivo de este software no es reemplazar los sistemas existentes, sino ofrecer una alternativa de código abierto accesible a quienes no pueden costear las soluciones comerciales más avanzadas. Con ellos, también se busca poder ofrecer la posibilidad de obtener métricas que pocos software pueden ofrecer. Este enfoque permitirá a una mayor cantidad de usuarios explorar el campo de la neurociencia y el EEG. Adicionalmente, gracias al desarrollo de esta herramienta, se contribuirá al objetivo principal del proyecto: desarrollar un sistema inteligente capaz de personalizar la interfaz para los usuarios según sus preferencias y capacidades cognitivas. Esta personalización mejorará significativamente la interacción del usuario con la tecnología, promoviendo una experiencia más intuitiva y adaptada a sus necesidades individuales.

---

---

## CAPÍTULO 4

# Especificación de requisitos

---

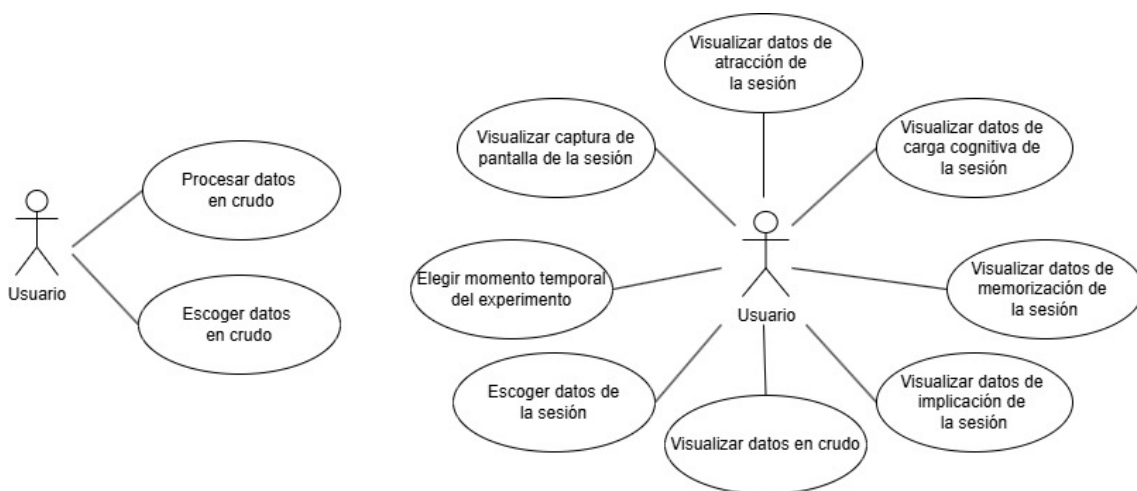
---

Una vez realizado el análisis de los distintos trabajos relacionados en el capítulo 3, se presenta la especificación de requisitos de la aplicación a desarrollar. Para esta solución software, se han utilizado técnicas como el diagrama de casos de uso, que visualiza las interacciones entre los actores externos y el sistema, mostrando las funciones que los usuarios pueden realizar; y el prototipado, que permite crear versiones preliminares del sistema para explorar ideas y obtener retroalimentación temprana de los usuarios.

### 4.1 Casos de Uso

---

La primera técnica de especificación de requisitos utilizada ha sido el diagrama de casos de uso, que captura y documenta las interacciones entre el usuario y el sistema. Este diagrama identifica los objetivos del usuario y las funciones clave de la aplicación, asegurando que se cubran los requisitos esenciales y se alineen con las necesidades del usuario final. Las distintas funcionalidades encontradas para esta aplicación fueron las presentadas en la Figura 4.1. Aquí se pueden ver que predominan las funcionalidades de poder visualizar distintos aspectos de los experimentos que se realicen y la posibilidad de procesar datos EEG en crudo y transformarlos en datos procesados.



**Figura 4.1:** Diagrama de Casos de Uso.

Para tener una visión más detallada y objetiva de cada uno de los casos de uso, se han desarrollado las plantillas pertinentes a cada uno de los casos de uso del diagrama de la Figura 4.1. Estas cubren los siguientes casos de uso:

- **Procesar datos en crudo:** Tabla 4.1.
- **Escoger datos en crudo:** Tabla 4.2.
- **Visualizar datos de atracción de la sesión:** Tabla 4.3
- **Visualizar datos de carga cognitiva de la sesión:** Tabla 4.4
- **Visualizar datos de memorización de la sesión:** Tabla 4.5
- **Visualizar datos de implicación de la sesión:** Tabla 4.6
- **Visualizar datos en crudo:** Tabla 4.7
- **Escoger datos de la sesión:** Tabla 4.8
- **Elegir momento temporal del experimento:** Tabla 4.9
- **Visualizar captura de pantalla de la sesión:** Tabla 4.10

Con ellas, se busca clarificar el propósito de cada caso de uso y facilitar la validación y verificación de los requisitos del sistema, asegurando que todas las funcionalidades necesarias estén correctamente definidas y alineadas con las expectativas del usuario final.

<b>Nombre</b>	<b>Procesar datos en crudo</b>
<b>Descripción</b>	Permite procesar los datos en crudo de una sesión.
<b>Precondición</b>	-
<b>Secuencia Principal</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El usuario escoge la opción de procesar datos en la ventana principal.</li> <li>2. El usuario escoge los datos en crudo que quiere procesar.</li> <li>3. El sistema procesa los datos en crudo.</li> <li>4. El sistema le devuelve al usuario los datos procesados en forma de una carpeta con los CSV de los datos.</li> </ol>
<b>Alternativas/Errores</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>2.1. Si sucede un error a la hora de escoger los datos, el sistema muestra un error y este caso de uso termina.</li> <li>3.1. Si los datos pasados por el usuario no están en formato CSV, el sistema muestra un error y este caso de uso termina.</li> <li>3.2. Si sucede un error a la hora de procesar los datos, el sistema muestra un error y este caso de uso termina.</li> </ol>
<b>Postcondición</b>	El usuario obtiene una carpeta con los datos procesados.

**Tabla 4.1:** Caso de uso de "Procesar datos en crudo".

<b>Nombre</b>	<b>Escoger datos en crudo</b>
<b>Descripción</b>	Permite escoger los datos en crudo que quiere procesar el usuario.
<b>Precondición</b>	-
<b>Secuencia Principal</b>	1. El usuario escoge la opción de procesar datos en la ventana principal. 2. El sistema le da la opción de escoger los datos en el ordenador del usuario. 3. El usuario escoge los datos en crudo.
<b>Alternativas/Errores</b>	3.1. Si sucede un error a la hora de escoger los datos, el sistema muestra un error y este caso de uso termina.
<b>Postcondición</b>	El usuario ha escogido los datos en crudo que ha querido para procesar.

**Tabla 4.2:** Caso de uso de "Escoger datos en crudo".

<b>Nombre</b>	<b>Visualizar datos de atracción de la sesión</b>
<b>Descripción</b>	Permite visualizar los datos procesados de atracción de una sesión.
<b>Precondición</b>	El usuario ha seleccionado una sesión para visualizar.
<b>Secuencia Principal</b>	El sistema muestra una gráfica con los datos de la atracción de la sesión.
<b>Alternativas/Errores</b>	Si sucede un error a la hora de mostrar los datos, el sistema muestra un error y este caso de uso termina.
<b>Postcondición</b>	El usuario visualiza una gráfica con los datos de atracción de la sesión escogida.

**Tabla 4.3:** Caso de uso de "Visualizar datos de atracción de la sesión".

<b>Nombre</b>	<b>Visualizar datos de carga cognitiva de la sesión</b>
<b>Descripción</b>	Permite visualizar los datos procesados de carga cognitiva de una sesión.
<b>Precondición</b>	El usuario ha seleccionado una sesión para visualizar.
<b>Secuencia Principal</b>	El sistema muestra una gráfica con los datos de la carga cognitiva de la sesión.
<b>Alternativas/Errores</b>	Si sucede un error a la hora de mostrar los datos, el sistema muestra un error y este caso de uso termina.
<b>Postcondición</b>	El usuario visualiza una gráfica con los datos de carga cognitiva de la sesión escogida.

**Tabla 4.4:** Caso de uso de "Visualizar datos de carga cognitiva de la sesión".

<b>Nombre</b>	<b>Visualizar datos de memorización de la sesión</b>
<b>Descripción</b>	Permite visualizar los datos procesados de memorización de una sesión.
<b>Precondición</b>	El usuario ha seleccionado una sesión para visualizar.
<b>Secuencia Principal</b>	El sistema muestra una gráfica con los datos de la memorización de la sesión.
<b>Alternativas/Errores</b>	Si sucede un error a la hora de mostrar los datos, el sistema muestra un error y este caso de uso termina.
<b>Postcondición</b>	El usuario visualiza una gráfica con los datos de memorización de la sesión escogida.

**Tabla 4.5:** Caso de uso de "Visualizar datos de memorización de la sesión".

<b>Nombre</b>	<b>Visualizar datos de implicación de la sesión</b>
<b>Descripción</b>	Permite visualizar los datos procesados de implicación de una sesión.
<b>Precondición</b>	El usuario ha seleccionado una sesión para visualizar.
<b>Secuencia Principal</b>	El sistema muestra una gráfica con los datos de la implicación de la sesión.
<b>Alternativas/Errores</b>	Si sucede un error a la hora de mostrar los datos, el sistema muestra un error y este caso de uso termina.
<b>Postcondición</b>	El usuario visualiza una gráfica con los datos de implicación de la sesión escogida.

**Tabla 4.6:** Caso de uso de "Visualizar datos de implicación de la sesión".

<b>Nombre</b>	<b>Visualizar datos en crudo</b>
<b>Descripción</b>	Permite visualizar los datos en crudo de una sesión.
<b>Precondición</b>	El usuario ha seleccionado una sesión para visualizar.
<b>Secuencia Principal</b>	El sistema muestra un mapa de calor con los datos en crudo de la sesión.
<b>Alternativas/Errores</b>	Si sucede un error a la hora de mostrar los datos, el sistema muestra un error y este caso de uso termina.
<b>Postcondición</b>	El usuario visualiza un mapa de calor de los datos en crudo de la sesión escogida.

**Tabla 4.7:** Caso de uso de "Visualizar datos en crudo".

<b>Nombre</b>	<b>Escoger datos de la sesión</b>
<b>Descripción</b>	Permite escoger los datos de la sesión que quiere visualizar el usuario.
<b>Precondición</b>	-
<b>Secuencia Principal</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El usuario escoge la opción de visualizar una sesión en la ventana principal.</li> <li>2. El sistema le da la opción de escoger la sesión en el ordenador del usuario.</li> <li>3. El usuario escoge la sesión.</li> </ol>
<b>Alternativas/Errores</b>	3.1. Si sucede un error a la hora de escoger una sesión, el sistema muestra un error y este caso de uso termina.
<b>Postcondición</b>	El usuario ha escogido la sesión que ha querido para ver los datos.
<b>Notas</b>	La sesión que escoja el usuario deberá de tener los archivos de video de la captura de pantalla de la sesión y los archivos de los datos procesados y en crudo.

**Tabla 4.8:** Caso de uso de "Escoger datos de la sesión".

<b>Nombre</b>	<b>Elegir momento temporal del experimento</b>
<b>Descripción</b>	Permite escoger un momento temporal en la sesión.
<b>Precondición</b>	-
<b>Secuencia Principal</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El usuario decide seleccionar un momento temporal en la sesión.</li> <li>2. El usuario clic en un lugar de las métricas para ver el momento temporal.</li> <li>3. El sistema mueve la barra temporal al lugar donde ha clicado el usuario.</li> <li>4. El sistema pone el momento que el usuario ha clicado.</li> </ol>
<b>Alternativas/Errores</b>	2.1. Si sucede un error a la hora de escoger un momento temporal de la sesión, el sistema muestra un error y este caso de uso termina.
<b>Postcondición</b>	El usuario visualiza el momento temporal que ha escogido.

**Tabla 4.9:** Caso de uso de "Elegir momento temporal del experimento".

<b>Nombre</b>	<b>Visualizar captura de pantalla de la sesión</b>
<b>Descripción</b>	Permite visualizar un video de la pantalla de una sesión.
<b>Precondición</b>	El usuario ha seleccionado una sesión para visualizar.
<b>Secuencia Principal</b>	El sistema muestra un video con la captura de pantalla de la sesión.
<b>Alternativas/Errores</b>	Si sucede un error a la hora de mostrar el video, el sistema muestra un error y este caso de uso termina.
<b>Postcondición</b>	El usuario visualiza un video de la pantalla de la sesión escogida.

**Tabla 4.10:** Caso de uso de "Visualizar captura de pantalla de la sesión".

## 4.2 Prototipado

La segunda técnica de especificación de requisitos empleada ha sido el prototipado, que consiste en desarrollar versiones preliminares de la aplicación para explorar y validar ideas de diseño. A través del prototipado, se permite a los usuarios interactuar con modelos funcionales del sistema, lo que facilita la obtención de retroalimentación temprana y la identificación de posibles mejoras antes de la implementación final. Esta técnica asegura que las funcionalidades clave de la aplicación no solo se definan adecuadamente, sino que también se ajusten a las expectativas y necesidades reales del usuario final. El prototipo desarrollado se ha centrado en mostrar de la mejor manera lo distintos datos que se han especificado en los casos de uso y que a la hora de procesar los datos, sea lo más intuitivo posible.



**Figura 4.2:** Página principal de BrainScope.

En la Figura 4.2 se presenta al usuario el nombre la aplicación y las dos principales funcionalidades del sistema: visualizar el experimento y procesar datos en crudo.

En la Figura 4.3 se presenta la interfaz del visionado del experimento. Aquí se plasman los casos de uso de: visualizar datos de atracción, carga cognitiva, memorización e implicación de la sesión; visualizar datos en crudo, visualizar captura de pantalla de la sesión y elegir momento temporal del experimento.

En la Figura 4.4 se presenta la interfaz del procesamiento de datos. Aquí se plasma el caso de uso de procesar datos en crudo.

En la Figura 4.5 se presenta la interfaz de la elección del experimento. Aquí se plasma el caso de escoger datos de la sesión.

Por último, en la Figura 4.6 se presenta la interfaz de la elección de los datos en crudo. Aquí se plasma el caso de uso de procesar datos en crudo.



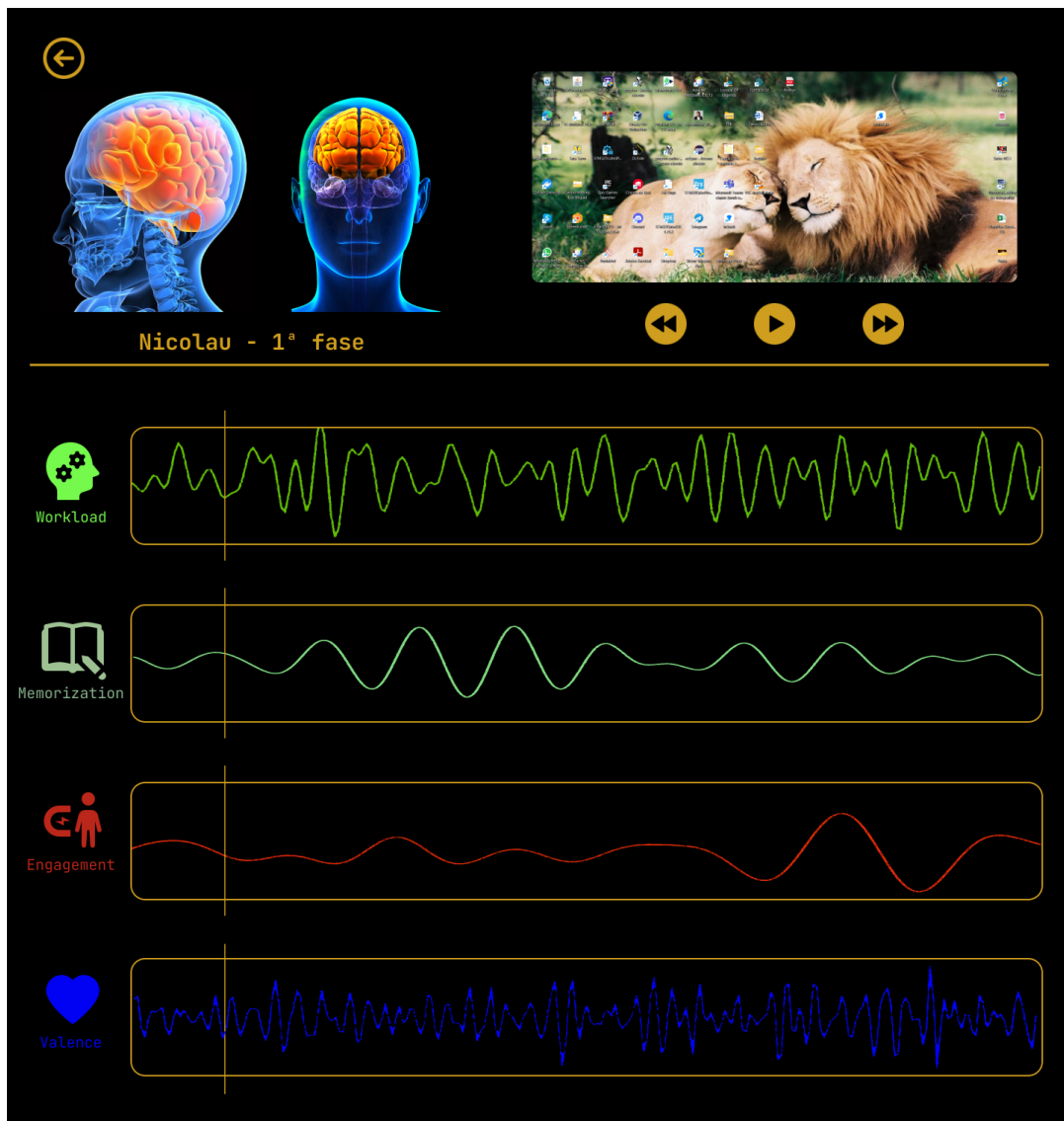


Figura 4.3: Interfaz Visionado del Experimento.

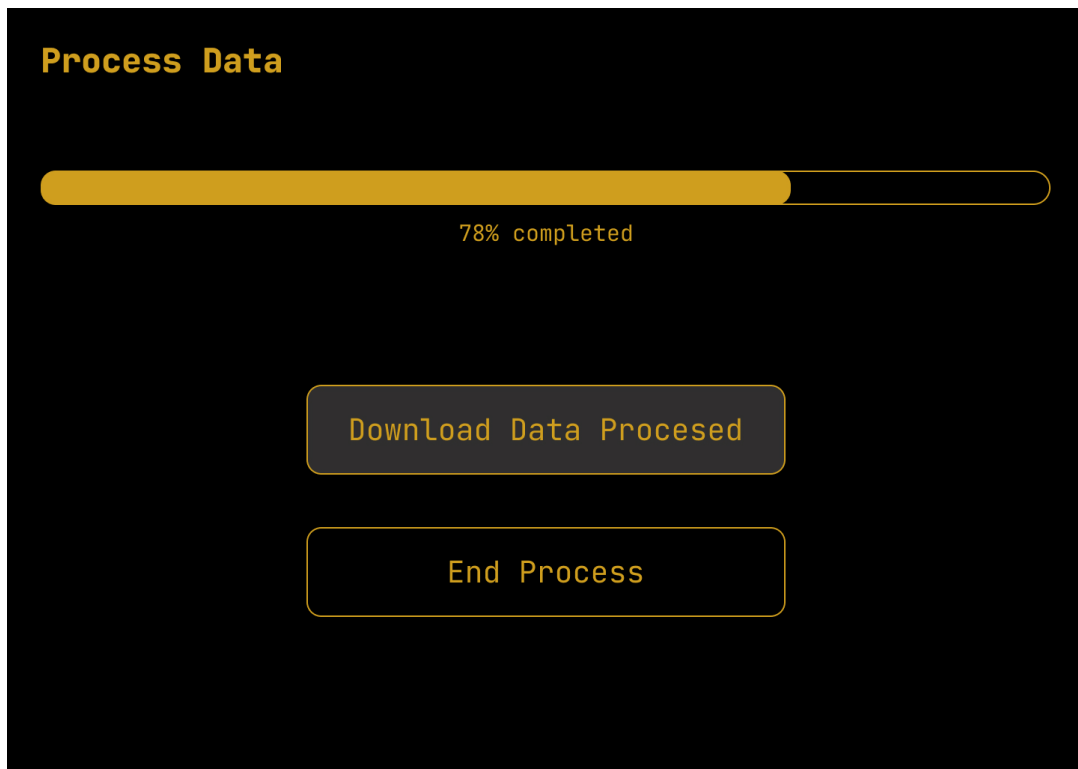


Figura 4.4: Interfaz Procesamiento de datos.

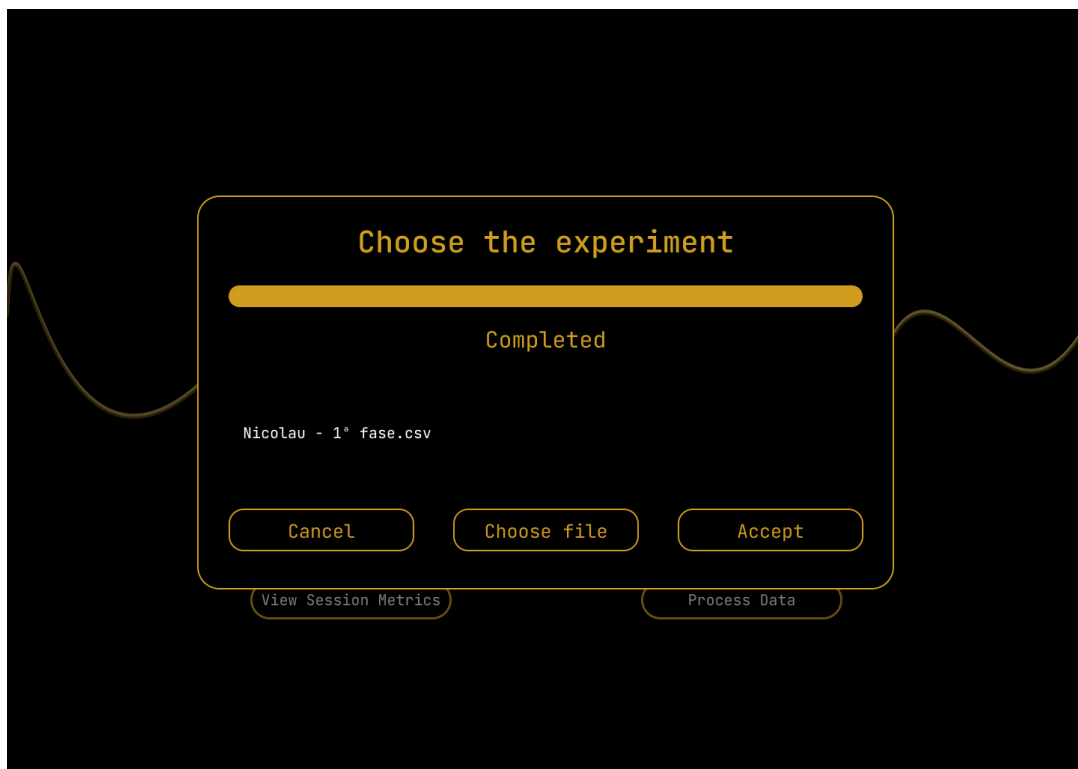


Figura 4.5: Interfaz Elección de experimento.



**Figura 4.6:** Interfaz Elección de datos en crudo.

# Tecnologías y Arquitectura

---

Una vez completada la especificación de los requisitos para la solución software, a continuación, se detallarán las diversas tecnologías empleadas y la arquitectura propuesta para el desarrollo de la aplicación. Este enfoque permitirá entender las decisiones técnicas que se tomaron durante el proceso de desarrollo, así como la manera en que estas tecnologías y la estructura arquitectónica se integran para cumplir con los objetivos establecidos en los requisitos.

## 5.1 Tecnologías usadas

---

Para el desarrollo de la aplicación se han usado multitud de tecnologías, dependiendo del uso que se le daba, algunas eran mejores que otras para ciertos ámbitos. Las tecnologías han sido las siguientes:

**Python:** Python [37] es un lenguaje de programación de alto nivel, interpretado y de propósito general. Es conocido por su sintaxis clara y sencilla, lo que lo hace ideal tanto para principiantes como para desarrolladores experimentados. Python es muy versátil y se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo desarrollo web, ciencia de datos, inteligencia artificial, automatización, y más. Además, Python cuenta con una vasta comunidad y una gran cantidad de bibliotecas y frameworks, lo que facilita el desarrollo de proyectos complejos. En este proyecto, Python ha sido fundamental para el desarrollo de los módulos de ML y para la gestión de múltiples archivos CSV, en los cuales se almacenan los datos que serán procesados por la aplicación.

**Electron:** Electron [14] es un framework que permite crear aplicaciones de escritorio multiplataforma utilizando tecnologías web como HTML, CSS y JavaScript. Fue desarrollado por GitHub y es ampliamente utilizado para desarrollar aplicaciones que funcionan tanto en Windows, macOS y Linux. Electron combina la capacidad de Node.js para ejecutar código JavaScript en el servidor con el motor de renderizado de Chromium, permitiendo a los desarrolladores construir aplicaciones de escritorio que son esencialmente páginas web empaquetadas en un contenedor de escritorio, con acceso a las APIs del sistema operativo. Inicialmente, se utilizó esta tecnología para explorar nuevas herramientas que no suelen ser abordadas en la carrera de Ingeniería Informática. Sin embargo, a medida que avanzaba el desarrollo de la aplicación, Electron demostró ofrecer una sencillez incomparable para el desarrollo del frontend, una ventaja que pocos frameworks pueden proporcionar.

**Flask:** Flask [16] es un microframework web escrito en Python. Es ligero y minimalista, proporcionando solo lo esencial para construir aplicaciones web, lo que lo convierte

en una opción popular para proyectos que requieren flexibilidad y simplicidad. A diferencia de frameworks más grandes como Django, Flask no viene con tantas características integradas, lo que permite a los desarrolladores elegir y agregar solo los componentes que necesitan. Flask es ideal para proyectos pequeños a medianos, APIs RESTful, y prototipos rápidos. En este proyecto, Flask fue imprescindible para el desarrollo de la API utilizada en el servidor de la aplicación, ya que se requería una API que no fuera demasiado compleja y que fuera de fácil acceso y manejo.

**R:** R [38] es un lenguaje de programación y un entorno de software libre especializado en el análisis estadístico y la visualización de datos. Es ampliamente utilizado por estadísticos, científicos de datos, y analistas para realizar cálculos estadísticos, modelado, y para crear gráficos avanzados. R cuenta con una gran cantidad de paquetes y herramientas que permiten a los usuarios llevar a cabo una amplia gama de tareas de análisis de datos, desde análisis descriptivo hasta modelado predictivo. Además, su fuerte capacidad de visualización gráfica lo hace una opción preferida para la presentación de datos de manera clara y efectiva. En este proyecto, R fue utilizado específicamente para desarrollar el mapa de calor, aprovechando su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos y generar visualizaciones complejas y detalladas.

**Git:** Git [23] es un sistema de control de versiones distribuido, utilizado para rastrear cambios en archivos de código durante el desarrollo de software. Fue creado por Linus Torvalds en 2005 y es ampliamente adoptado por desarrolladores y equipos en todo el mundo. Git permite a los desarrolladores trabajar en paralelo, gestionar versiones del código, y colaborar eficientemente en proyectos. Una de las características clave de Git es su capacidad para ramificar y fusionar código, lo que facilita la implementación de nuevas características, correcciones de errores, y experimentos sin afectar el código principal hasta que estén listos para ser integrados. En este proyecto, Git fue utilizado para controlar las versiones de la aplicación, asegurando así un mantenimiento eficiente y ordenado del código a lo largo de todo el ciclo de desarrollo.

**Unittest:** Unittest [52] es un marco de pruebas unitarias incluido en la biblioteca estándar de Python. Está diseñado para permitir a los desarrolladores escribir y ejecutar pruebas de manera sencilla y estructurada. Unittest sigue el modelo xUnit, que es una arquitectura común para marcos de pruebas unitarias, y proporciona una serie de herramientas para la creación de pruebas, la ejecución de casos de prueba, y la verificación de los resultados. Con Unittest, los desarrolladores pueden asegurar que cada parte de su código funciona como se espera, facilitando la detección temprana de errores y la validación del comportamiento del software. Dado que la aplicación está desarrollada mayoritariamente en Python, Unittest resultó ser una herramienta clave para realizar pruebas unitarias rápidas y sencillas, permitiendo verificar de manera eficiente las funcionalidades críticas del código.

**Unittest.mock:** Unittest.mock [52] es una biblioteca de Python que forma parte del módulo unittest desde Python 3.3. Proporciona una forma poderosa de crear y manipular objetos simulados (mocks) durante las pruebas unitarias. Los mocks permiten a los desarrolladores reemplazar partes del código que interactúan con dependencias externas o componentes complejos, como servicios web, bases de datos o funciones costosas, con objetos simulados que replican el comportamiento esperado de manera controlada. Con unittest.mock, es posible realizar pruebas aisladas al comprobar cómo una unidad de código interactúa con sus dependencias. La biblioteca permite definir comportamientos específicos para los objetos simulados, así como verificar

si ciertas funciones fueron llamadas con los argumentos esperados, lo que es crucial para validar la lógica de la aplicación sin necesidad de depender de los sistemas reales.

**Testthat:** Testthat [47] es un paquete de R diseñado para facilitar las pruebas de unidades en este lenguaje. Proporciona un marco estructurado para escribir pruebas y asegurarse de que las funciones y el código se comportan como se espera. Testthat es ampliamente utilizado en el desarrollo de paquetes y análisis en R, permitiendo a los desarrolladores escribir casos de prueba de manera intuitiva y ejecutar esas pruebas automáticamente. Además de verificar resultados específicos, Testthat también incluye herramientas para manejar errores y advertencias, lo que contribuye a un desarrollo más robusto y confiable en proyectos de análisis de datos con R. En este proyecto, Testthat fue utilizado para validar el módulo de R que generaba el mapa de calor a partir de datos en bruto, proporcionando la seguridad necesaria para garantizar que el procesamiento de datos y las visualizaciones se realizaban de manera correcta y eficiente.

**Trello:** Trello [50] es una herramienta de gestión de proyectos basada en tableros que permite a los usuarios organizar tareas y proyectos de manera visual e intuitiva. Utilizando tarjetas que representan tareas individuales, Trello facilita la colaboración entre equipos al permitir que las tarjetas se muevan entre diferentes listas que representan diferentes etapas del proceso de trabajo, como "Por hacer", "En progreso" y "Completado". Cada tarjeta puede contener descripciones, listas de verificación, archivos adjuntos, fechas de vencimiento, y comentarios, proporcionando un entorno completo para la gestión de tareas. Trello es ampliamente utilizado en diversas industrias debido a su flexibilidad y capacidad de adaptación a diferentes tipos de proyectos, desde la planificación de pequeños proyectos personales hasta la gestión de grandes iniciativas de equipo. En este proyecto, Trello fue utilizado para coordinar las tareas del equipo, asegurar el seguimiento adecuado de las fechas clave y mantener a todos los miembros alineados con los objetivos del proyecto, contribuyendo a un flujo de trabajo más eficiente y organizado.

**Scikit-learn:** Scikit-learn [44] es una biblioteca de Python ampliamente utilizada para el aprendizaje automático. Es conocida por su facilidad de uso, eficiencia y una amplia gama de algoritmos implementados, lo que la hace ideal tanto para principiantes como para expertos en ciencia de datos y aprendizaje automático. Scikit-learn proporciona herramientas simples y eficientes para el análisis de datos y minería de datos, abarcando desde regresión y clasificación hasta clustering y reducción de dimensionalidad. Una de las grandes ventajas de scikit-learn es su integración con otras bibliotecas del ecosistema de Python, como NumPy, SciPy y pandas, lo que facilita la manipulación de datos y la creación de modelos complejos. Además, cuenta con una comunidad activa y una extensa documentación, lo que simplifica el proceso de aprendizaje y resolución de problemas. En este proyecto, scikit-learn ha sido esencial para el desarrollo de los modelos de aprendizaje automático, permitiendo la implementación de técnicas de preprocesamiento, ajuste de modelos y evaluación de resultados de manera eficiente.

## 5.2 Arquitectura

---

Después de haber explicado brevemente cada una de las tecnologías utilizadas en el desarrollo de la aplicación, junto con el contexto que justifica su elección, se presentará ahora la arquitectura que se ha diseñado y adoptado para llevar a cabo este desarrollo.

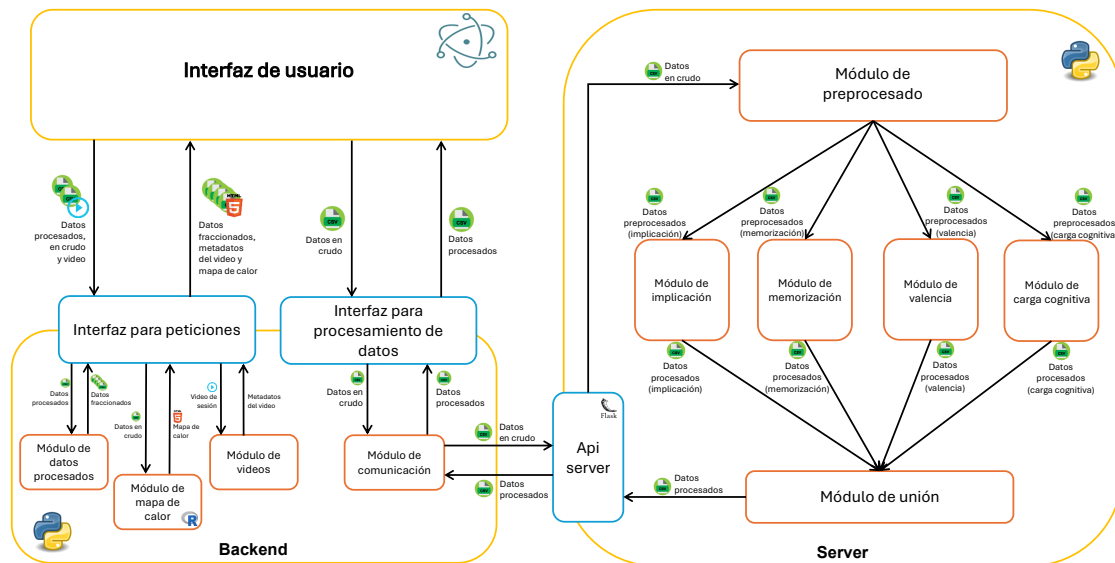


Figura 5.1: Arquitectura de BrainScope.

Como se puede apreciar en la Figura 5.1, la arquitectura del sistema consta de tres componentes principales: una interfaz de usuario, un backend y un componente denominado "server". La interfaz de usuario se encarga de mostrar la información de la aplicación, mientras que el backend maneja toda la lógica de la aplicación. El "server" aloja los modelos de ML y se encarga del preprocesamiento de datos, el filtrado y la predicción de diversas métricas. Estas funcionalidades se han separado para mantener la independencia entre la visualización de datos y su procesamiento. Además, dado que el procesamiento de datos es una tarea computacionalmente intensiva, se ha decidido desplegarlo en un servidor dedicado, permitiendo que múltiples instancias envíen datos en crudo y obtengan predicciones de métricas.

El flujo del procesamiento de datos es el siguiente: el usuario proporciona un archivo CSV que contiene datos en crudo capturados por el casco neuronal. El *backend* acepta este archivo CSV a través de una interfaz accesible desde la interfaz de usuario y lo envía a un módulo de comunicación encargado de transmitir el CSV al servidor. Una vez en el servidor, el CSV se procesa en un módulo de preprocesado donde los datos se limpian y se dividen según las necesidades de cada métrica, dado que no todas requieren la información de todos los electrodos ni de todas las frecuencias. La información para realizar la limpieza y filtrado se obtuvo en el trabajo previo a este desarrollo [25]. Como resultado, se generan cuatro archivos CSV, cada uno correspondiente a una métrica específica, y se envían a los módulos de ML. Estos módulos realizan las predicciones en base a los datos recibidos y, una vez finalizado este proceso, los resultados se integran en un módulo de unión que combina los cuatro CSV generados y añade la información temporal asociada. Finalmente, el módulo de comunicación devuelve un archivo CSV consolidado que el usuario puede descargar.

El flujo de la función de visualización de datos es el siguiente: el usuario proporciona dos CSV, uno con los datos procesados y otro con los datos en crudo, y un archivo mp4, que es el vídeo del experimento. El backend coge estos archivos mediante otra interfaz y esta divide los distintos archivos a distintos módulos. El archivo con los datos procesados se pasa a un módulo de datos procesados. Este separa el archivo con estos datos en archivos CSV para cada métrica y los devuelve. El archivo con los datos en crudo es pasado a un módulo de mapa de calor, el cual coge los datos del CSV y genera un mapa de

---

calor, devolviendo este en formato HTML. El archivo mp4 es pasado al módulo de vídeo, donde se almacenan datos del vídeo para las posibles peticiones sobre este. Una vez procesado todo, se le devuelven al usuario los archivos CSV y HTML para su visualización en la interfaz de usuario.





---

---

## CAPÍTULO 6

# Implementación

---

Tras completar la especificación de requisitos y realizar un estudio exhaustivo sobre las tecnologías más adecuadas para la implementación del software desarrollado, es posible proceder a describir el proceso de implementación. En primer lugar, se expondrá la metodología usada en el desarrollo de la aplicación. Posteriormente, dado que en este proyecto, se quiere obtener valores de métricas en base a datos EEG a través de modelos ML, se detallará el proceso ML que se ha definido en el Capítulo 2.4. Por último, se detallará la implementación completa de la aplicación.

### 6.1 Metodología

---

Para el proceso de un software de calidad, es muy importante la elección de una buena metodología de trabajo. Dependiendo del proyecto a desarrollar, hay diversas metodologías que se pueden plantear y usar para estas situaciones. En general, las dos más comunes son la metodología tradicional y la metodología ágil.

Las metodologías tradicionales ofrecen una estructura rígida y bien definida, lo que facilita la planificación a largo plazo y el control de riesgos en proyectos donde los requisitos son estables y predecibles. Sin embargo, su falta de adaptabilidad puede ser un obstáculo significativo cuando se enfrentan a cambios inesperados o cuando el proyecto evoluciona durante su desarrollo.

En contraste, las metodologías ágiles están diseñadas para manejar la incertidumbre y el cambio constante. Su enfoque iterativo permite realizar ajustes continuos, lo que es particularmente beneficioso en proyectos donde la innovación y la adaptación rápida son cruciales. Aunque esto puede resultar en un proceso menos predecible y más difícil de gestionar, la capacidad de respuesta y la proximidad con el cliente que ofrecen las metodologías ágiles suelen resultar en un producto final que se adapta mejor a las necesidades del usuario. Por lo tanto, la elección entre una metodología tradicional o ágil depende en gran medida de la naturaleza del proyecto y de la necesidad de flexibilidad frente a la estabilidad.

Con esto, se optó por utilizar una metodología ágil debido a todas las ventajas que ofrece en comparación con la metodología tradicional. Esta decisión también se tomó para adaptarse a las necesidades cambiantes de los usuarios, ya que, aunque no se anticipan cambios significativos en la especificación, siempre existe la posibilidad de que el usuario final solicite alguna modificación. Además, para mantener una comunicación constante con el equipo y el tutor, y gestionar mejor el proyecto, se decidió utilizar un tablero Kanban, proporcionado por la aplicación Trello, detallada en el Capítulo 5, con el fin de poder seguir el progreso del proyecto.

## 6.2 Machine Learning Pipeline

---

Para el desarrollo de la solución de software, era fundamental contar con el entrenamiento de los modelos de ML realizado en un trabajo previo [25]. Sin embargo, dichos modelos fueron entrenados con pocos datos y de baja calidad, lo que hizo necesario rehacer los módulos para obtener una mayor cantidad de datos y mejorar su calidad. Además, esto permitió evaluar otros posibles enfoques de inteligencia artificial, ya que en el trabajo anterior solo se consideró el uso de redes neuronales. Con este objetivo en mente, se decidió seguir el Machine Learning Pipeline, explicado en el Capítulo 2. A continuación, se detallará cómo se ha implementado cada una de las etapas a lo largo del Pipeline.

### 6.2.1. Recopilación de datos (*Data Ingestion*)

Durante esta etapa, se discutieron y evaluaron diversas estrategias para adquirir datos cerebrales de alta calidad, optando finalmente por utilizar un casco neuronal proporcionado por la empresa Bitbrain. Este dispositivo avanzado cuenta con 12 electrodos secos de alta precisión, diseñados específicamente para captar y registrar la actividad cerebral en tiempo real. Estos electrodos son capaces de suministrar la información necesaria que, una vez procesada, permite obtener las métricas de interés que alimentarán los distintos módulos del sistema.

Para llevar a cabo la obtención de estos datos cerebrales, se decidió diseñar un experimento con el objetivo de no solo la recopilar datos, sino también la estimulación de diversas respuestas cognitivas en los usuarios. A tal efecto, se seleccionaron una serie de actividades, destinadas a provocar reacciones específicas en el cerebro, que serían registradas por el casco neuronal.

#### Carga Cognitiva

La primera métrica que se planteó extraer de los usuarios fue la carga cognitiva, un indicador que mide el esfuerzo mental requerido para realizar una tarea. El objetivo central de la prueba era poner a los usuarios en una situación que demandara un alto nivel de concentración y esfuerzo intelectual. Para lograr esto, era necesario diseñar una tarea que no solo fuera desafiante, sino que también exigiera un procesamiento mental significativo por parte del usuario.

Tras una serie de discusiones y debates entre varios miembros del equipo, se llegó a la conclusión de que la mejor manera de inducir esta métrica en los usuarios era a través de la resolución de operaciones matemáticas. Esta elección se fundamentó en la capacidad de las matemáticas para exigir un procesamiento cognitivo intensivo, especialmente cuando las operaciones no son triviales. Se decidió así someter a los usuarios a una serie de problemas matemáticos, comenzando con ejercicios relativamente simples, como la resolución de sumas básicas, y avanzando progresivamente hacia problemas más complejos, que incluían ecuaciones con operaciones combinadas.

Este enfoque escalonado no solo permitiría medir la carga cognitiva en diferentes niveles de dificultad, sino que también ofrecería una visión más completa de cómo los usuarios manejan el aumento de la complejidad en las tareas. De este modo, la prueba no solo evaluaría la capacidad de los usuarios para resolver problemas, sino que también serviría para captar las variaciones en la carga cognitiva a medida que las tareas se volvían más desafiantes.

Como se observa en la Figura 6.1, la prueba de carga cognitiva ha incluido una variedad de operaciones matemáticas, tales como la multiplicación, la división y la resta.

18 x 4	896 : 7	78 - 25
--------	---------	---------

Figura 6.1: Estímulos para Carga Cognitiva.

### Memorización

La segunda métrica que se buscaba extraer de los usuarios era la capacidad de memorización. El propósito de la prueba diseñada para evaluar esta métrica era desafiar al usuario a recordar detalles significativos, ya fueran personales o relacionados con otros aspectos de su vida. Tras un análisis y discusión entre los miembros del equipo, se decidió proceder con una serie de preguntas que invitaran al usuario a rememorar episodios específicos de su pasado. Estas preguntas incluían, por ejemplo, *cuál fue el último libro que había leído* y que compartiera detalles sobre ese libro, o que recordara *dónde viajó por última vez* y que contara alguna anécdota de ese viaje.

¿Qué música solías escuchar cuando ibas al instituto?

¿Qué le regalaste a tu familia por navidad?

¿Quién fue tu primer amig@ en el colegio?

Figura 6.2: Estímulos para Memorización.

En la Figura 6.2 se observan algunas preguntas que se les hizo a los usuarios para hacer recordar aspectos pasados de su vida.

### Implicación

La tercera métrica que se buscaba extraer de los usuarios era el nivel de implicación. El propósito principal de la prueba diseñada para medir esta métrica era asegurarse de que el usuario se involucrara activamente en la realización de una tarea específica. Para ello, se propuso que los participantes realizaran actividades que requirieran un enfoque sostenido y una participación directa, tales como dibujar un objeto específico o participar en juegos que demandaran una atención constante a lo que estaban haciendo.

Después de un extenso debate entre los miembros del equipo, se llegó a la decisión de escoger tres juegos diferentes, cada uno diseñado para evaluar el grado de implicación del usuario de manera efectiva. El primer juego consistía en encontrar diferencias entre dos imágenes aparentemente idénticas, lo que requería un análisis minucioso. El segundo juego implicaba buscar objetos escondidos en un escenario, estimulando la atención al detalle y la concentración. Finalmente, se incluyó el popular juego de encontrar a Wally, en el que los usuarios debían localizar a un personaje conocido por llevar una camiseta de rayas blancas y rojas en una imagen abarrotada de detalles.

Al participar en estos juegos, se lograba que los usuarios se implicaran profundamente en la tarea de buscar e identificar los distintos elementos requeridos, lo que permitía medir de manera efectiva su nivel de compromiso e implicación en la actividad. Estos juegos, seleccionados cuidadosamente, no solo mantenían la atención del usuario, sino que también ofrecían una forma dinámica y entretenida de evaluar su capacidad de implicarse en tareas específicas.



**Figura 6.3:** Estímulos para Implicación.

En la Figura 6.3 se muestra una variación de los tres tipos de juegos que se presentaron a los diferentes usuarios.

### Valencia (Atracción)

La última métrica que se buscaba extraer de los usuarios era la valencia, o el nivel de atracción que experimentaban. El propósito principal de la prueba diseñada para esta métrica era evaluar el grado de atracción o agrado que los usuarios sentían hacia lo que estaban haciendo o viendo durante el experimento. La idea era captar no solo las reacciones positivas, sino también las negativas, proporcionando una visión más completa de la valencia emocional.

Después de un análisis exhaustivo de varios estudios, incluyendo el de David Hernández Gutiérrez [24], quien realizó un experimento de neuromarketing utilizando diversas imágenes para investigar la atracción y la sorpresa de los usuarios. Tras varias discusiones entre los miembros del equipo, se decidió que la mejor manera de estimular esta métrica era seguir el procedimiento del experimento mencionado. Esto implicaba la presentación de diferentes imágenes, en este caos se escogieron paisajes, que representarían una variedad de escenarios naturales y urbanos, como playas, bosques y escenas de ciudad. Con el fin de capturar tanto reacciones de atracción positiva como negativa, se seleccionaron imágenes que típicamente evocan respuestas positivas, así como otras que podrían generar una carga emocional negativa.

Además, para reflejar la naturaleza inherentemente subjetiva del concepto de atracción, se decidió otorgar al usuario la libertad de elegir el tipo de paisaje que deseaba visualizar. Esta personalización permitía que la prueba de valencia fuera lo más precisa y relevante posible para cada individuo, reconociendo que lo que atrae a una persona podría ser completamente irrelevante o incluso desagradable para otra. Así, al permitir a los usuarios seleccionar las imágenes que más les interesaban, se aseguraba que las reacciones registradas fueran auténticas y reflejaran verdaderamente su nivel de atracción o repulsión.

En la Figura 6.4 se pueden apreciar algunos de los paisajes que se mostraban a los usuarios a los que se les atribuía comúnmente una carga de atracción positiva.



Figura 6.4: Estímulos para Valencia positiva.



Figura 6.5: Estímulos para Valencia negativa.

En la Figura 6.5 se pueden apreciar algunos de los paisajes que se mostraban a los usuarios a los que se les atribuía comúnmente una carga de atracción negativa.

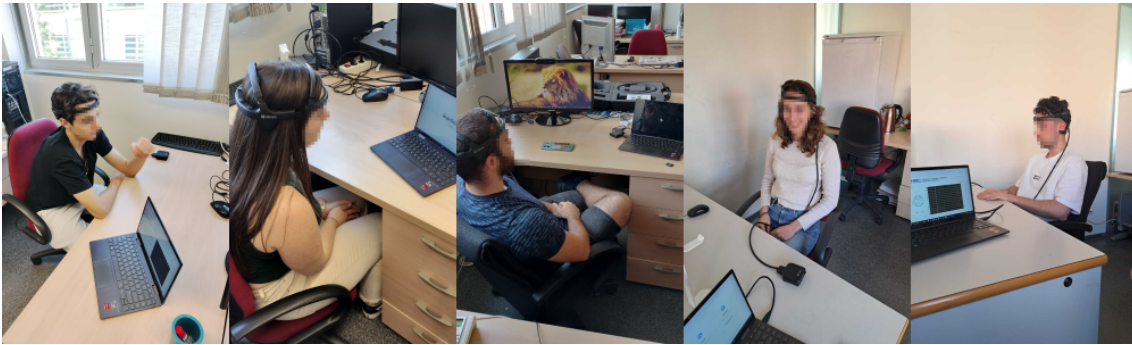
### Realización del experimento

Una vez diseñado y desarrollado el experimento, este se llevó a cabo durante un período aproximado de 3 semanas. Durante este tiempo, y aprovechando los 5 días lectivos de cada semana, una variedad de usuarios de diferentes edades participaron en el estudio. Cada día, se convocaba a un grupo de participantes, asignando a cada uno una hora específica para que, de manera individual, se colocaran el casco neuronal y completaran las tareas previstas en el experimento.

Antes de la realización del experimento, se les proporcionaba a los participantes un formulario demográfico y un consentimiento (ambos disponibles en el Apéndice A). Estos documentos cumplen con la normativa de la Ley Orgánica de Protección de Datos (LOPD) [3], ya que durante la realización del experimento se realizarían grabaciones y se requería su consentimiento previo.

El proceso completo, desde la preparación hasta la finalización del experimento, tomaba alrededor de 30 minutos por participante. Este tiempo era necesario no solo para que los usuarios se familiarizaran con el entorno del experimento, sino también para garantizar que el casco estuviera correctamente ajustado a la cabeza de cada uno de ellos. Además, se realizaba una calibración previa del dispositivo, lo cual era crucial para asegurar la precisión de los datos recogidos durante la sesión.

En total, 36 participantes, 28 hombres y 8 mujeres, de edades entre los 20 y 56 años, completaron el experimento, proporcionando un conjunto de datos significativo para el análisis posterior. Este grupo de participantes, al incluir personas de distintas edades, contribuyó a la obtención de una amplia gama de respuestas, permitiendo un análisis más completo y representativo de las métricas que se buscaban medir.

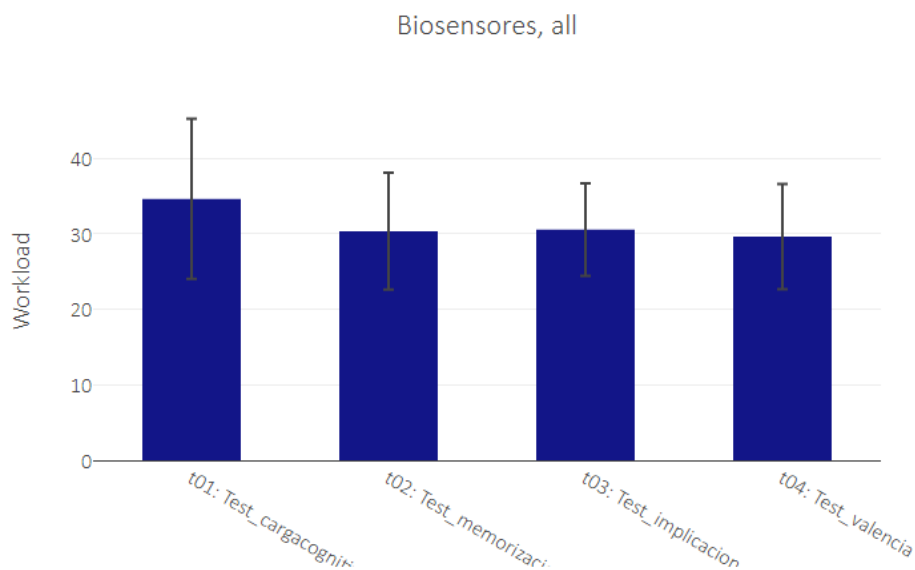


**Figura 6.6:** Participantes del experimento.

Observamos en la Figura 6.6 algunos de los participantes que realizaron el experimento. Debido a la LOPD, se les ha pixelado la cara a los participantes para preservar su integridad física.

### Análisis de datos del experimento

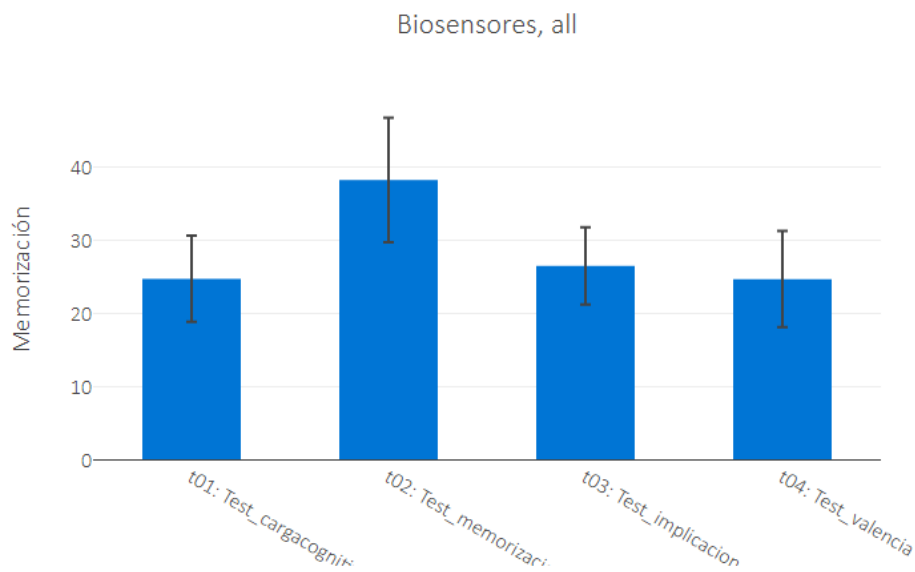
Al finalizar las tres semanas de realización del experimento, se procedió a procesar los datos en una aplicación externa y seguidamente se analizaron los datos obtenidos. Este análisis era necesario para evaluar si el diseño de cada parte del experimento había sido adecuado, con el objetivo de mejorar los módulos de ML en el futuro.



**Figura 6.7:** Gráfica de estímulos de carga cognitiva.

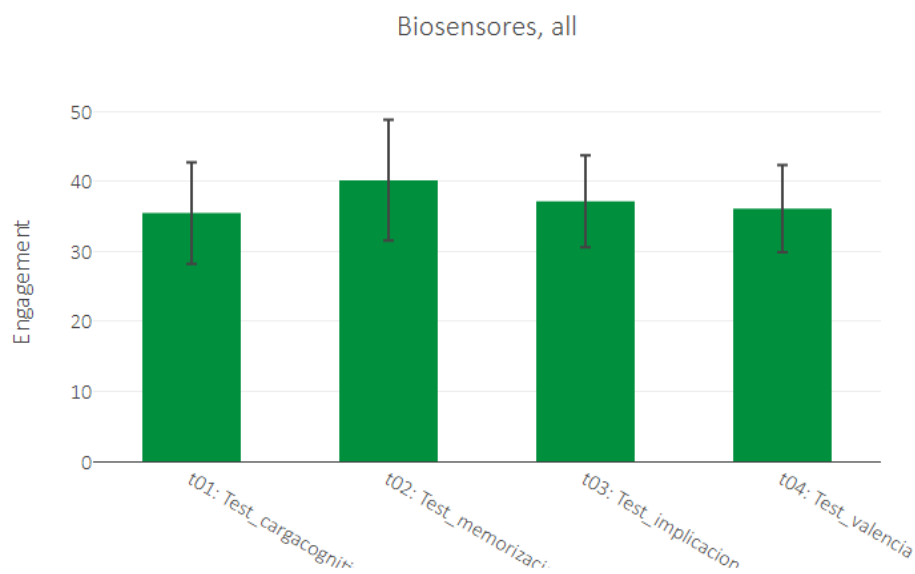
Se evaluaron primero los datos obtenidos de la prueba de carga cognitiva. Como se muestra en la Figura 6.7, la prueba asociada a esta métrica es la que presenta un mayor incremento. Tras ella, se encuentran las pruebas de implicación y memorización. Esto no es decabellado, ya que la carga cognitiva puede variar dependiendo de lo que los usuarios estén recordando o realizando. En cuanto a esta parte del experimento, se considera un éxito, por lo que no sería necesario hacer modificaciones en esta sección.





**Figura 6.8:** Gráfica de estímulos de memorización.

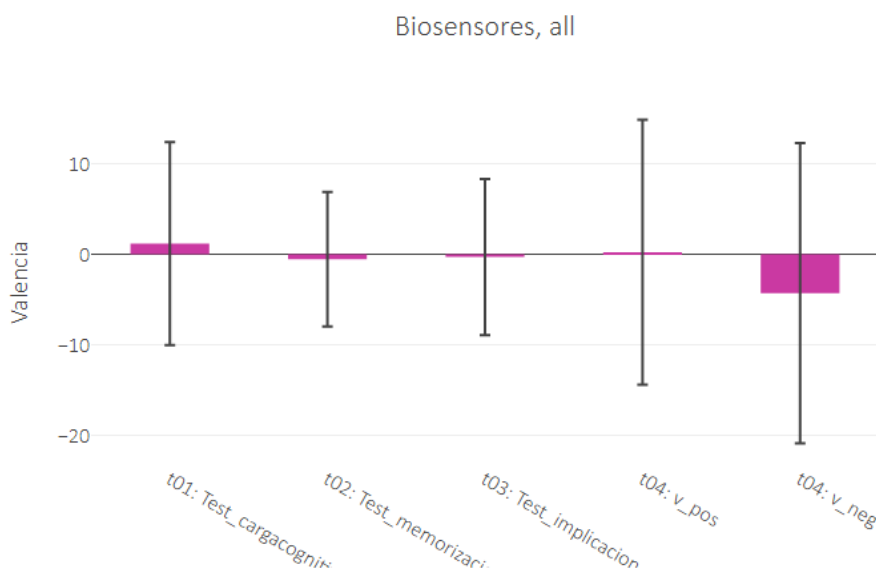
A continuación, se evaluarán los datos obtenidos en la prueba de memorización. Como se muestra en la Figura 6.8, la prueba asociada a esta métrica muestra un incremento significativamente mayor que el de las demás. Le sigue la prueba de implicación. Esto se debe a que, al jugar los juegos de implicación, los usuarios probablemente memorizaron los distintos objetos que debían buscar. En cuanto a esta parte del experimento, se considera un éxito rotundo, por lo que no se requieren modificaciones en esta sección.



**Figura 6.9:** Gráfica de estímulos de implicación.



Posteriormente, se evaluaron los datos pertinentes a la prueba de implicación. Como se muestra en la Figura 6.9, la prueba asociada a esta métrica es la segunda con el mayor incremento. La prueba que muestra la mayor implicación es la de memorización. Esto podría deberse a que, cuando los participantes relataban anécdotas relacionadas con las preguntas que se les hacían, parecían estar especialmente comprometidos al narrar estos hechos. En segundo lugar, se encuentra la mencionada prueba de implicación, seguida por las otras dos pruebas, que mostraron resultados similares. Esto podría deberse a que, al realizar operaciones matemáticas y visualizar imágenes en la prueba de atracción, los participantes también demostraron estar involucrados en las tareas. En cuanto a esta parte del experimento, se considera un éxito, ya que, aunque la prueba de implicación es la segunda en términos de porcentaje, la diferencia con la primera no es significativa, lo que se considera aceptable.



**Figura 6.10:** Gráfica de estímulos de valencia.

Por último, se evaluarán los datos de la prueba de atracción. Como se muestra en la Figura 6.10, la prueba asociada a esta métrica se dividió en atracción positiva y negativa. Aquí, la gráfica podía variar entre los números -100 y 100, debido a la existencia de ambas valencias.

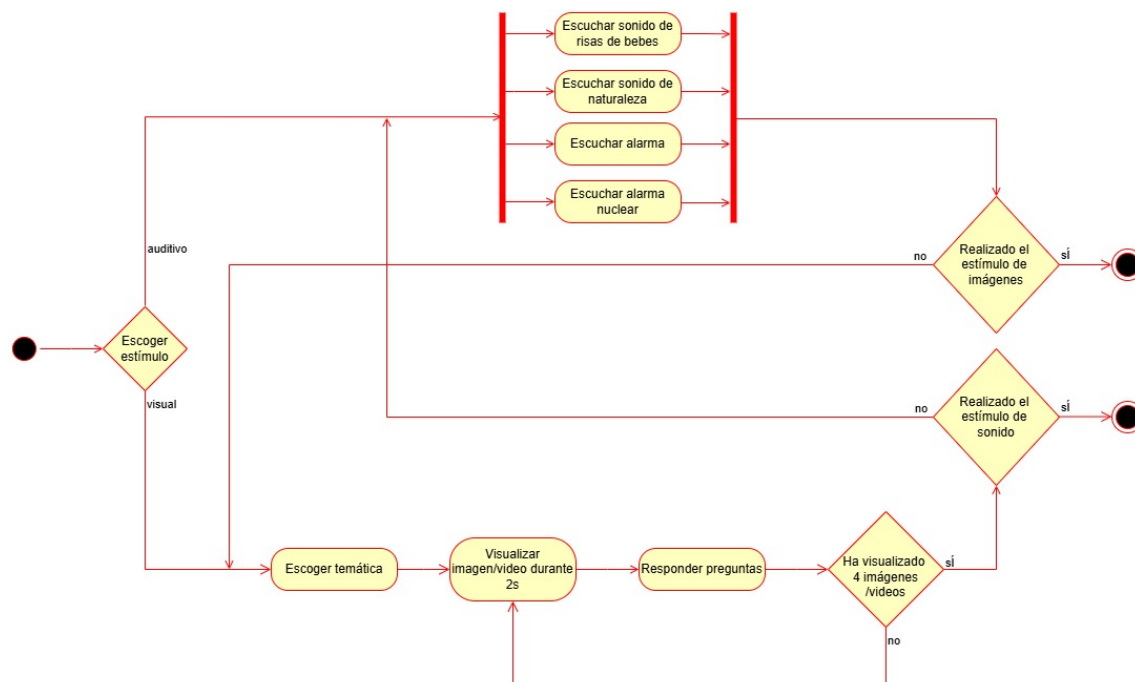
Los porcentajes obtenidos no fueron los esperados. A pesar de que la atracción negativa mostró el mejor porcentaje para esta métrica, la atracción positiva mostraba un porcentaje ínfimo por encima de los demás. Por lo tanto, se considera que esta parte del experimento no fue efectiva y que sería necesario replantear esta sección.

### Replanteamiento del experimento de valencia (atracción)

Una vez constatado que el primer planteamiento de la prueba de valencia no fue el adecuado, el equipo se reunió nuevamente para replantear el enfoque con el objetivo de obtener mejores datos. Extraer información sobre el grado de atracción de los usuarios no es tarea fácil, ya que esta es la métrica más subjetiva de las cuatro, lo que hacía necesario identificar algún patrón para diseñar el experimento y recoger los datos que el equipo buscaba. Finalmente, se decidió redirigir el experimento por dos caminos.

En la primera versión del experimento, los usuarios solo debían visualizar imágenes durante el tiempo que desearan, sin un objetivo claro. Al analizar los datos, se observó que los primeros 2 segundos tras aparecer la imagen, lo que podría considerarse la primera impresión, eran la parte más significativa del experimento. Por lo tanto, se decidió convertir esta sección en una especie de juego, haciendo que los paisajes aparecieran solo durante 2 segundos y, posteriormente, se preguntara a los participantes cuánto les había gustado. Esto permitió obtener una versión objetiva, a partir de los datos del casco neuronal, y una versión subjetiva, basada en la respuesta a la pregunta. Con esta modificación, los usuarios ya no estarían desorientados y tendrían un objetivo en la prueba, ya que en la primera versión, muchos de ellos no comprendían el propósito y dudaban constantemente sobre lo que hacían, generando resultados inesperados.

Además de esta mejora, se decidió incluir una segunda parte en el experimento. La atracción en los seres humanos puede activarse de muchas maneras: visual, auditiva o gustativamente. Por ello, se añadió una nueva sección al experimento de valencia, que incluía cuatro sonidos: dos comúnmente asociados con atracción positiva y dos con negativa. En esta parte, también se estableció un objetivo claro para los usuarios, quienes debían identificar cada sonido y expresar si les había gustado o no.



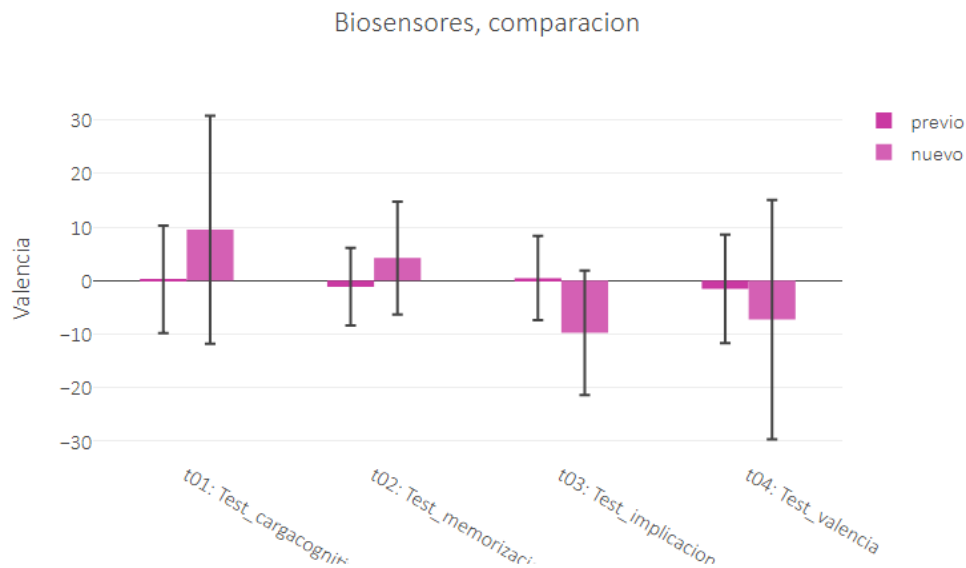
**Figura 6.11:** Diagrama de flujo de la segunda versión de la prueba de valencia/atracción.

Para proporcionar una visión más clara de la prueba de atracción, se elaboró el diagrama de flujo que se muestra en la Figura 6.11. En él, se detalla que, antes de concluir la prueba, deben completarse ambos caminos: tanto el de escuchar los sonidos como el de visualizar las imágenes. Además, se ha resaltado la aleatoriedad en las pruebas, indicando que no es necesario presentar los 4 sonidos o las 4 imágenes en un orden específico, pero siempre deben ser esos 4 sonidos y 4 imágenes.

### Análisis de la nueva sección

Tras el diseño de la nueva prueba, se quiso experimentar con 4 personas para ver si se había conseguido maximizar los resultados obtenidos con la primera versión. Para com-

parar con el previo, se ecogieron 4 experimentos aleatorios para poder ver la diferencia entre un modelo y otro.



**Figura 6.12:** Gráfica del nuevo experimento de atracción.

Como se puede apreciar en la Figura 6.12, ha habido un aumento en la nueva versión, lo que sugiere que este nuevo experimento se puede continuar ejecutando en el futuro para obtener los datos necesarios para desarrollar los módulos de ML.

### 6.2.2. Preprocesamiento de datos (*Data preparation*)

En la segunda parte del pipeline, se debía limpiar y preprocesar los datos obtenidos en la primera sección. Debido a que el experimento de atracción no resultó efectivo desde el principio, se tuvo que prescindir de realizar el módulo de valencia, pero proseguir a la realización de los otros tres, por lo que se debía ver los datos obtenidos habían sido suficientes o no. El experimento se realizó a 36 personas, proporcionando una cantidad de datos suficiente para entrenar un modelo, pero existen técnicas para crear datos sintéticos y aumentar así la cantidad total de datos y mejorar la calidad del modelo. Por lo tanto, se propuso realizar un proceso de "*Data Augmentation*" explicado en el apartado 2.5.

#### Procesos de *Data Augmentation*

Se aplicaron los dos procesos explicados en los apartados 2.5.1 y 2.5.2. Tras estas aplicaciones, el conjunto de datos se amplió de 36 entradas de datos reales, a 108 entradas de datos totales. Con estas dos técnicas, se generaron 72 entradas de datos sintéticos, convirtiendo el dataset inicial a uno con un número de datos suficiente para entrenar los modelos de ML.

## Preprocesamiento y limpieza de datos

Con todo lo anterior realizado, en esta parte se involucraba lo que se realizó en el trabajo previo de este TFG. En el proceso de limpieza de datos para el entrenamiento de los modelos de ML, se utilizaron varias técnicas para eliminar el ruido y mejorar la calidad de los datos EEG. Primero, se aplicaron filtros de banda utilizando la librería MNE para eliminar frecuencias no deseadas; específicamente, se utilizó un filtro de paso alto sobre la frecuencia de 1 Hz para eliminar el ruido de offset, y un filtro de paso bajo para eliminar frecuencias superiores a 30 Hz, que no son relevantes para el análisis de las métricas. Estos filtros ayudaron a aislar las frecuencias de interés y mejorar la claridad de las señales.

Posteriormente, se utilizó el Análisis de Componentes Independientes (ICA) para identificar y separar los artefactos que podían estar presentes en las señales EEG, como el ruido ocular y los movimientos musculares. Este algoritmo permitió separar las fuentes de ruido de las señales cerebrales útiles. Tras aplicar el ICA, se eliminaron los componentes asociados al ruido, lo que redujo significativamente los picos no deseados en las señales. Con estos procedimientos, se logró obtener datos más limpios y fiables para el entrenamiento de los modelos de machine learning haciendo que las predicciones sean más efectiva.

### 6.2.3. Selección del modelo (*Build model*)

Después de realizar la limpieza y el preprocesamiento de los datos, había que seleccionar el tipo de modelo de ML adecuado. La elección del modelo es importante debido a que la efectividad de un modelo de machine learning depende en gran medida del tipo de datos con los que se trabaja. Por lo tanto, no se podía tomar esta decisión a la ligera.

Como se ha mencionado en el apartado 2.6, en el trabajo previo a este TFG, se realizó una investigación para ver que tipo de ML era el mejor para los datos obtenidos y se llegó a la conclusión de escoger un modelo de regresión. El modelo de regresión se eligió para este proyecto debido a la naturaleza numérica y continua de las métricas que se deseaban predecir. Las métricas como valencia, memorización, carga cognitiva e implicación se cuantifican en valores numéricos que varían de manera continua, lo que hace que un modelo de regresión sea particularmente adecuado para este tipo de predicciones. A diferencia de los modelos de clasificación, que asignan categorías discretas, un modelo de regresión puede capturar y predecir la variabilidad continua de estas métricas en función de los datos de entrada.

Además, se optó por el uso de una red neuronal de regresión implementada con la clase `MLPRegressor` de la librería `scikit-learn`. Este modelo fue seleccionado por su capacidad para manejar datos complejos y aprender relaciones no lineales entre las características de las señales EEG y las métricas de salida.

No obstante, para evitar limitarse a una única opción, se decidió explorar la librería y analizar diferentes tipos de modelos de regresión, con el objetivo de determinar cuál sería el más adecuado. Entre ellos se decidió analizar el árbol de decisión, las redes neuronales y la máquina de vectores de soporte, explicados en el apartado 2.6.

### Árbol de decisión

Para el árbol de decisión, se ha decidido emplear el parámetro `"max_depth"`, que indica la profundidad máxima que se le asigna al árbol.

## Redes neuronales

En el trabajo previo, se demostró que un número adecuado de neuronas para el entrenamiento es 40, por lo que se mantuvo esta configuración y se decidió cambiar el algoritmo de optimización utilizado en el modelo, variando entre Adam y L-BFGS.

## Máquina de vectores de soporte

En este estudio, se optó por usar el la máquina de vectores LinearSVC, variando los parámetros: "C", que controla la regularización del modelo, donde valores más bajos implican una regularización más fuerte; "max\_iter", que define el número máximo de iteraciones permitidas durante la optimización; y "tol", que establece la tolerancia para los criterios de convergencia que determinan el momento de detener la optimización.

Para este modelo, se desarrolló un script en Python capaz de identificar los parámetros que mejor se ajustaban a los datos disponibles.

### 6.2.4. Entrenamiento y evaluación del modelo (*Model Training*)

Siguiendo con la fase de entrenamiento y evaluación de los modelos elegidos, de toda la muestra que se obtuvo en las fases anteriores, gracias al experimento y al *Data Augmentation*, se cogió el 80 % de los datos para el entrenamiento de los distintos módulos y el 20 % restante se cogió para la evaluación de estos módulos.

Para el método de evaluación, se decidió usar las tres métricas descritas en el apartado 2.7, para comprobar el correcto funcionamiento de estos módulos. Con esto, se tenía que tener en cuenta que se podría dar el caso de que un modelo de ML se adaptaría mejor a los datos de una métrica que a la de otra, por lo que se podría dar el caso de usar distintos modelos de ML para cada una de las métricas.

## Carga cognitiva

Se entrenó en primer lugar un módulo de carga cognitiva con el modelo de redes neuronales, obteniendo los resultados de la métrica MAE en la Tabla 6.1.

	Adam	L-BFGS
MAE	25.34	25.05

**Tabla 6.1:** Resultados del modelo de Redes neuronales para Carga cognitiva.

Frente a estos resultado, se decidió escoger la versión con el algoritmo de optimización L-BFGS para la comparación con los otros modelos.

Posteriormente, se entrenaron los modelos de los arboles de decisión variando la profundidad máxima del arbol, obteniendo los dato de la Tabla 6.2.

	5	10	15	30	50	100	150
MAE	26.23	25.94	25.06	20.42	15.60	15.22	15.35

**Tabla 6.2:** Resultados del modelo de Árboles de decisión para Carga cognitiva.

Se observa que, al aumentar la profundidad, el rendimiento del modelo mejora hasta alcanzar un límite en 150, a partir del cual comienza a deteriorarse. Basándose en estos resultados, se opta por utilizar una profundidad máxima de 100 para el modelo.

Para la selección del modelo de máquina de vectores de soporte, se ejecuto el script desarrollado y se llego a que con los parametros siguientes, se obtenía un MAE de 24.91:

- $C = 0.1$
- $max\_iter = 2000$
- $tol = 1e-05$

### Memorización

Más tarde, se comenzo a entrenar el módulo de memorización con el modelo de redes neuronales, obteniendo los resultados de la métrica MAE en la Tabla 6.3.

	Adam	L-BFGS
MAE	32.38	30.79

**Tabla 6.3:** Resultados del modelo de Redes neuronales para Memorización.

Frente a estos resultado, se decidió escoger la versión con el algoritmo de optimización L-BFGS para la comparación con los otros modelos.

Posteriormente, se entrenaron los modelos de los arboles de decisión variando la profundidad máxima del arbol, obteniendo los dato de la Tabla 6.4.

	5	10	15	30	50	100	150
MAE	32.01	31.21	29.05	20.63	14.09	12.64	12.97

**Tabla 6.4:** Resultados del modelo de Árboles de decisión para Carga cognitiva.

Como en el caso anterior, se nota que al incrementar la profundidad, el rendimiento del modelo mejora hasta llegar a un máximo en 150, después del cual disminuye. En base a estos resultados, se elige una profundidad máxima de 100 para el modelo.

Al ejecutar el script desarrollado para la selección del modelo de máquina de vectores de soporte, se encontró que los siguientes parámetros resultaron en un MAE de 31.23:

- $C = 0.1$
- $max\_iter = 2000$
- $tol = 1e-05$

### Implicación

Por último, se entrenó el módulo de implicación con el modelo de redes neuronales, obteniendo los resultados de la métrica MAE en la Tabla 6.5.

	Adam	L-BFGS
MAE	24.82	24.15

**Tabla 6.5:** Resultados del modelo de Redes neuronales para Implicación.

Frente a estos resultado, se decidió escoger la versión con el algoritmo de optimización L-BFGS para la comparación con los otros modelos.

Posteriormente, se entrenaron los modelos de los arboles de decisión variando la profundidad máxima del arbol, obteniendo los dato de la Tabla 6.6.

	5	10	15	30	50	100	150
MAE	23.99	23.72	23.27	19.48	14.45	14.02	14.08

**Tabla 6.6:** Resultados del modelo de Árboles de decisión para Implicación.

De manera similar a los casos anteriores, se observa que al aumentar la profundidad, el rendimiento del modelo mejora hasta un límite en 150, después del cual comienza a deteriorarse. Por lo tanto, se decide utilizar una profundidad máxima de 100 para el modelo.

Para seleccionar el modelo de máquina de vectores de soporte, se ejecutó el script desarrollado y se determinó que con los siguientes parámetros se alcanzaba un MAE de 24.17:

- $C = 0.1$
- $max\_iter = 3000$
- $tol = 1e-05$

### Selección del modelo

Tras hacer las comprobaciones anteriores, se evaluaron juntos los 3 módulos seleccionados anteriormente y se desarrollaron las siguientes tablas:

#### Carga Cognitiva

	MAE	MedAE	$R^2$
Redes Neuronales	25.05	20.297	0.0001
Árbol de Decisión	15.22	0.288	-0.012
Máquina de Vectores de Soporte	24.91	13.202	-0.314

**Tabla 6.7:** Comparativa de los módulos de Carga Cognitiva.

### Memorización

	MAE	MedAE	$R^2$
Redes Neuronales	30.79	25.459	0.019
Árbol de Decisión	12.64	0.022	0.447
Máquina de Vectores de Soporte	31.23	17.788	-0.964

Tabla 6.8: Comparativa de los módulos de Memorización.

### Implicación

	MAE	MedAE	$R^2$
Redes Neuronales	24.15	19.562	-0.254
Árbol de Decisión	14.02	0.959	0.127
Máquina de Vectores de Soporte	24.17	16.985	-0.448

Tabla 6.9: Comparativa de los módulos de Implicación.

Analizando los datos proporcionados en las tablas sacamos las siguientes conclusiones:

**Carga Cognitiva:** Al analizar los datos de la Tabla 6.7, se observa que el modelo que mejor se adapta a los datos es el árbol de decisión. Le sigue la máquina de vectores de soporte, ya que sus métricas son superiores a las obtenidas por el modelo de redes neuronales.

**Memorización:** Al analizar la Tabla 6.8, se observa, al igual que en el caso anterior, que el árbol de decisión es el modelo que mejor se ajusta a los datos. Le sigue el modelo de la máquina de vectores de soporte. Aunque el MAE sea mayor en este modelo en comparación con el de redes neuronales, la métrica decisiva para determinar la calidad del modelo es el MedAE, lo que posiciona a la máquina de vectores de soporte como un mejor modelo que las redes neuronales en este caso.

**Implicación:** Al analizar la Tabla 6.9, se observa un patrón similar a los casos anteriores, donde el modelo que mejor se ajusta a los datos es nuevamente el árbol de decisión, seguido por la máquina de vectores de soporte.

Tras este análisis, se podría concluir que el árbol de decisión es el mejor modelo y, por tanto, el más adecuado para su uso. Sin embargo, debido a la posibilidad de sobreajuste en este modelo, se decidió llevar a cabo un segundo experimento. Este nuevo experimento se orientó más específicamente hacia el objetivo central de la investigación: desarrollar interfaces que se adapten según el estado emocional del usuario, permitiendo así probar los módulos de ML. Con la realización de este experimento, se determinaría de manera definitiva el módulo de ML que se utilizará en la aplicación.



### **Caso de uso: Uso de los modelos para evaluar la interacción persona-computador**

Como se mencionó anteriormente, se desarrolló un segundo experimento con el propósito de futuras investigaciones, en el cual se presentaron diferentes interfaces a los usuarios para analizar su estado cerebral. En este experimento, se diseñaron dos interfaces de una cartelera de cine: una bien diseñada y otra mal diseñada, con el objetivo de evaluar la carga cognitiva y la capacidad de memorización de los usuarios al interactuar con dichas interfaces. Además, se crearon tres aplicaciones en Figma [15], una herramienta de diseño y prototipado, para analizar el grado de atracción e implicación de los usuarios respecto al diseño de estas aplicaciones. Se pueden consultar más detalles y visualizar todas las interfaces diseñadas en el Apéndice B.

Posteriormente, se convocó a un grupo de tres personas, cada una en horarios distintos, para llevar a cabo el experimento. Se recopilaron los datos en bruto y, utilizando los nuevos módulos, se procesaron dichos datos. Al compararlos con los datos procesados reales, se validó que el modelo de árbol de decisión presentaba un caso de sobreajuste. Por esta razón, se decidió optar por el modelo de máquina de vectores de soporte como el más adecuado.

#### **6.2.5. Despliegue del modelo (*Model deployment*)**

Una vez evaluados y seleccionados los módulos de ML, se procedió a desplegar los modelos. Se decidió alojarlos en un servidor de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) para que fueran accesibles desde diferentes ubicaciones, ya que resultaría más práctico que mantenerlos en la máquina local donde se desarrollaron.

Aunque esta solución es funcional, se reconoce que no es la más óptima a largo plazo, especialmente si aumenta significativamente el número de usuarios que utilizan estos módulos, lo que podría afectar la rapidez de acceso al servidor. Por lo tanto, se puede considerar la posibilidad de migrar estos modelos en el futuro a un servidor proporcionado por Amazon Web Services (AWS) o Azure, con el fin de garantizar una mayor accesibilidad para un mayor número de usuarios.

#### **6.2.6. Supervisión y mantenimiento (*Performance monitoring*)**

Por último, en esta fase se ha diseñado un plan de mantenimiento y supervisión para los módulos desarrollados, ya que es necesario reentrenarlos y mejorarlos periódicamente para ofrecer a los usuarios el mejor servicio posible.

En el futuro, al haber mejorado el experimento como se menciona en el apartado 6.2.1, será necesario repetirlo para extraer información sobre el grado de atracción y así desarrollar el último módulo de ML. Además, al obtener más datos de las otras métricas, se podrán reentrenar los modelos existentes, lo que permitirá mejorar los resultados en el procesamiento de los datos.

Además, al estar los módulos actualmente alojados en un servidor de la UPV, son fácilmente accesibles para el equipo, lo que permite una supervisión constante en caso de fallos o de que se generen datos erróneos.

### **6.3 BrainScope**

---

Una vez completado el Machine Learning Pipeline, quedaba por desarrollar la aplicación de software llamada BrainScope, que se compone principalmente de tres compo-

mentes: un servidor donde se utilizarán los módulos de ML, un Backend para gestionar la lógica de la aplicación, y un Frontend que permitirá mostrar los datos y permitir la interacción del usuario con la aplicación.

### 6.3.1. Server

El primer componente que se desarrolló fue el servidor destinado a alojar los módulos de ML y permitir su uso. Para garantizar su correcto funcionamiento, se diseñaron varios subcomponentes, incluyendo un componente de preprocesamiento, uno de integración, y una API que facilita el acceso a estos módulos y permite realizar el procesamiento de datos.

#### Módulo de preprocesado

El módulo de preprocesado se basa en un script de Python diseñado para aceptar datos en bruto a partir de un archivo CSV y realizar su limpieza, ya que estos datos contienen variaciones como ruido ocular, entre otros. Esta etapa de limpieza, detallada en la sección 6.2.2, sigue el proceso descrito en trabajos previos. Esta acción es necesaria porque los módulos de ML fueron entrenados con datos ya preprocesados.

Una vez que se ha completado la limpieza y preprocesamiento de los datos en bruto, estos deben ser divididos en cuatro archivos CSV, cada uno correspondiente a una métrica específica. Estos archivos contienen los datos relevantes de los electrodos necesarios para cada métrica, dado que, según la métrica, se requieren ciertos electrodos que captan ondas cerebrales específicas relacionadas con dichas métricas.

En resumen, el módulo de preprocesado se encarga de tomar los datos en bruto, realizar su limpieza y preprocesamiento, y luego dividirlos en los correspondientes archivos CSV para su posterior análisis.

#### Módulo de unión

El módulo de unión también se basa en un script de Python, que recoge los archivos CSV resultantes del procesamiento de los módulos y los combina en un único archivo CSV.

Para llevar a cabo esta unión, era necesario incluir la columna de tiempo en la que se habían adquirido los datos. Durante el entrenamiento de los módulos, esta columna se omitió porque no se consideró relevante. Sin embargo, se investigó y se descubrió que el casco de adquisición de datos capturaba información en intervalos de 4 milisegundos. Con esta información, se pudo construir una columna auxiliar de tiempo, sabiendo que los datos generados por los módulos correspondían a intervalos de 4 milisegundos entre ellos. Con todos estos elementos, se logró desarrollar el módulo de unión, permitiendo consolidar todos los datos en un único archivo CSV.

#### API

Para completar el componente del servidor, era necesario ofrecer un mecanismo de acceso, por lo que se optó por desarrollar una interfaz que pudiera recibir solicitudes de la aplicación y responder con los datos procesados correspondientes a cada petición.

Como se mencionó en el Capítulo 5, se utilizó Flask para desarrollar esta interfaz, ya que permite crearla de manera rápida y sencilla. Solo fue necesario implementar un único

método GET para proporcionar los datos procesados. Con esto en mente, se desarrolló la API y se incluyeron dos mensajes de error cruciales para notificar al usuario en caso de que ocurriera algún problema: el error 400, que se genera si el usuario proporciona un archivo CSV incorrecto, y el error 500, que se activa si el servidor no responde.

### 6.3.2. Backend

Tras la realización del servidor, se podía empezar a la realización de la lógica de la aplicación. Se hizo el análisis de requisitos explicado en el Capítulo 4 y con ello se decidió diseñar el Backend con los distintos módulos visibles en la Figura 5.1. Además, como se quería hacer que el Frontend supiera lo mínimo posible la lógica del Backend, se quisieron desarrollar dos interfaces de acceso a este, que más tarde se decidió usar un patrón fachada para su desarrollo.

#### Módulo de datos procesados

El módulo de datos procesados se distingue por su función similar al módulo de preprocesado, con la diferencia de que no se encarga de limpiar o preprocesar los datos. Este módulo recibe un archivo CSV con los datos ya procesados y separa sus columnas en diferentes archivos CSV, lo que facilita la visualización de los datos en la interfaz. Para lograr esto, se desarrolló un script en Python que acepta un archivo CSV y extrae de él las columnas correspondientes a cada métrica y la columna de tiempo. De este modo, cuando se proporciona esta información al Frontend, es posible seleccionar y mostrar los datos según el momento temporal del video.

#### Módulo de mapa de calor

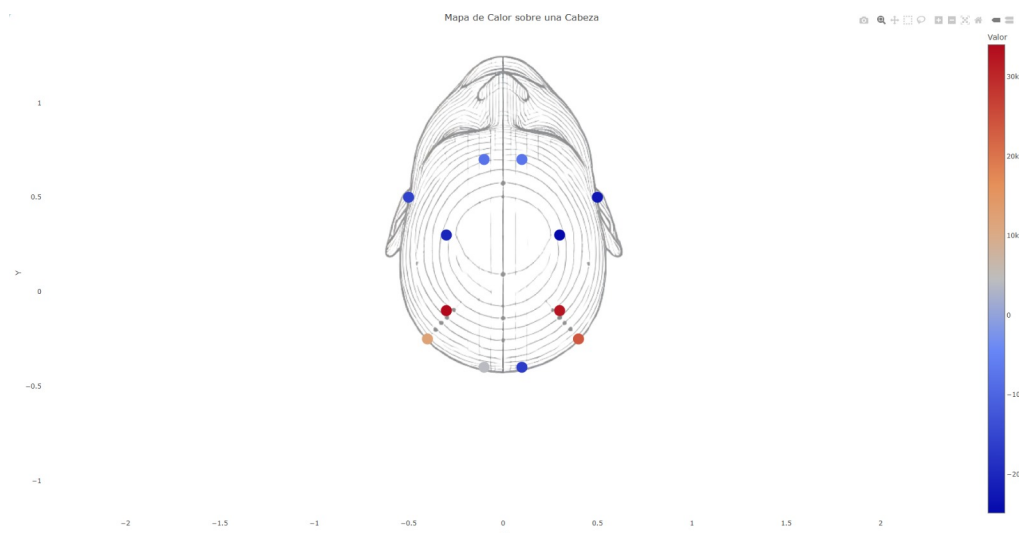
El módulo de mapa de calor se encargaba de aceptar un archivo CSV con los datos en bruto, similar al módulo de preprocesado. Sin embargo, en lugar de preprocesar y limpiar los datos, su función principal era leer la información y generar un archivo HTML que muestra un mapa de calor, resaltando las zonas activas del cerebro. Para lograr esto, se desarrolló un script en R, dado que, como se mencionó en el Capítulo 5, este lenguaje es ideal para crear gráficos interactivos, como el mapa de calor en cuestión. El objetivo era permitir al usuario visualizar qué áreas del cerebro están activas durante la realización de una tarea específica.

El resultado obtenido al ejecutar el script se muestra en la Figura 6.13. En esta figura, se han representado las posiciones de los 12 electrodos del casco neuronal utilizado, asignando un color a cada uno según la actividad registrada en esa zona durante el experimento.

#### Módulo de videos

El módulo de videos es el más sencillo de todos los desarrollados. Su función principal es almacenar los metadatos del video que se mostrará en la interfaz, como la duración del video o la cantidad de fotogramas por segundo.

Durante el desarrollo de la interfaz, se observó que las gráficas de las métricas no mostraban adecuadamente los datos deseados. Este problema se discutirá más adelante. Para solucionarlo, se decidió mostrar solo 10 segundos de datos en las métricas, y a medida que el video avanzara, la gráfica se actualizaría en función del segundo en el que se



**Figura 6.13:** Mapa de calor obtenido con el módulo de mapa de calor

encontrara. Para implementar esta funcionalidad, se añadió a este módulo un método capaz de obtener el segundo exacto del video y, a partir de ahí, extraer y enviar al Frontend la parte relevante de los datos que debían mostrarse.

### Módulo de comunicación

El módulo de comunicación se encarga de gestionar las solicitudes a la interfaz del servidor. Para este propósito, se desarrolló un script en Python que recibe un archivo CSV con los datos en bruto, envía una solicitud al servidor con este CSV, y, una vez que obtiene la respuesta, devuelve el nuevo archivo procesado al Frontend.

### Interfaces

Del Backend, solo quedaba por desarrollar las interfaces previstas en la arquitectura para permitir la comunicación con el Frontend. Durante el diseño del software, se consideró la posibilidad de implementar estas interfaces como dos fachadas, con el fin de evitar que el Frontend tuviera acceso directo a toda la lógica de negocio. Por lo tanto, se decidió crear dos fachadas para diferenciar las principales funcionalidades de la aplicación y así lograr un diseño más robusto y flexible, que facilite futuras mejoras. Si se hubiera optado por una única fachada, cualquier ampliación del código habría requerido modificaciones extensas, lo que podría haber conducido a malas prácticas de desarrollo.

La primera fachada desarrollada es la destinada a gestionar las peticiones para la visualización de datos. Su estructura se muestra en la Figura 6.14. Además, junto con este patrón, se implementó un Singleton para evitar la creación de múltiples instancias del servicio, lo que permitió un acceso más eficiente a la lógica de negocio.

La segunda fachada desarrollada se encarga de gestionar el procesamiento de los datos en crudo. Su estructura se muestra en la Figura 6.15. Al igual que con la fachada para las peticiones de visualización de datos, esta se diseñó en conjunto con un Singleton para evitar la creación de múltiples instancias de la lógica, lo que también contribuye a hacer más eficiente el acceso y la gestión de los recursos.

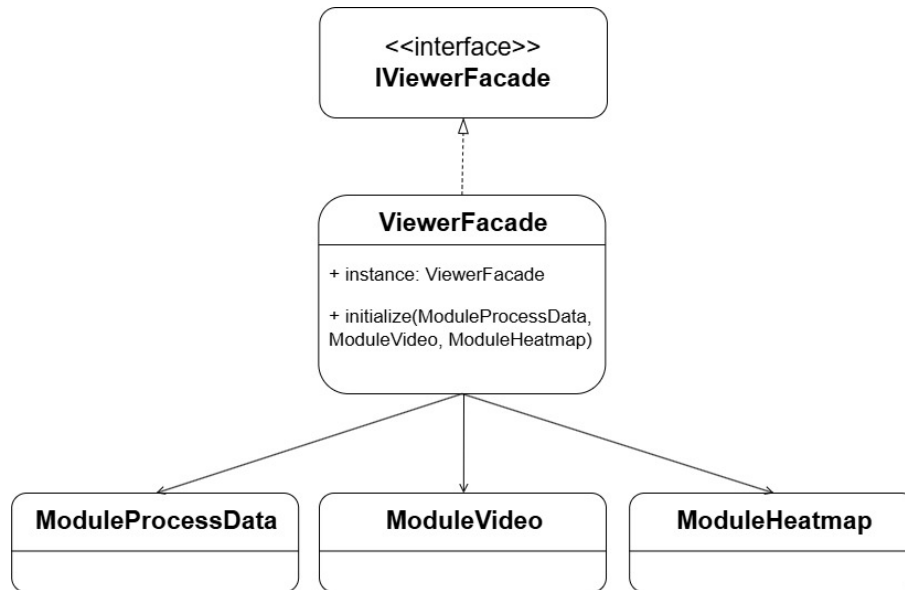


Figura 6.14: Fachada para peticiones de visión.

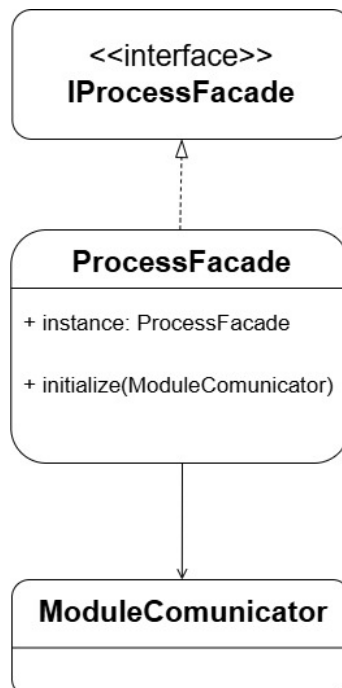
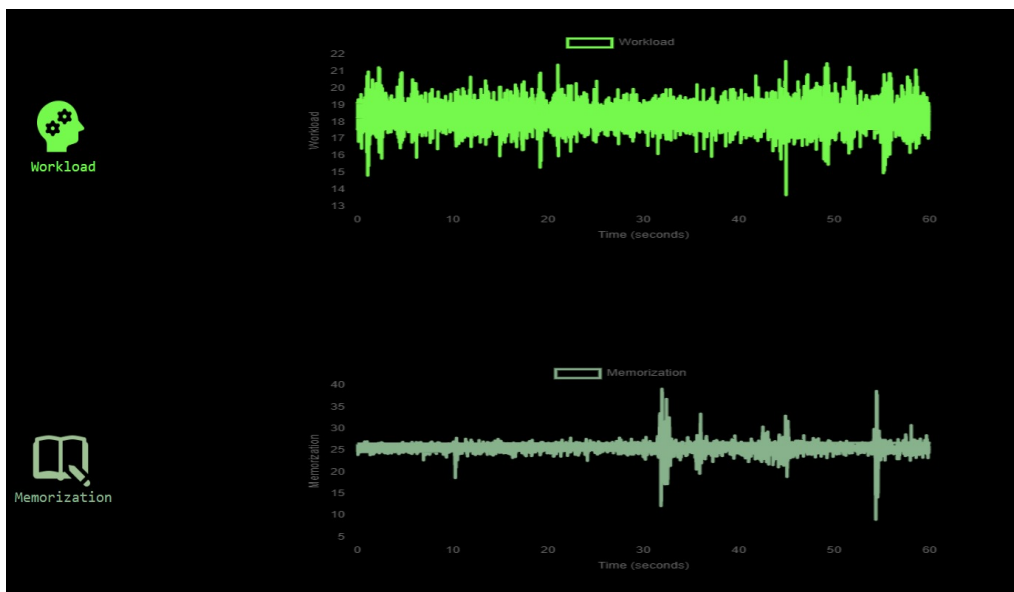


Figura 6.15: Fachada para peticiones de procesamiento de datos.

### 6.3.3. Frontend

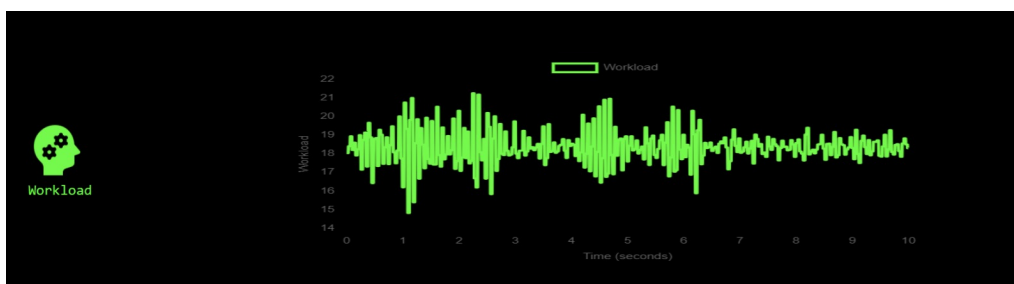
El último componente que quedaba por desarrollar era el Frontend, encargado de facilitar la interacción entre los usuarios y la aplicación. A diferencia del servidor o el backend, en este componente no era necesario desarrollar módulos tan complejos, sino que el enfoque principal fue decidir la mejor manera de presentar los datos utilizando los recursos que proporcionan las distintas bibliotecas de Electron.

Durante su desarrollo, surgieron algunos desafíos relacionados con la visualización de los datos, como el problema ilustrado en la Figura 6.16, que requirió soluciones para mejorar la presentación de la información..



**Figura 6.16:** Métricas de Carga Cognitiva y Memorización mostradas en gráficas.

En las gráficas se mostraban inicialmente todos los datos recopilados, lo que resultaba en una presentación ilegible debido a la gran cantidad de información. Para solucionar este problema, se decidió mostrar los datos en fragmentos de 10 segundos en lugar de presentarlos todos a la vez. Además, se implementó una funcionalidad que permite que, al hacer clic en cualquier parte del video, se muestre el fragmento de 10 segundos correspondiente a la posición seleccionada por el usuario. Cada vez que el video avanza de un segundo a otro, por ejemplo, del segundo 10 al 11, las gráficas se actualizan automáticamente para mostrar el siguiente fragmento de 10 segundos con sus datos pertinentes. Como resultado, se logró lo que se muestra en la Figura 6.17, donde la legibilidad de los datos ha mejorado significativamente, facilitando al usuario la comprensión de la información sin un esfuerzo mental excesivo.



**Figura 6.17:** Métricas de Carga Cognitiva mostrada en gráficas.

El segundo problema que surgió fue la falta de tiempo para desarrollar uno de los casos de uso presentados en el Capítulo 4. El caso de uso "Elegir momento temporal del experimento" no pudo ser implementado tal como se había especificado en los requisitos debido a limitaciones de tiempo. No obstante, para ofrecer una funcionalidad similar, se decidió permitir al usuario visualizar el momento temporal en una ventana aparte cuando hacía clic en el video. Esta solución resultó ser más fácil y rápida de programar en comparación con la barra que se había originalmente planeado para las gráficas. Se consultó con el tutor sobre esta alternativa, y tras obtener su aprobación, se implementó lo acordado, lo que dio como resultado lo que se muestra en la Figura 6.18.

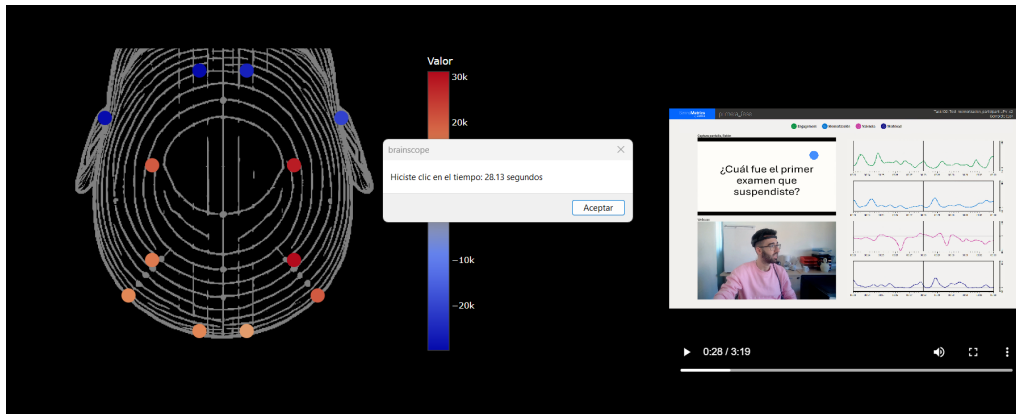


Figura 6.18: Mensaje de momento temporal selecciondo.

En lo que respecta al resto del desarrollo necesario para cumplir con la especificación de requisitos, todo se llevó a cabo de manera exitosa y conforme a lo previsto. Las funcionalidades adicionales y los módulos restantes fueron implementados sin contratiempos, asegurando que cada uno cumpliera con los criterios y estándares establecidos inicialmente. No se presentaron dificultades significativas durante estas etapas, lo que permitió un avance fluido y eficiente del proyecto.

---

---

# CAPÍTULO 7

## Pruebas

---

Por último, era necesario realizar pruebas al producto desarrollado para asegurarse de que todos los módulos funcionaran correctamente y de que la usabilidad cumpliera con las expectativas del usuario final. Con este objetivo, se optó por llevar a cabo pruebas unitarias en los componentes del Backend y del Servidor, lo que permitió verificar la funcionalidad y detectar posibles errores en etapas tempranas. Además, se aplicaron las Heurísticas de Nielsen en las interfaces desarrolladas, con el fin de garantizar una alta calidad en la experiencia de usuario y asegurar que la solución software fuera intuitiva y eficiente.

### 7.1 Pruebas unitarias

---

Se comenzó a probar el software realizando pruebas unitarias [36], un tipo de prueba que se enfoca en verificar el correcto funcionamiento de las unidades más pequeñas de un programa, como funciones o métodos individuales. Cada prueba unitaria se diseña para evaluar un aspecto específico del comportamiento de una unidad, asegurando que, con un conjunto determinado de entradas, la unidad produzca la salida esperada. Estas pruebas se caracterizan por ejecutarse de manera aislada, ser automáticas y rápidas de ejecutar. Entre sus principales ventajas se incluyen la detección temprana de errores, la facilidad para realizar refactorización del código, y la mejora en la documentación del mismo.

Dada la importancia de estas ventajas, se decidió implementar pruebas unitarias en los componentes del Backend y del servidor, ya que son cruciales para las principales funcionalidades del software desarrollado. Para llevar a cabo estas pruebas, se utilizó la tecnología unittest de Python, detallada en el Capítulo 5.

#### 7.1.1. Server

En la parte del servidor, se realizaron pruebas unitarias en los diferentes scripts desarrollados durante la creación de la aplicación.

##### `test_columns_to_csv`

Este método se encarga de unir las diferentes columnas de los distintos CSV que recibe el módulo de unión. Para probarlo, se siguió el siguiente procedimiento:

1. Se crearon DataFrames de entrada (time, engagement, memorization, y workload).



2. Se llama a la función `columns_to_csv` y se guarda el resultado.
3. Se define el DataFrame `expected_result` que es el resultado que se espera.
4. Se usa `pd.testing.assert_frame_equal` para verificar si el DataFrame resultante es igual al esperado.

### `test_generate_time_column`

Este método se encarga de generar la columna de tiempo necesaria para unir los distintos CSV proporcionados por los módulos de ML. Para probarlo, se siguió el siguiente procedimiento:

1. Se define el `length` que se quiere probar, en este caso 3, para simplificar la prueba.
2. Se llama a la función `generate_time_column` y se guarda el resultado.
3. Se crean manualmente el DataFrame `expected_result` con los valores esperados para la columna de tiempo.
4. Se utiliza `pd.testing.assert_frame_equal` para verificar si el DataFrame resultante es igual al esperado.

### `test_get_clean_data`

Este método se encarga de la limpieza y preprocesamiento de los datos, y forma parte del módulo de preprocesado. Para su prueba, se siguió el siguiente procedimiento:

1. Se define un método `setUp`, que se ejecuta antes de cada prueba. Aquí, se crea un DataFrame simulado con datos aleatorios que se utilizarán en las pruebas.
2. Se llama a `get_clean_data` y se verifica que el DataFrame resultante no esté vacío.
3. Después, se comprueba que las columnas generadas en el DataFrame de salida coinciden con las configuraciones esperadas.

Con este método, se ha buscado validar las tres métricas desarrolladas para esta aplicación: Carga Cognitiva, Memorización e Implicación. Para cada métrica, se ha implementado un método de prueba específico, basándose en el procedimiento anteriormente explicado.

### `test_pre_process`

Este método actúa como lanzadera, ejecutando todo el proceso de preprocesamiento y limpieza de datos, junto con el procesamiento en los módulos de ML y la consolidación de los distintos CSV generados por estos. Para su testeo, se siguió el siguiente procedimiento:

1. **Mocks:** Se usa `patch`, para simular las distintas funciones importadas en el método de `pre_process` como pueden ser `get_clean_data` o `generate_time_column` entre otros.
2. **Configuración** `mock_get_clean_data.side_effect` permite simular respuestas diferentes para cada llamada a `get_clean_data` dependiendo del orden.  
Los otros mocks (`mock_process_engagement`, etc.) devuelven DataFrames simulados.

3. Se crea un DataFrame de entrada simulado.
4. Se llama a *pre\_process* con el DataFrame de entrada.
5. Se comprueba que las funciones mock se llamaron correctamente con los argumentos esperados.
6. Se verifica que el DataFrame resultante no esté vacío y que tenga las columnas esperadas.

## API

Para verificar la API desarrollada, se crearon diversas pruebas destinadas a cubrir los distintos casos necesarios.

- **SetUp:** Se configura un cliente de prueba para interactuar con la aplicación Flask.
- **test\_process\_data\_sucess:** Simula una solicitud POST exitosa a *process\_data*. Se utiliza *patch* para simular la función *pre\_process* y devolver un DataFrame de prueba. Se envía una solicitud POST con datos CSV convertidos a JSON. Se verifica que la respuesta es exitosa (código de estado 200) y que el contenido JSON de la respuesta coincide con lo esperado.
- **test\_process\_data\_no\_json:** prueba el caso en que no se envía ningún dato JSON en la solicitud. Se verifica que el servidor responde con un error 400 y un mensaje apropiado.
- **test\_process\_data\_error:** Simula un error interno en *pre\_process*. Se configura *pre\_process* para lanzar una excepción. Se verifica que el servidor responde con un error 500 y un mensaje de error.

### 7.1.2. Backend

En la parte del backend, se realizaron pruebas unitarias en los distintos scripts durante el desarrollo de la aplicación.

#### TestModuleProcessData

En esta clase se llevan a cabo los diferentes tests asociados al módulo de procesamiento de datos. Para las pruebas, se aplicaron los siguientes métodos:

- **SetUp:** Este método se ejecuta antes de cada prueba. Aquí, se crea una instancia de *ModuleProcessData* y se define un conjunto de datos CSV de ejemplo que se usará en todas las pruebas.
- **test\_split\_Engagement\_csv**
  1. Se llama al método *split\_Engagement\_csv* con los datos simulados.
  2. Se compara el resultado con el resultado esperado, que es una lista de diccionarios con los valores correctos para las columnas 'time(s)' y 'Engagement'.
- **test\_split\_Memorization\_csv**

1. Se llama al método *split\_Memorization\_csv* y realiza la misma comparación con el resultado esperado, verificando las columnas 'time(s)' y 'Memorization'.
- *test\_split\_Workload\_csv*
    1. Se llama al método *split\_Workload\_csv* y verifica que el resultado coincida con los valores correctos para las columnas 'time(s)' y 'Workload'.

### TestModuleVideo

En esta clase se ejecutan los diversos tests relacionados con el módulo de videos. Para las pruebas, se emplearon los siguientes métodos:

- *test\_saveInformationVideo*
  1. Se usa *patch* para simular VideoFileClip.
  2. Se configura un objeto MagicMock para simular un video clip con una duración de 35 segundos.
  3. Tras esto, se llama a *saveInformationVideo* y se verifica que *duration* y *parts* se calculen correctamente.
- *test\_getPart*
  1. Se configura manualmente la duración (*duration*) y las partes (*parts*) del video en una instancia de *ModuleVideo*.
  2. Después, se prueban diferentes fragmentos llamando a *getPart* y verificamos que el resultado sea correcto en cada caso.

### TestHeatmap

En esta clase se llevan a cabo las diferentes pruebas asociadas al módulo del heatmap. Para realizar estas pruebas, se siguió el siguiente procedimiento:

1. Se crea un archivo CSV temporal con datos simulados para usar como entrada para la función.
2. Se llama a la función *generar\_heatmap* con el archivo CSV y una carpeta de salida temporal.
3. Se verifica que el archivo HTML se ha creado correctamente y contiene los elementos esperados.
4. Por último, se eliminan los archivos temporales después de la prueba para mantener el entorno limpio.

#### 7.1.3. Cobertura

Para finalizar las pruebas unitarias, se tenía que comprobar la cobertura conseguida con la pruebas realizadas, tanto en servidor como en el backend. La cobertura en pruebas unitarias [7] [1], es una métrica que mide el porcentaje de código que es ejecutado durante la ejecución de estas pruebas en una aplicación de software. Indica qué partes del código han sido testeadas y cuáles no, lo que ayuda a identificar áreas que pueden no estar bien cubiertas por las pruebas. Un alto porcentaje de cobertura sugiere que la mayoría

del código ha sido probado, lo que generalmente mejora la calidad y reduce el riesgo de errores en la aplicación. Sin embargo, alta cobertura no garantiza la ausencia de bugs, solo que el código ha sido ejecutado por las pruebas.

Existen muchos tipos de pruebas como:

- **Cobertura de líneas (Line Coverage):** Mide el porcentaje de líneas de código que han sido ejecutadas durante las pruebas. Es el tipo de cobertura más básico.
- **Cobertura de sentencias (Statement Coverage):** Similar a la cobertura de líneas, pero se enfoca en cuántas sentencias (instrucciones) han sido ejecutadas durante las pruebas.
- **Cobertura de ramas (Branch Coverage):** Mide el porcentaje de ramas de decisión (como las estructuras *if*, *else*, *switch*, etc.) que han sido ejecutadas. Se asegura de que todas las posibles ramas de decisión se hayan probado.
- **Cobertura de caminos (Path Coverage):** Mide la cantidad de caminos posibles a través del código que se han probado. Considera todas las combinaciones posibles de ejecución, lo que lo convierte en uno de los tipos más exhaustivos de cobertura.

En este caso, se emplearon librerías externas de Python y R para calcular de manera directa la cobertura de líneas obtenida durante las pruebas. Las librerías utilizadas fueron *coverage* en Python y *covr* en R. Con estas herramientas se extrajeron las siguientes tablas:

	Stmts	Miss	Cover	Missing
test_columns_to_csv	8	0	100 %	
test_generate_time_column	13	0	100 %	
test_get_clean_data	90	8	91 %	149-157
test_pre_process	26	0	100 %	
API	35	1	97 %	66

**Tabla 7.1:** Datos de la cobertura del servidor.

En la Tabla 7.1 se presentan diversos datos a partir de los cuales se puede calcular la cobertura de líneas. Los datos mostrados en la tabla son los siguientes:

- **Stmts:** Indica el número total de líneas ejecutables de código en ese archivo.
- **Miss:** Muestra cuántas de esas líneas no fueron cubiertas por las pruebas.
- **Cover:** Es el porcentaje de líneas de código que están cubiertas por las pruebas.
- **Missing:** Indica las líneas específicas que no fueron cubiertas por las pruebas.

Por lo tanto, la cobertura obtenida se muestra en la Figura 7.1. Esta cobertura puede considerarse adecuada, ya que se han cubierto la mayoría de las líneas de los métodos probados.

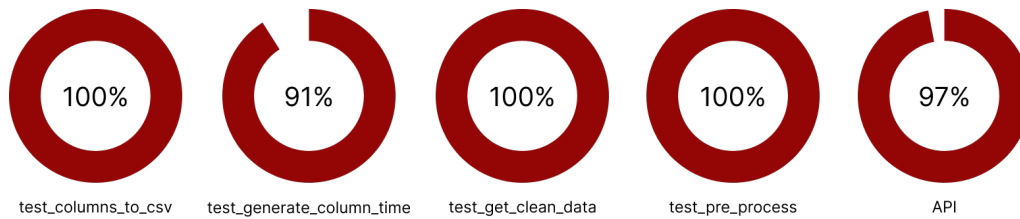


Figura 7.1: Cobertura conseguida en el servidor.

	Stmts	Miss	Cover	Missing
TestModuleProcessData	20	1	95 %	57
TestModuleVideoProcess	29	1	97 %	44

Tabla 7.2: Datos de la cobertura del backend.

En la Tabla 7.2 se muestran los datos previamente explicados.

Para comprobar la cobertura en el TestModuleHeatmap, se ejecuto el test pertinente a este y se obtuvo una cobertura del 97.62 %.

Todos estos datos se han representado en la Figura 7.2, lo que permite concluir que se ha logrado una buena cobertura en las pruebas realizadas tanto en el servidor como en el backend.

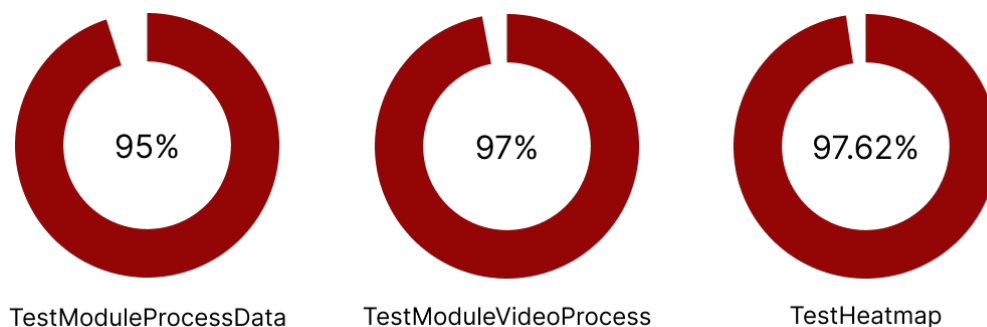


Figura 7.2: Cobertura conseguida en el backend.

## 7.2 Heurísticas de Nielsen

Para finalizar el capítulo de pruebas, se quiso realizar unas pruebas de usabilidad basandose en aplicar las "Heurísticas de Nielsen" [46]. Estas son un conjunto de principios generales para el diseño de interfaces de usuario, propuestos por Jakob Nielsen, un destacado experto en usabilidad. Estas heurísticas se utilizan como pautas para evaluar la usabilidad de un sistema y para mejorar el diseño de interfaces con el objetivo de que sean más intuitivas y fáciles de usar. Nielsen identificó 10 principios clave que son los más comunes para ayudar a los diseñadores a crear interfaces centradas en el usuario:

1. **Visibilidad del estado del sistema:** El sistema debe mantener a los usuarios informados sobre lo que está ocurriendo, proporcionando retroalimentación adecuada en un tiempo razonable.

2. **Correspondencia entre el sistema y el mundo real:** El sistema debe hablar el lenguaje de los usuarios, utilizando palabras, frases y conceptos que sean familiares para ellos, en lugar de términos orientados al sistema. Debe seguir las convenciones del mundo real, haciendo que la información aparezca en un orden natural y lógico.
3. **Control y libertad del usuario:** Aunque es mejor que el sistema se pueda usar sin documentación, puede ser necesario proporcionar ayuda y documentación. Esta información debe ser fácil de buscar, centrada en la tarea del usuario, listar pasos concretos a realizar y no ser demasiado extensa. Los usuarios a menudo seleccionan opciones por error; por lo tanto, se debe proporcionar una "salida de emergencia" claramente marcada para que puedan dejar un estado no deseado sin tener que pasar por un proceso extenso.
4. **Consistencia y estándares:** Los usuarios no deberían tener que preguntarse si diferentes palabras, situaciones o acciones significan lo mismo en diferentes contextos. Se deben seguir convenciones de plataforma reconocidas.
5. **Prevención de errores:** En lugar de solo mostrar mensajes de error, se debe diseñar el sistema para que prevenga la ocurrencia de errores en primer lugar.
6. **Reconocimiento antes que recuerdo:** Minimizar la carga de memoria del usuario haciendo que los objetos, acciones y opciones sean visibles. El usuario no debería tener que recordar información de una parte del diálogo a otra. Las instrucciones de uso del sistema deben ser visibles o fáciles de recuperar cuando sea necesario.
7. **Flexibilidad y eficiencia de uso:** Los aceleradores (no visibles para el usuario novato) pueden acelerar la interacción para el usuario experto, de modo que el sistema pueda atender tanto a usuarios inexpertos como experimentados. Permitir que los usuarios personalicen acciones frecuentes.
8. **Estética y diseño minimalista:** Las interfaces no deben contener información irrelevante o raramente necesaria. Cada unidad extra de información compite con las unidades relevantes de información y disminuye su visibilidad.
9. **Ayudar a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de errores:** Los mensajes de error deben expresarse en un lenguaje claro (sin códigos), indicando con precisión el problema y sugiriendo una solución constructiva.
10. **Ayuda y documentación:** Aunque es mejor que el sistema se pueda usar sin documentación, puede ser necesario proporcionar ayuda y documentación. Esta información debe ser fácil de buscar, centrada en la tarea del usuario, listar pasos concretos a realizar y no ser demasiado extensa.

### 7.2.1. Visibilidad del estado del sistema

Como se muestra en las Figuras 7.3 y 7.4, en los procesos que requieren dar feedback del proceso interno de la aplicación, se ha añadido una barra de progreso para que los usuarios sepan que el sistema no se ha quedado bloqueado.

### 7.2.2. Correspondencia entre el sistema y el mundo real

Esta heurística se puede aplicar para el modelo del mapa de calor, ya que lo que se decidió para dar a entender que era una mapa de calor de las zonas cerebrales, se decidió darle forma de cabeza.

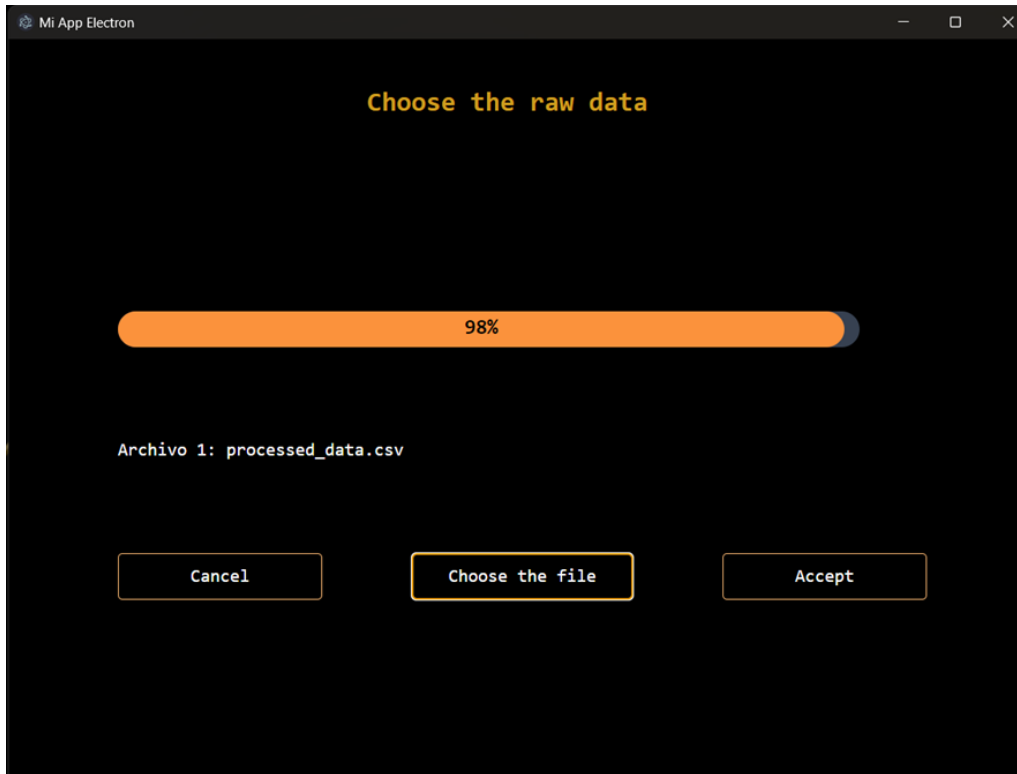


Figura 7.3: Escoger datos en crudo.

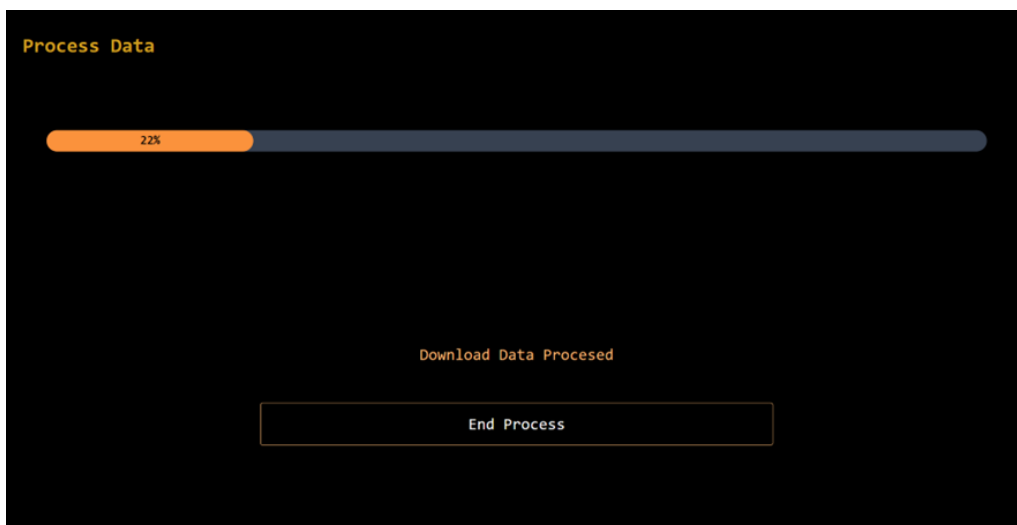


Figura 7.4: Procesamiento de datos en crudo.

### 7.2.3. Control y libertad del usuario

En la mayoría de interfaces adjuntadas en la sección, se muestra que el usuario es libre tanto de volver a las ventanas anteriores como de poder realizar las funciones que el quiera en cualquier momento. Sin embargo, a la hora de elegir lo archivos del experimento o el archivo donde se encuentran los datos en crudo para el procesamiento de estos, el usuario no posee la libertad de eliminar los archivos. Por lo tanto se encuentra una posible mejora en este aspecto.

Heurística	Control y libertad del usuario
Descripción	El usuario no posee una opción para poder eliminar los archivos que ha subido previamente en la aplicación.
Solución	Para solucionar este problema, el programador deberá de añadir un boton de eliminar en cada uno de los archivos en caso de que el usuario decida borrar alguno de los elementos subidos.

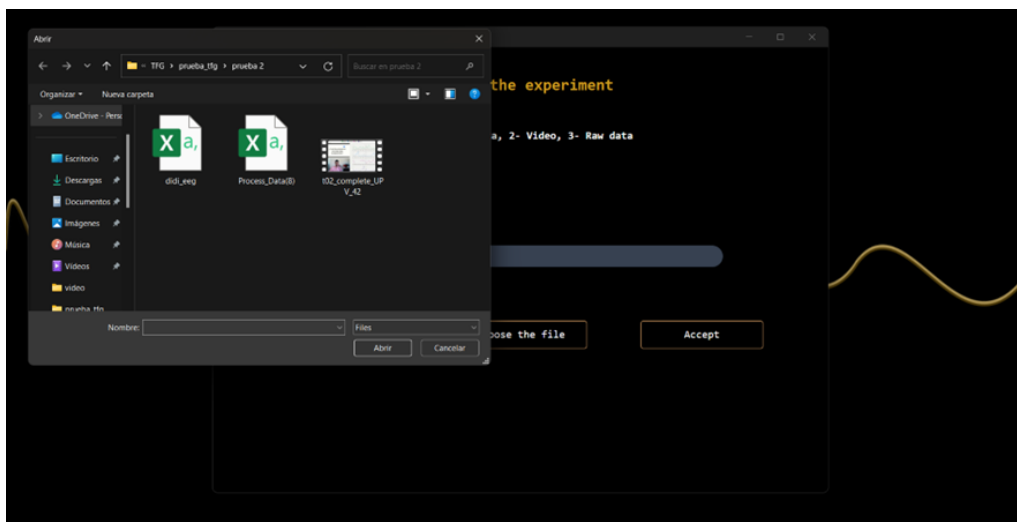
**Tabla 7.3:** Problema de eliminación de archivos.

#### 7.2.4. Consistencia y estándares

Se aprecia en todas las interfaces que cumplen todas los mismos estandarés de tamaños de letras, colores, etc. Además, el orden de los botones, los nombres elegidos o las imagenes escogidas están seleccionadas siguiendo los estándares de diseño, para que el usuario no tenga que preguntarse que significa cada cosa. Por lo tanto, podemos ver que hay consistencia y cumplimiento de estándares en todas las interfaces.

#### 7.2.5. Prevención de errores

En la Figura 7.5, lo que se ha hecho es evitar que el usuario pudiera escoger cualquier otro archivo que no fuera CSV o mp4, para el visionado del experimento, ya que solo interesan los archivos con esas extensiones.



**Figura 7.5:** Elección de archivos para experimentos.

En la Figura 7.6, lo que se ha hecho es indicar el orden en el que se requiere que el usuario proporcione los archivos requeridos. Con ello se impide que el usuario provoque un error a la hora de proporcionar los archivos en un mal orden.

En la Figura 7.7, lo que se ha hecho es impedir que el usuario pueda añadir cualquier archivo que no fuera CSV, ya que en esta funcionalidad solo interesa los archivos con extensión .CSV.





Figura 7.6: Escoger datos del experimento.

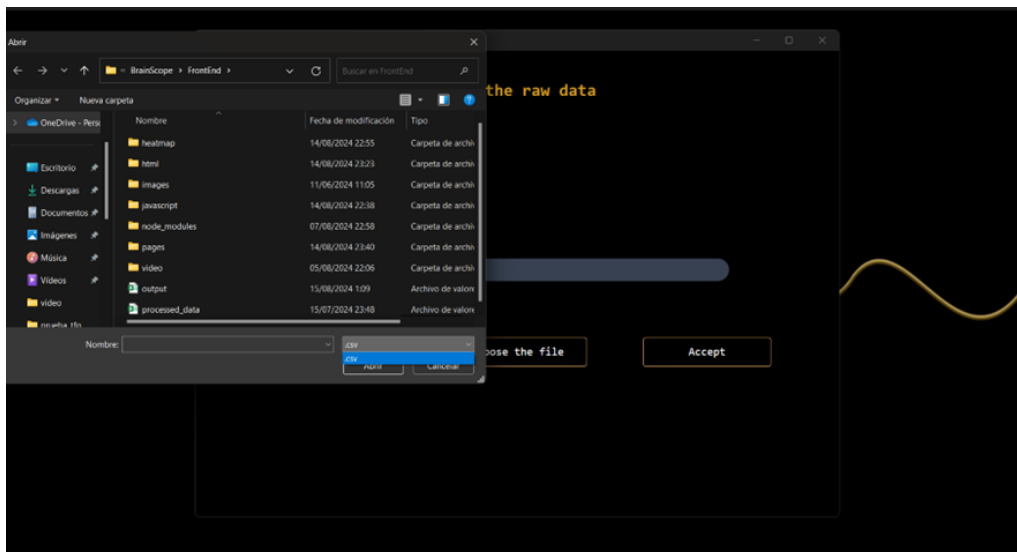


Figura 7.7: Elección de archivos de datos en crudo.

## 7.2.6. Reconocimiento antes que recuerdo

En esta aplicación, esta heristic esta presente en las interfaces de elección de datos, tanto para experimentos como para los datos en crudo (Figura 7.3), donde se exponen los nombres de los archivos escogidos para que el usuario sepa que archivos a subido y en la elección del tiempo en el experimento. Se puede apreciar en la Figura 7.8, cuando se escoge un momento temporal del video, aparece una ventana para poder visualizar el tiempo que se ha escogido para que el usuario no tenga que acordarse del momento que ha escogido. Sin embargo, se podría aplicar esta ventana flotante a la propia ventana

del experimento, añadiendo el tiempo escogido a la ventana principal. Por ello, se hace la propuesta de la Tabla 7.4, para mejorar la visualización del momento temporal.

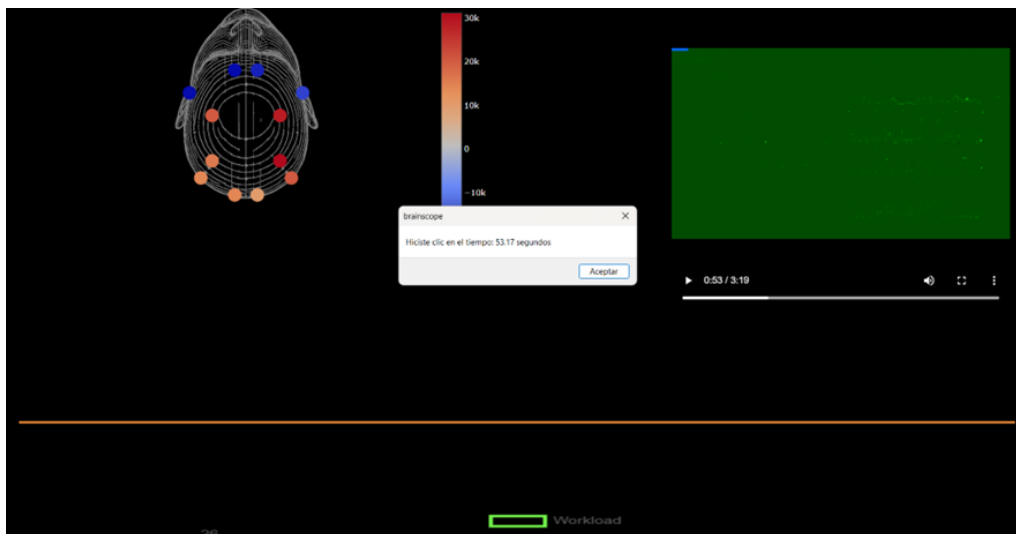


Figura 7.8: Aviso de elección de tiempo.

<b>Heurística</b>	<b>Reconocimiento antes que recuerdo</b>
<b>Descripción</b>	El usuario cuando escoge un momento temporal, se muestre el momento temporal que ha escogido.
<b>Solución</b>	En lugar de mostrar el tiempo en una ventana flotante, mostrarlo el tiempo al lado del video o en alguna zona cercana al video para eviatr añadir más ventanas en la aplicación.

Tabla 7.4: Mejora para mostrar el momento temporal.

### 7.2.7. Flexibilidad y eficiencia de uso

En la aplicación no se llegó a proporcionar atajos de teclado o alguna ventaja para usuarios avanzados, debido a falta de tiempo. Sin embargo, se plantean las siguientes propuestas para proporcionar una mejor interacción a los usuarios más aventajados de la aplicación:

- En la **Tabla 7.5**, se presenta una mejora para un atajo de teclado que permite elegir el momento temporal.
- En la **Tabla 7.6**, se presenta una mejora para un atajo de teclado que permite elegir visualizar la sesión.
- En la **Tabla 7.7**, se presenta una mejora para un atajo de teclado que permite elegir procesar datos.
- En la **Tabla 7.8**, se presenta una mejora para un atajo de teclado que permite elegir escoger archivos.
- En la **Tabla 7.9**, se presenta una mejora para un atajo de teclado que permite confirmar los archivos subidos.

- En la **Tabla 7.10**, se presenta una mejora para un atajo de teclado que permite cancelar los archivos subidos.

<b>Heurística</b>	<b>Flexibilidad y eficiencia de uso</b>
<b>Descripción</b>	Por ahora, los usuarios solo pueden pausar y elegir momento temporal pulsando en el video.
<b>Solución</b>	Para solucionar este problema, se recomienda que una vez iniciado el video, se pueda detener con la barra espaciadora y pudiéndose mover por el video con las teclas de las flechas y eligiendo el momento temporal también con la barra espaciadora.

**Tabla 7.5:** Propuesta de momento temporal pulsando tecla.

<b>Heurística</b>	<b>Flexibilidad y eficiencia de uso</b>
<b>Descripción</b>	El usuario tiene que clicar en el botón "View Session Metrics" para visualizar el experimento.
<b>Solución</b>	Como atajo de teclado, añadir el atajo de ctrl + M para visualizar el experimento.

**Tabla 7.6:** Propuesta de atajo de teclado para visualizar sesión.

<b>Heurística</b>	<b>Flexibilidad y eficiencia de uso</b>
<b>Descripción</b>	El usuario tiene que clicar en el botón "Process Data" para procesar los datos.
<b>Solución</b>	Como atajo de teclado, añadir el atajo de ctrl + P para procesar los datos en crudo.

**Tabla 7.7:** Propuesta de atajo de teclado para procesar datos.

<b>Heurística</b>	<b>Flexibilidad y eficiencia de uso</b>
<b>Descripción</b>	El usuario tiene que clicar en el botón "Choose file" para escoger archivos.
<b>Solución</b>	Como atajo de teclado, añadir el atajo de ctrl + O para escoger los archivos.

**Tabla 7.8:** Propuesta de atajo de teclado para escoger archivos.

<b>Heurística</b>	<b>Flexibilidad y eficiencia de uso</b>
<b>Descripción</b>	El usuario tiene que clicar en el botón "Accept" para confirmar los archivos subidos.
<b>Solución</b>	Como atajo de teclado, añadir el atajo de Enter para confirmar los archivos subidos.

Tabla 7.9: Propuesta de atajo de teclado para confirmar los archivos subidos.

<b>Heurística</b>	<b>Flexibilidad y eficiencia de uso</b>
<b>Descripción</b>	El usuario tiene que clicar en el botón "Cancel" para cancelar la operación.
<b>Solución</b>	Como atajo de teclado, añadir el atajo de Esc para cancelar el proceso.

Tabla 7.10: Propuesta de atajo de teclado para cancelar los archivos subidos.

### 7.2.8. Estética y diseño minimalista

Como se muestra en las Figuras 7.9, 7.10, 7.11 y 7.12, donde el diseño y la estética escogida para la aplicación es minimalista. Esto es debido a que no se ha querido mostrar más que la información necesaria y bien estructurada para que el usuario pueda usar bien la aplicación.

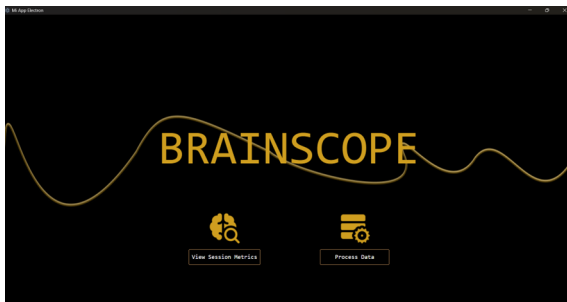


Figura 7.9: Main de BrainScope.

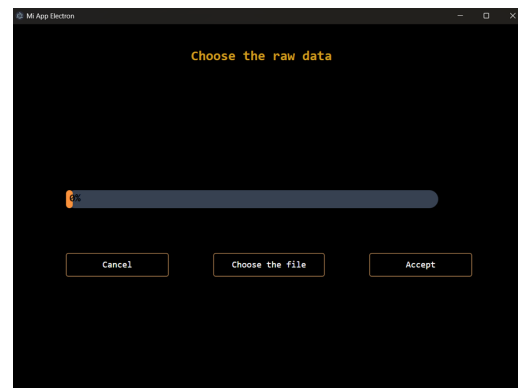


Figura 7.10: Elegir datos en crudo.

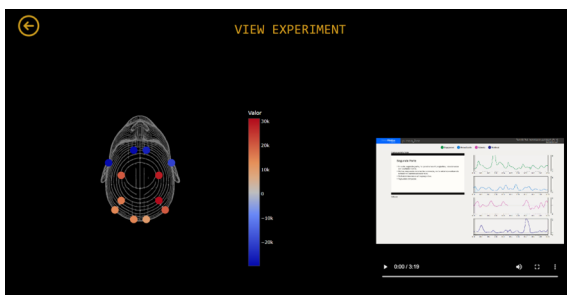


Figura 7.11: Visualización de experimento.

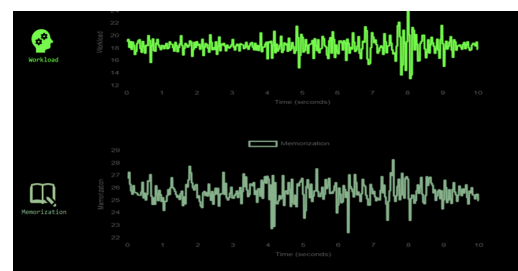


Figura 7.12: Gráficas del experimento.

### 7.2.9. Ayudar a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de errores

En la Figura 7.13, se ha puesto un mensaje de error para indicar cuando el usuario escoja más de 2 archivos csv o más de un archivo mp4, que se esperan solo dos archivos csv y un mp4, así puede saber que está pasando y tenga un mensaje claro de lo que se requiere.

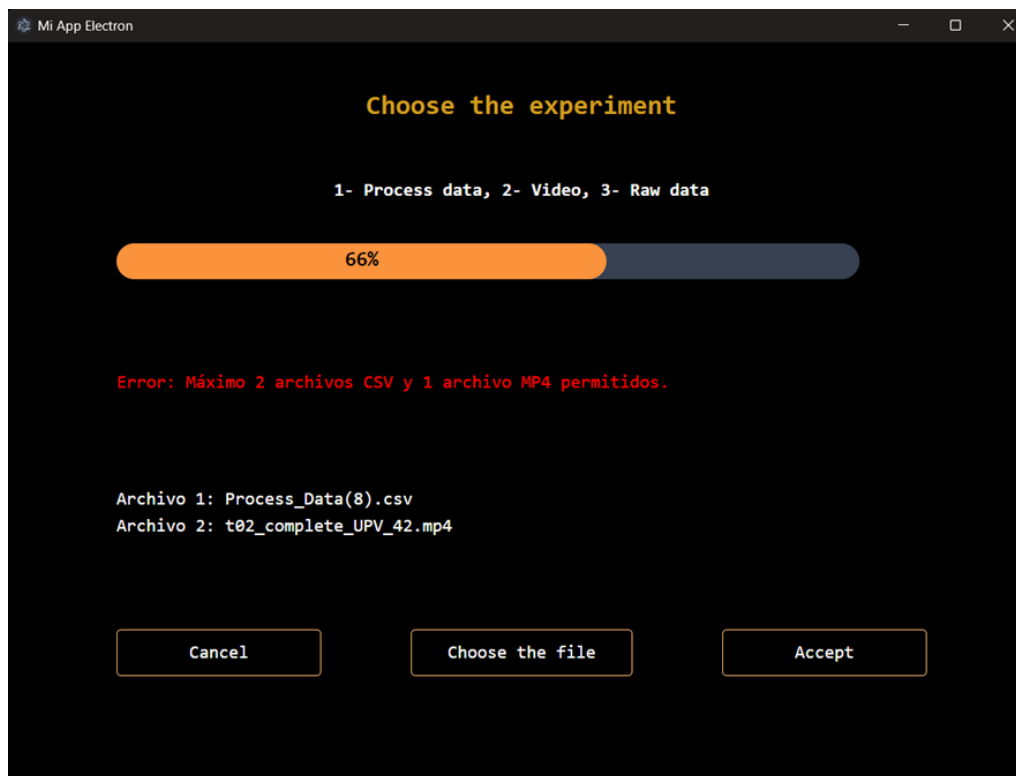


Figura 7.13: Mensaje de error en elección de experimento.

En la Figura 7.14, pasaría lo mismo pero en este caso solo requerimos 1 archivo csv.

### 7.2.10. Ayuda y documentación

A pesar de ser una de las heurísticas más importantes, para el aprendizaje de uso de la aplicación; por falta de tiempo no se pudo aportar una documentación dentro de la aplicación para nuevos usuarios. Por lo tanto, se ha desarrollado la Tabla 7.11:

Heurística	Ayuda y documentación
Descripción	La aplicación necesita una documentación para ayudar a los usuarios a poder usarla de manera sencilla y eficiente.
Solución	Proporcionar una sección en la aplicación de documentación para que los usuarios menos experto puedan aprender más rápido a usarla.

Tabla 7.11: Problema encontrado.

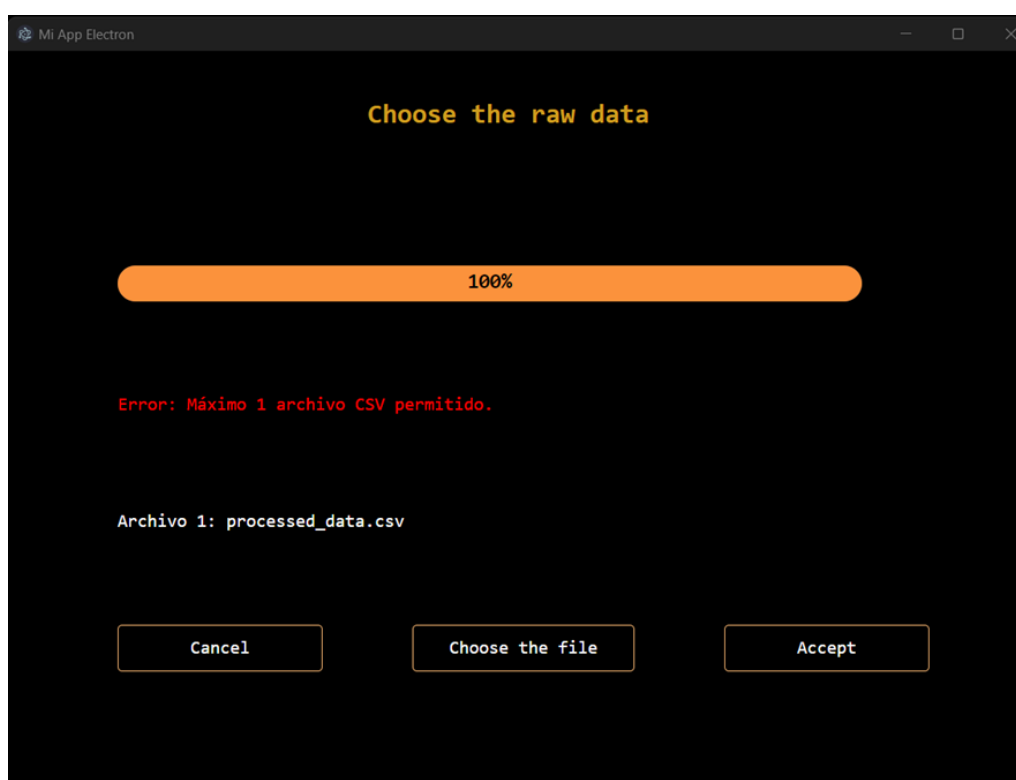


Figura 7.14: Mensaje de error en elección de datos en crudo.



---

---

## CAPÍTULO 8

# Conclusiones

---

El proyecto ha logrado desarrollar la aplicación *open source* que se exponía en los objetivos del TFG, que integra señales EEG con algoritmos de *machine learning* para procesar y visualizar métricas cognitivo-emocionales como el esfuerzo cognitivo, memorización e implicación. Esta integración representa un avance significativo en la evaluación objetiva de la experiencia de usuario, permitiendo obtener datos precisos sobre el estado cognitivo-emocional del usuario durante la interacción con aplicaciones.

La creación de la herramienta de código abierto "BrainScope" ofrece a una alternativa a las costosas soluciones comerciales que se han presentado en el presente TFG, permitiendo a investigadores o a personas interesadas en el mundo del EEG, poder hacer uso de esta y mejorar la herramienta sin restricciones económicas, contribuyendo a la democratización de la neurotecnología aplicada a la evaluación de la experiencia de usuario.

Los experimentos realizados para entrenar los modelos de inteligencia artificial han demostrado que es posible obtener métricas cognitivas relevantes a partir de datos EEG. Se ha aprendido todo el proceso de creación de modelos predictivos de IA, es decir el *machine learning pipeline*. Para ello, se ha aprendido no solo las diferencias teóricas de los distintos tipos de modelos, sino también la aplicación práctica a través de librerías especializadas como *scikit-learn*. Además, y para tratar de obtener unos modelos predictivos de calidad, se ha aprendido y aplicado técnicas como *Data Augmentation* para obtener un dataset lo suficientemente grande y variado. Además, también se ha aprendido sobre el tratamiento de datos temporales y señales EEG. Se han aplicado técnicas como filtros pasa-bandas, para poder obtener las distintas frecuencias a partir de los datos EEG, y el ICA, para la limpieza y preprocesamiento de datos.

El proyecto no solo ha cumplido con los objetivos planteados, sino que también ha contribuido al avance del conocimiento en la intersección entre la neurotecnología y la ingeniería del software.

### 8.1 Relación con estudios

---

En relación con los estudios realizados en la carrera, se pueden destacar algunos aspectos. Muchos puntos del desarrollo de la aplicación se pudieron desarrollar con rapidez y normalidad dado que se tenía el previo conocimiento de las asignaturas previamente estudiadas. Por ejemplo, la especificación de requisitos fue todo un éxito gracias a la asignatura de "Análisis y especificación de requisitos"; muchas decisiones sobre el diseño del software se pudieron realizar gracia a los conocimientos adquiridos en asignaturas como "Diseño de software"; la decisión de una buena metodología se pudo realizar gracias a lo conocimientos dados en asignaturas como "Proceso de software" o "Proyecto de inge-



nería del software"; y muchas de las pruebas que se realizaron se pudieron desarrollar con fluidez gracias a los conocimientos de "Mantenimiento y evolución del software", "Análisis, validación y depuración del software" y "Calidad del software".

Cabe resaltar, que muchas de las asignaturas estudiadas en la rama de ingeniería del software han ayudado en el desarrollo de la aplicación. Sin embargo, también se ha usado modelos de aprendizaje automático, y muchos fundamentos no han sido proporcionados por ninguna de estas asignaturas. Con esto se quiere resaltar el aprendizaje de una gran variedad de tecnologías, como lenguajes especializados para IA o frameworks especializados para aplicaciones de escritorio.

## 8.2 Trabajo futuro

---

En referencia al trabajo futuro, una de las líneas de trabajo más importantes es la finalización y optimización del módulo de valencia, aunque fue planteado inicialmente, no se ha podido implementar completamente en este proyecto. Este módulo es fundamental para obtener el grado de atracción que un usuario siente hacia un estímulo específico. La implementación exitosa de este módulo permitirá una medición más detallada y precisa de esta métrica, enriqueciendo las capacidades de la herramienta y su aplicabilidad en diversos contextos, como el neuromarketing y el diseño de interfaces.

Aunque los modelos de inteligencia artificial utilizados en este proyecto han mostrado un buen desempeño, siempre existe margen para mejorar. Investigaciones futuras podrían enfocarse en la optimización de los modelos mediante técnicas más avanzadas de ML o el uso de redes neuronales más complejas. Además, se podría explorar la integración de otros tipos de datos fisiológicos, como la respuesta galvánica de la piel o el seguimiento ocular, para mejorar la precisión de las evaluaciones.

Con referencia a las interfaces probadas en la sección 7.2, con las Heurísticas de Nielsen, se deberían de aplicar los cambios sugeridos. Además, a medida que se vaya incrementando las funcionalidades de la aplicación y vayan incluyéndose nuevas interfaces, se deberá realizar un nuevo informe de las heurísticas o usar otros métodos para probar la usabilidad de la aplicación. En este proyecto no se pudo realizar por falta de tiempo la técnica del user testing, pero en el futuro sería interesante que distinta gente, de distintas edades y géneros, probaran a usarla para poder detectar fallos en la usabilidad de la aplicación. Con ello, se aseguraría una buena usabilidad.

# Bibliografía

---

- [1] ArtOfTesting. Test coverage metrics. Available at: [https://artoftesting.com/test-coverage#Test\\_Coverage\\_Metrics](https://artoftesting.com/test-coverage#Test_Coverage_Metrics). [Last accessed: August 25, 2024].
- [2] Bitbrain. Bitbrain. Available at: <https://www.bitbrain.com/es>. [Last accessed: July 22, 2024].
- [3] BOE. Ley orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de protección de datos personales y garantía de los derechos digitales. Available at: <https://www.boe.es/eli/es/lo/2018/12/05/3>.
- [4] Brain Sciences. Special issue on eeg and neurological disorders. Available at: [https://www.mdpi.com/journal/brainsci/special\\_issues/3W38M4RX2P](https://www.mdpi.com/journal/brainsci/special_issues/3W38M4RX2P). [Last accessed: September 1, 2024].
- [5] BWAnalysis. Software bwanalysis eeg. Available at: <https://neurovirtual.com/latam/equipamento/software-bwanalysis-eeg/>. [Last accessed: July 25, 2024].
- [6] G. Cheron, G. Petit, J. Cheron, A. Leroy, A. Cebolla, C. Cevallos, M. Petieau, T. Hoellinger, D. Zarka, A.-M. Clarinval, and B. Dan. Brain oscillations in sport: Toward eeg biomarkers of performance. *Frontiers in Psychology*, 7:246, 2016.
- [7] ContextQA. Test coverage techniques. Available at: <https://contextqa.com/test-coverage-techniques/>. [Last accessed: August 25, 2024].
- [8] Datacamp. Complete guide to data augmentation. Available at: <https://www.datacamp.com/es/tutorial/complete-guide-data-augmentation>. [Last accessed: August 21, 2024].
- [9] Interfaz de BWAnalysis. Software BWAnalysis EEG/ICU/LTM — neurovirtual.com. <https://neurovirtual.com/latam/equipamento/software-bwanalysis-eeg/#gallery-3>. [Accessed 03-09-2024].
- [10] Formulario de consentimiento. El proceso de consentimiento informado — genome.gov. <https://www.genome.gov/es/about-genomics/educational-resources/fact-sheets/the-informed-consent-process/el-proceso-consentimiento-informado>. [Accessed 04-09-2024].
- [11] Interfaz de OpenBCI. OpenBCI\_GUI/images/GUI-V4-Screenshot.jpg at master · OpenBCI/OpenBCI\_GUI — github.com. [https://github.com/OpenBCI/OpenBCI\\_GUI/blob/master/images/GUI-V4-Screenshot.jpg](https://github.com/OpenBCI/OpenBCI_GUI/blob/master/images/GUI-V4-Screenshot.jpg). [Accessed 03-09-2024].
- [12] Formulario demográfico. ¿Qué es un perfil demográfico? - Spiegato — spiegato.com. <https://spiegato.com/es/que-es-un-perfil-demografico#:~:text=por%20Spiegato%20Un%20perfil%20demogr%C3%A1fico%20es%20una%20herramienta,edad%2C%20sexo%2C%20ingresos%2C%20tama%C3%B1o%20del%20hogar%20y%20educaci%C3%B3n>. [Accessed 04-09-2024].

- [13] Diadem. Diadem | EEG móvil de sensores secos | Bitbrain — bitbrain.com. <https://www.bitbrain.com/es/productos-neurotecnologia/dry-eeg/diadem>. [Accessed 03-09-2024].
- [14] Electron. Electron. Available at: <https://www.electronjs.org/>. [Last accessed: September 1, 2024].
- [15] Figma. Figma: The Collaborative Interface Design Tool — figma.com. <https://www.figma.com/>. [Accessed 03-09-2024].
- [16] Flask. Flask: Un framework escrito en python. Available at: <https://devcamp.es/que-es-flask/#:~:text=Flask%20es%20un%20framework%20escrito%20en%20Python%20que,herramientas%20necesarias%20para%20poder%20crear%20cualquier%20app%20web..> [Last accessed: September 1, 2024].
- [17] B. Foreman and J. Claassen. Quantitative eeg for the detection of brain ischemia. *Critical Care*, 16(2):216, 2012.
- [18] D. Gaspar-Figueiredo, S. Abrahao, and E. Insfran. Hacia un framework de adaptación inteligente de interfaces de usuario. In *JISBD2022*. SISTEDES, 2022.
- [19] D. Gaspar-Figueiredo, S. Abrahao, and E. Insfran. Hacia un framework de adaptación inteligente de interfaces de usuario. In *JISBD2022*. SISTEDES, 2022.
- [20] D. Gaspar-Figueiredo, M. Fernández-Diego, S. Abrahão, E. Insfran, and R. Nuredini. Integración de feedback humano para guiar la adaptación inteligente de interfaces de usuario. In *JISBD2024*. SISTEDES, 2024.
- [21] D. Gaspar-Figueiredo, E. Insfran, S. Abrahao, and M. Fernández-Diego. Entorno para agentes de aprendizaje por refuerzo para adaptar interfaces de usuario. In *JISBD2023*. SISTEDES, 2023.
- [22] Stephen J. Genco. *Neuromarketing For Dummies*. John Wiley & Sons, 2013.
- [23] GitHub. Github. Available at: <https://github.com/>. [Last accessed: September 1, 2024].
- [24] D. Hernández Gutiérrez. La atracción y la sorpresa: un experimento de neuromarketing con potenciales evento-relacionados, 2011. Available at: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:170404802>.
- [25] M. Herrero Arnedo. Obtención de métricas sobre la actividad cerebral de usuarios a través de señales eeg y machine learning, 2023. Available at: <http://hdl.handle.net/10251/198725>.
- [26] Machine Learning Pipeline. All about python: The most versatile programming language. Available at: <https://www.datacamp.com/blog/all-about-python-the-most-versatile-programming-language>. [Last accessed: July 25, 2024].
- [27] Mayo Clinic. Eeg: About. Available at: <https://www.mayoclinic.org/es/tests-procedures/eeg/about/pac-20393875>. [Last accessed: July 25, 2024].
- [28] MedAE. When to use mean vs median. Available at: <https://www.statology.org/when-to-use-mean-vs-median/>. [Last accessed: August 21, 2024].
- [29] Mejor Con Salud. Electroencefalograma. Available at: <https://mejorconsalud.as.com/electroencefalograma/>. [Last accessed: July 25, 2024].

- [30] Máquina de Vectores de Soporte. Guía de usuario de máquinas de vectores de soporte. Available at: <https://scikit-learn.org/stable/modules/svm.html#regression>. [Last accessed: August 22, 2024].
- [31] C. Mühl, C. Jeunet, and F. Lotte. Eeg-based workload estimation across affective contexts. *Frontiers in Neuroscience*, 8:114, 2014.
- [32] Natus NeuroWorks. Neuroworks eeg software. Available at: <https://natus.com/es/neuro/neuroworks-eeg-software/>. [Last accessed: July 25, 2024].
- [33] NeuroFeedBack. Qué son las ondas cerebrales. Available at: <https://www.neurofeedback.cat/que-son-las-ondas-cerebrales/>. [Last accessed: July 25, 2024].
- [34] NeuroCenter. Eeg: Explorando la actividad eléctrica del cerebro. Available at: <https://neurocenter.com/blog/eeg-explorando-la-actividad-electrica-del-cerebro/>. [Last accessed: July 25, 2024].
- [35] OpenBCI. Documentation. Available at: <https://docs.openbci.com/>. [Last accessed: July 25, 2024].
- [36] Pruebas Unitarias. ¿qué son las pruebas unitarias? Available at: <https://aws.amazon.com/es/what-is/unit-testing/>. [Last accessed: August 25, 2024].
- [37] Python. Python. Available at: <https://www.python.org/>. [Last accessed: September 1, 2024].
- [38] R. Manual de r. Available at: <https://fhernanb.github.io/Manual-de-R/intro.html>. [Last accessed: September 1, 2024].
- [39] Reaction Time. Thought technology: Reaction time. Available at: <https://www.medicalexpo.es/prod/thought-technology/product-70321-1102186.html>. [Last accessed: July 25, 2024].
- [40] Redes Neuronales. Guía de usuario de redes neuronales. Available at: [https://scikit-learn.org/stable/modules/neural\\_networks\\_supervised.html#regression](https://scikit-learn.org/stable/modules/neural_networks_supervised.html#regression). [Last accessed: August 22, 2024].
- [41] Revere Health. Eeg neurological disorders. Available at: <https://reverehealth.com/live-better/eeg-neurological-disorders/>. [Last accessed: September 1, 2024].
- [42] R<sup>2</sup> y MAE. Métricas de evaluación de modelos. Available at: <https://prompt.uno/aprendizaje-automatico/metricas-de-evaluacion-de-modelos/>. [Last accessed: August 21, 2024].
- [43] P. Samal and M. F. Hashmi. Role of machine learning and deep learning techniques in eeg-based bci emotion recognition system: a review. *Artificial Intelligence Review*, 57(3):50, 2024.
- [44] Scikit-learn. Scikit-learn: Machine learning in python. Available at: <https://scikit-learn.org/stable/>. [Last accessed: September 1, 2024].
- [45] O. Sourina, Q. Wang, Y. Liu, and M. K. Nguyen. Eeg-enabled human-computer interaction and applications. In B. Allison, S. Dunne, R. Leeb, J. Del R. Millán, and A. Nijholt, editors, *Towards Practical Brain-Computer Interfaces*, Biological and Medical Physics, Biomedical Engineering. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012.

- [46] Teacup Lab. Los 10 principios heurísticos de nielsen explicados con ejemplos. Available at: <https://www.teacuplab.com/es/blog/los-10-principios-heuristicos-de-nielsen-explicados-con-ejemplos/>. [Last accessed: August 25, 2024].
- [47] Testthat. Testthat: Testing for r. Available at: <https://testthat.r-lib.org/>. [Last accessed: September 1, 2024].
- [48] Tipos de ondas. Brain waves. Available at: <https://schumann.ie/brain-waves/>. [Last accessed: September 3, 2024].
- [49] Torres AI. Data augmentation y transfer learning en keras tensorflow. Available at: <https://torres.ai/data-augmentation-y-transfer-learning-en-keras-tensorflow/>. [Last accessed: August 21, 2024].
- [50] Trello. Trello. Available at: <https://trello.com/>. [Last accessed: September 1, 2024].
- [51] UNAM. Fisiología de la actividad eléctrica del cerebro: electroencefalografía | FISIOLÓGIA — fisiología.facmed.unam.mx. <https://fisiologia.facmed.unam.mx/index.php/fisiologia-de-la-actividad-electrica-del-cerebro-electroencefalografia/>. [Accessed 03-09-2024].
- [52] Unittest and Unittest.mock. Unittest documentation. Available at: <https://docs.python.org/3/library/unittest.html>. [Last accessed: September 1, 2024].
- [53] Árboles de Decisión. Guía de usuario de Árboles de decisión. Available at: <https://scikit-learn.org/stable/modules/tree.html#regression>. [Last accessed: August 22, 2024].

---

---

# APÉNDICE A

## Formularios

---

Durante la realización del experimento, era necesario obtener el consentimiento de los participantes, ya que se debía grabar su rostro para determinar hacia dónde dirigían su mirada mientras visualizaban el experimento y para analizar los resultados con mayor precisión.

### A.1 Formulario de consentimiento

---

Un formulario de consentimiento [10] es un documento que se utiliza en estudios experimentales, investigaciones y ensayos clínicos para obtener el permiso de los participantes antes de que se involucren en el estudio. Este formulario explica claramente la naturaleza del estudio, los procedimientos que se seguirán, los posibles riesgos y beneficios, y los derechos del participante, incluido el derecho a retirarse del estudio en cualquier momento sin ninguna consecuencia negativa. El formulario de consentimiento asegura que los participantes están informados y de acuerdo con los términos del estudio antes de participar, cumpliendo con las normativas éticas y legales relacionadas con la investigación con seres humanos.

En el formulario presentado en la Figura A.1, se pueden destacar algunos aspectos:

1. **Información del estudio:** Se proporciona una breve descripción del estudio, junto con los datos de contacto del investigador principal, para que los participantes puedan hacer preguntas o expresar cualquier inquietud antes de decidir si desean participar.
2. **Derechos del participante:** El documento deja claro que los participantes tienen el derecho de abandonar el estudio en cualquier momento sin necesidad de justificar su decisión. Además, se garantiza que toda la información personal recopilada será tratada de manera confidencial y de acuerdo con las normativas de protección de datos vigentes, como el Reglamento General de Protección de Datos (GDPR).
3. **Consentimiento explícito:** Se solicita al participante que firme el formulario para confirmar que ha sido informado de manera adecuada sobre el estudio y que consiente en participar. También se ofrece la opción de que los investigadores contacten al participante para futuros estudios, si así lo desean.
4. **Declaración del investigador:** Finalmente, el documento incluye un espacio para que el investigador principal firme, confirmando que ha explicado detalladamente la naturaleza del estudio, los requerimientos, y cualquier riesgo posible al participante.

UPV - DSIC

Universitat Politècnica de València  
Departamento de Sistemas  
Informáticos y Computación

---

**CONSENTIMIENTO A PARTICIPAR EN UN ESTUDIO EXPERIMENTAL**

Título del Estudio: Estudio de interacción con interfaces de usuario adaptativas  
Investigador: Daniel Gaspar Figueiredo  
Conductores del experimento: Nicolau Contreras Martínez  
Correo de contacto: [dagasfi@epsa.upv.es](mailto:dagasfi@epsa.upv.es)

---

Gracias por considerar participar en esta investigación. La persona encargada del experimento debe explicarle el proyecto antes de que acepte colaborar. Si tiene cualquier pregunta relativa a la hoja informativa o a la explicación proporcionada, pregunte a la persona que está llevando a cabo el experimento antes de decidir si desea participar. Si lo necesita, se le proporcionará una copia de este formulario de consentimiento para que la guarde y pueda utilizarla en cualquier momento.

Usted entiende que, si decide en cualquier momento a lo largo del experimento que ya no desea seguir participando en él, puede avisar a los investigadores involucrados y abandonarlo inmediatamente.

Consiente en el procesamiento de su información personal para las necesidades de este estudio de investigación. Esta información será considerada como estrictamente confidencial y tratada de acuerdo con lo recogido en las políticas de protección de datos de la España y Reglamento General de Protección de Datos. (GDPR).

- Por favor, marque esta casilla si acepta que los investigadores se pongan en contacto con usted en lo relativo a participar en experimentos futuros.  
Si así lo desea, por favor, indique su dirección de e-mail: .....

**Declaración del participante:**

Yo, ....., acepto que el proyecto de investigación nombrado anteriormente me ha sido explicado satisfactoriamente y acepto formar parte del estudio. He leído tanto los datos escritos anteriormente como la hoja informativa del proyecto, y entiendo lo que conlleva el estudio en el que acepto participar.

Firmado:

Fecha:

**Declaración del conductor del experimento:**

Yo, Nicolau Contreras Martínez, confirmo que he explicado cuidadosamente la naturaleza, requerimientos y cualquier posible riesgo (cuando sea aplicable) de la investigación propuesta a la persona voluntaria.

Firmado:

Fecha:

**Figura A.1:** Formulario de Consentimiento.

---

## A.2 Formulario demográfico

---

Un formulario demográfico [12] es un cuestionario utilizado en estudios experimentales o investigaciones para recopilar información básica sobre las características personales de los participantes. Este tipo de formulario suele incluir preguntas sobre la edad, género, nivel educativo, ocupación, y otros aspectos socio-económicos o culturales. La finalidad de recopilar estos datos es obtener un perfil general de la muestra participante, lo que permite analizar los resultados del estudio teniendo en cuenta las variables demográficas que pueden influir en los comportamientos o respuestas de los participantes.

En el cuestionario presentado en la Figura A.2, se quiere recoger datos personales básicos, como el nombre, apellido, género, y edad del participante. También se solicitan detalles sobre la ocupación actual, sector de ocupación y antecedentes educativos.

Además de los datos demográficos básicos, el formulario incluye una serie de preguntas sobre el uso frecuente de dispositivos tecnológicos como ordenadores, smartphones, tablets y videoconsolas. Estas preguntas utilizan una escala de Likert de 1 a 7, donde los participantes indican su grado de acuerdo o desacuerdo respecto a la frecuencia de uso de cada dispositivo. Este tipo de información es valiosa para entender el contexto tecnológico de los participantes y cómo podría influir en su interacción con las interfaces evaluadas en el estudio.



UPV - DSIC

Universitat Politècnica de València  
Departamento de Sistemas  
Informáticos y Computación

---

**CUESTIONARIO PARA PARTICIPAR EN UN ESTUDIO EXPERIMENTAL**


---

Título del Estudio: Estudio de interacción con interfaces de usuario adaptativas  
Investigador: Daniel Gaspar Figueiredo  
Experimentadores:  
Correo de contacto: [dagasfi@epsa.upv.es](mailto:dagasfi@epsa.upv.es)

---

**Datos personales**

Código anónimo: .....(rellenado por el experimentador)  
Nombre: ..... (será anonimizado posteriormente)  
Apellido: .....  
Género: .....  
Edad: ..... (años)  
Ocupación:  Estudiante  Ejecutivo  Empleado  
 Autónomo  Jubilado  Desempleado  
 Otro: ..... (especifique por favor)  
Sector de ocupación: ..... (e.g., administración, dirección, finanza, técnico)  
Antecedentes: ..... (sector de tu último diploma, e.g., Master, Grado, ...)

Uso un ordenador frecuentemente: En desacuerdo 1 2 3 4 5 6 7 De acuerdo  
Uso un Smartphone frecuentemente: En desacuerdo 1 2 3 4 5 6 7 De acuerdo  
Uso una Tablet frecuentemente: En desacuerdo 1 2 3 4 5 6 7 De acuerdo  
Uso una videoconsola frecuentemente: En desacuerdo 1 2 3 4 5 6 7 De acuerdo

---

 **VALENCIA** | Valencia | Comunidad Valenciana | España  
Camí de Vera, s/n, 46022 València, Valencia  
[dagasfi@epsa.upv.es](mailto:dagasfi@epsa.upv.es) – [www.dagasfi.webs.upv.es](http://www.dagasfi.webs.upv.es)

**Figura A.2:** Formulario Demográfico.

---

---

## APÉNDICE B

# Segundo experimento

---

Para futuras investigaciones, se diseñó un segundo experimento enfocado en explorar más a fondo los estímulos cerebrales de los usuarios al interactuar con diferentes interfaces, en lugar de las pruebas presentadas en el primer experimento. El objetivo de este nuevo estudio es evaluar cómo las distintas métricas procesadas por la aplicación desarrollada (implicación, carga cognitiva, memorización y atracción) se aplican en contextos de interfaces de usuario y analizar el impacto que estas métricas tienen en las personas.

### **B.1 Primera parte (Carga cognitiva y Memorización)**

---

En la primera parte del experimento, se presentaron al usuario dos interfaces: una mal diseñada y otra bien diseñada. Después de visualizar cada una de las interfaces, se les plantearon preguntas relacionadas con ellas.

Este enfoque se utilizó porque las interfaces que están mejor diseñadas, estructuradas y planteadas tienden a consumir menos carga cognitiva y requieren que el usuario memorice menos información, facilitando así una interacción más eficiente y satisfactoria.

Las interfaces fueron las mostradas en las Figuras B.1 y B.2.

### **B.2 Segunda parte (Implicación y Atracción)**

---

En esta segunda y última parte del experimento, se presentó a los usuarios tres aplicaciones diferentes, cada una de ellas centrada en temáticas distintas. Estas temáticas abarcaban tópicos comunes en las conversaciones cotidianas, como el deporte y la música. El objetivo era observar el grado de implicación y atracción que cada usuario mostraba hacia estas aplicaciones, dado que una aplicación que presenta la información de manera clara y bien estructurada tiende a generar mayor implicación y agrado en el usuario. Además, al elegir estos tópicos, se buscaba estimular de manera efectiva estas dos métricas en al menos una de las aplicaciones, logrando captar la atención y el interés de los usuarios.



Figura B.1: Interfaz de cartelera de cine difícil.

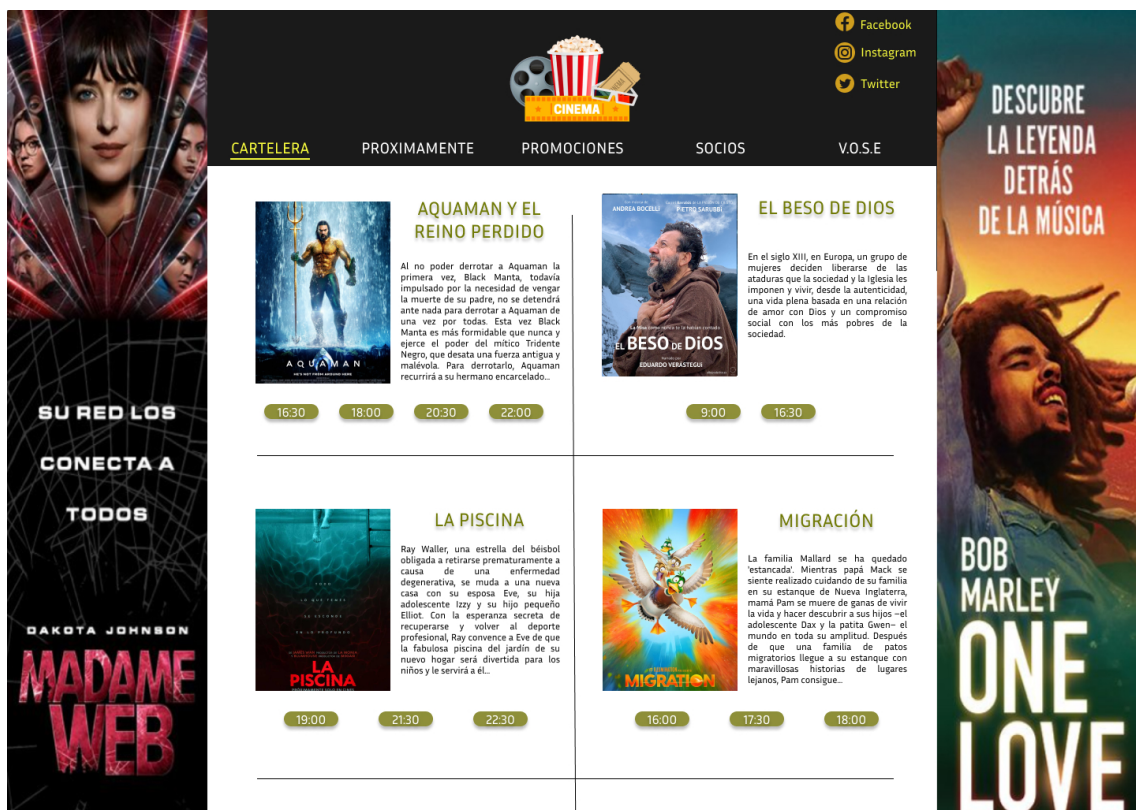


Figura B.2: Interfaz de cartelera de cine fácil.

Revista deportiva

# WORLD CHAMPION

Última Hora • Fútbol • Baloncesto • Natación • Tenis • Padel • UFC • Motor • Opiniones

CLASIFICACION LaLiga EA Sports

CLASIFICACION LaLiga HyperMotion

CLASIFICACION Champions League

CLASIFICACION Europa League

CLASIFICACION Premier League

CLASIFICACION Serie A

CLASIFICACION Bundesliga

CLASIFICACION Ligue 1

CLASIFICACION Liga Femenina

RESULTADOS Copa del Rey

CLASIFICACION NBA

**Qarabag**  
Sporting Braga

JUE 22/02 - 18:45 CET

**Rennes**  
AC Milan

JUE 22/02 - 18:45 CET

**SC Freiburg**  
Lens

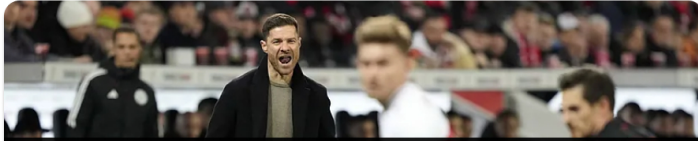
JUE 22/02 - 18:45 CET

**Toulouse**  
Benfica

JUE 22/02 - 18:45 CET

**Marsella**  
Shakhtar Donetsk


JUE 22/02 - 21:00 CET



El Bayer Leverkusen de Xabi Alonso da golpe de autoridad al Bayern Munich

Alemania


Irati Prat



Federica Pellegrini anuncia el nacimiento de su primer hijo junto a su marido y entrenador Metteo Giunta

Italia


Nicole Miller



Fútbol


Mbappé ya es jugador del Real Madrid

José Luis Artús



La frase de Ilia Topuria antes de pelear que se ha hecho viral

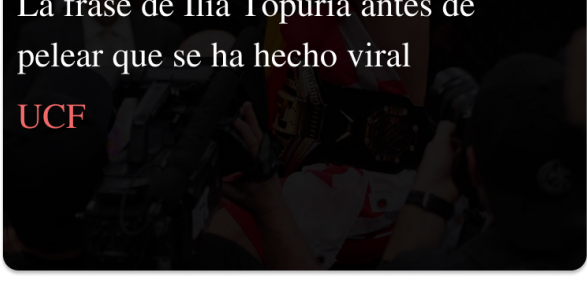
UCF




Baloncesto

El Real Madrid es el campeón con mayor diferencia de faltas recibidas/cometidas del siglo


Sergi Pérez / Jesús Pérez Ramos






Alcaraz, decepcionado tras caer en el Open de Australia: "Estoy triste por mi nivel de hoy"

Tenis



De la Rosa: "Vamos a por puntos, podios y por qué no, la primera victoria verde"

F1



Qué lesión tiene Rafa Nadal: dónde es y cuándo vuelve a jugar al tenis

Tenis

# WORLDCHAMPION

© Todos los derechos reservados.

Contacto

Ayuda

Aviso Legal

Política de Cookies

Política de Privacidad

Canal Ético

Publicidad

Configuración de Cookies

Figura B.3: Main de la revista.



# WORLD CHAMPION

Última Hora • Fútbol • Baloncesto • Natación • Tenis • Padel • UFC • Motor • Opiniones



## El Bayer Leverkusen de Xabi Alonso da golpe de autoridad al Bayern Munich

La Aspirinas siguen invictas y es más líder de la Bundesliga

Nada para el Bayer Leverkusen de Xabi Alonso. Ni el Bayern de Munich. Los dirigidos por el español dieron un golpe sobre la mesa en el partido del año en la Bundesliga: 3-0.

Una victoria que los coloca con cinco puntos de ventaja sobre los Bávaros... y hace más 'real' el sueño de la Bundesliga para las Aspirinas.



Pero hubo que esperar ocho minutos más de los esperados para disfrutar de un nuevo recital del Leverkusen. Siguen invictos este curso.

Y es que el encuentro se retrasó por el lanzamiento de sugars desde la grada. Similar a las protestas vistas en otros partidos del fútbol germano en las últimas semanas. Los hinchas están decididos a impedir la entrada de inversores privados a la Bundesliga.

A los locales, sin embargo, les costó un poco arrancar. Salieron sin '9' puro (Adli jugaba, no Borja Iglesias) y el Bayern los embotelló en los primeros minutos.

Pero a partir del cuarto de hora se soltaron y el primer contragolpe finalizado sobre la portería de Neuer los liberó.

Después llegó el gol. Sacha Boey, que debutaba como titular, no tuvo su tarde. Stanisic, un ex Bayern, hizo el 1-0 atacando el segundo palo.



El 2-0 estuvo a un paso de llegar, de hecho, en la jugada siguiente al primer tanto. De nuevo a la espalda de Boey. Pero Neuer salvó ante Tella. El veterano meta alemán también evitaba el gol de Tah a la salida de un córner. El Leverkusen fluía... y el Bayern sufría.

Así se llegó al descanso. Y si los de Tuchel ambicionaban una segunda parte diferente, Grimaldo apagó cualquier esperanza. El ex del Benfica protagonizó un gran contragolpe junto a Tella y finalizó por la escuadra ante Neuer. Sus números este curso son una locura: 10 goles y 11 asistencias. Un defensa-delantero en toda regla.

El partido fue un suplicio para los bávaros, completamente sometidos a un Leverkusen superior pese a las bajas.

Irati Prat

WORLD CHAMPION

© Todos los derechos reservados.

Contacto | Ayuda | Aviso Legal | Política de Cookies | Política de Privacidad | Canal Ético | Publicidad | Configuración de Cookies

Figura B.4: Noticia 1.

# WORLD CHAMPION

Última Hora • Fútbol • Baloncesto • [Natación](#) • Tenis • Padel • UFC • Motor • Opiniones



## Federica Pellegrini anuncia el nacimiento de su primer hijo junto a su marido y entrenador Matteo Giunta

La medallista olímpica y ex plusmarquista mundial [Federica Pellegrini](#) ha dado a luz a su primer hijo, junto a su marido y entrenador [Matteo Giunta](#).

Pellegrini anunció el nacimiento de su hija, llamada Matilde, a través de Instagram. Según la publicación, Matilde nació a las 6:51 a.m. del 3 de enero.

Pellegrini, de 35 años, es ampliamente considerada como la mejor nadadora italiana de todos los tiempos, ganando 26 medallas de oro internacionales en sus 16 años de carrera en natación, incluida una medalla de oro olímpica en los 200 libre en 2008. Eso la convirtió en la primera mujer italiana en ganar una medalla de oro olímpica en natación.



Pellegrini compitió principalmente en los 200 y 400 libres. Fue la primera nadadora en romper la barrera de los 4 minutos en los 400 metros libres en el Campeonato Mundial de 2009. En el mismo encuentro, estableció el récord mundial de los 200 metros libres con un tiempo de 1:52.98. Su récord se mantuvo durante más de una década antes de que finalmente fuera batido por la australiana Mollie O'Callaghan el verano pasado (1:52.85). Pellegrini también fue dominante en el escenario del Campeonato Mundial en los 200 libres, subiendo a todos los podios del Campeonato Mundial en el evento desde 2009 hasta 2019, incluidas las medallas de oro en 2009, 2011, 2017 y 2019.

Pellegrini se retiró el 30 de noviembre de 2021, solo un mes después de comprometerse con Giunta. La pareja se casó el 27 de agosto del 2022. Giunta fue la entrenadora personal de Pellegrini desde 2014 hasta su retiro en 2021. También fue el entrenador en jefe de los Aqua Centurions de la Liga Internacional de Natación, con sede en Roma, el equipo que Pellegrini representó durante su tiempo en la Liga.

Nicole Miller

# WORLD CHAMPION

© Todos los derechos reservados.

[Contacto](#) | [Ayuda](#) | [Aviso Legal](#) | [Política de Cookies](#) | [Política de Privacidad](#) | [Canal Ético](#) | [Publicidad](#) | [Configuración de Cookies](#)

Figura B.5: Noticia 2.

# WORLD CHAMPION

Última Hora • Fútbol • Baloncesto • Natación • Tenis • Padel • UFC • Motor • Opiniones



## Mbappé ya es jugador del Real Madrid

El delantero francés ha firmado un contrato por cinco temporadas, según informa el diario 'Marca'

Kylian Mbappé ya es jugador del Real Madrid. Según ha informado el diario 'Marca' este lunes, el delantero francés del PSG ya ha firmado un contrato que le unirá al conjunto blanco por las próximas cinco temporadas. Cobrará entre 15 y 20 millones netos de ficha por temporada, además de bonus y prima de fichaje. En total lo que percibirá será aproximadamente 50 'kilos'.



El acuerdo se cerró definitivamente hace un par de semanas y el encargado de llevar a las negociaciones fue José Ángel Sánchez, la mano derecha de Florentino Pérez. El ejecutivo blanco contactó con el entorno de Mbappé a principio de enero para conocer si había predisposición por parte del futbolista de fichar por el Madrid y la respuesta fue positiva, por lo que se fijó como objetivo dejarlo todo cerrado durante el mes de febrero.

### Se lo comunicó al PSG

El pasado martes, Mbappé se reunió con Nasser Al Khelaifi para comunicarle que no seguiría en el PSG a partir del 30 de junio y pedirle que no le hicieran oferta alguna de renovación porque ya tenía decidido jugar en el Madrid.

Como se intuía, el único problema en la negociación entre el delantero y la entidad merengue ha sido el tema salarial. Florentino Pérez estaba empeñado en que la escala salarial no se le fuera de las manos para no provocar conflictos o agravios con otros jugadores.

### La escala salarial

Aun así, llegará como el mejor pagado de la plantilla, pero con un salario no muy superior al que cobran los tres mejor pagados actualmente: Kroos, Modric y Alaba. Se habla de entre 15 y 20 millones netos de ficha más bonus, algo que el resto también percibe.

A ello habría que añadir la prima de fichaje por llegar libre. En el acuerdo del 2022 la cantidad era de 130 millones de euros, pero ahora se ha reducido considerablemente. 'Marca' explica que prorrateando la cifra que la prima y sumando todos los conceptos, Mbappé cobrará alrededor de 50 millones netos por temporada.

José Luis Artús

WORLD CHAMPION

© Todos los derechos reservados.

Contacto | Ayuda | Aviso Legal | Política de Cookies | Política de Privacidad | Canal Ético | Publicidad | Configuración de Cookies

Figura B.6: Noticia 3.



## El Real Madrid es el campeón con mayor diferencia de faltas recibidas/cometidas del siglo

Los árbitros pitaron 75 faltas rivales sobre los jugadores madridistas a lo largo del torneo, mientras que a los de Chus Mateo les señalaron 55 faltas en contra

El Real Madrid se proclamó este pasado domingo campeón de la Copa ACB tras imponerse en la final al Barça por 96-85. Un título madridista que será recordado por el gran nivel exhibido por jugadores como Campazzo o Poirier, pero también por el tremendo enfado que mostró Roger Grimau, técnico del FC Barcelona, en la rueda de prensa posterior al partido, quejándose amargamente del diferente criterio arbitral en la final a la hora de señalar las faltas a uno u otro equipo.



Sin quitar un ápice del mérito deportivo de los de Chus Mateo, indagando en las estadísticas del torneo, podemos comprobar como el Real Madrid cometió (o, para ser más precisos, le pitaron) 55 faltas a lo largo de los tres partidos de Copa que disputó en Málaga y, en cambio, los jugadores madridistas recibieron 75 faltas de sus rivales en esos mismos encuentros.

La cifra de faltas cometidas por los blancos es la segunda más baja de la última década (solo 'superada' por las 51 que cometió el Real Madrid campeón de Copa en 2020) y la cantidad de faltas recibidas es la más alta de la última década, superando las 74 que recibió el Barça campeón en 2022.

Con estos datos, el Real Madrid se convierte en el campeón de la Copa con el mayor diferencial favorable entre faltas cometidas y faltas recibidas desde que la Liga ACB contabiliza este tipo de estadísticas, +20 a favor.

A los de Chus Mateo les han señalado en esta edición algo más de 18 faltas por partido y a sus rivales les han pitado 25 por encuentro.

En lo que respecta a los tiros libres, los jugadores madridistas fueron a la línea de personal un total de 76 veces, algo más de 25 ocasiones por encuentro, dato que contrasta con los 28 tiros libres que lanzó el propio Madrid en todo el torneo como campeón de Copa en 2020.

Para contextualizar este dato del conjunto madridista en esta Copa ACB de Málaga habría que señalar que siete de los últimos campeones lo fueron teniendo un diferencial 'negativo' entre las faltas cometidas y las recibidas, el último de ellos, Unicaja el año pasado (75 faltas cometidas y solo 67 recibidas).

Sergi Pérez / Jesús Pérez Ramos



Figura B.7: Noticia 4.



## WORLD CHAMPION

Última Hora • Fútbol • Baloncesto • Natación • Tenis • Padel • [UFC](#) • Motor • Opiniones



### La frase de Ilia Topuria antes de pelear que se ha hecho viral

El hispanogeorgiano entró al octágono con 'La canción del mariachi', de Los Lobos y Antonio Banderas

Ilia Topuria lo tenía claro. Desde el momento en que se anunció su pelea con Alexander Volkanovski ya tuvo claro que la victoria no se le iba a escapar. En las declaraciones y rondas de entrevistas previas, el hispanogeorgiano se mostró confiado y seguro de poder proclamarse campeón del mundo de peso pluma de la UFC. Y así fue.

"Me siento muy feliz, te dirán que no puedes hacerlo, dudarán de ti, la única persona a la que le tienes que demostrar todo es a ti mismo, confía en ti, trabaja todos los días y así todo es posible", declaró tras noquear a Volkanovski y alzarse así con el cinturón de campeón.

Después de la pelea y del majestuoso KO al australiano, empezó a hacerse viral el momento de la entrada del 'Matador' al Honda Center de Anaheim.

Con 'La canción del mariachi' de fondo, Topuria entró al octágono aclamado y rodeado de los suyos. La canción de Los Lobos y Antonio Banderas perteneciente a la banda sonora de 'Desperado' en la que aparece el actor malagueño, no fue el único detalle en el que recalieron los espectadores.

"Yo lo soñé. Yo lo soñé", dijo Topuria mientras recorría el pasillo concentrado antes de entrar en la jaula. Una frase muy celebrada en las redes sociales y que ya se ha convertido en viral.



Irati Prat

WORLDCHAMPION

© Todos los derechos reservados.

[Contacto](#) | [Ayuda](#) | [Aviso Legal](#) | [Política de Cookies](#) | [Política de Privacidad](#) | [Canal Ético](#) | [Publicidad](#) | [Configuración de Cookies](#)

Figura B.8: Noticia 5.

## WORLD CHAMPION

Última Hora • Fútbol • Baloncesto • Natación • [Tenis](#) • Padel • UFC • Motor • Opiniones



### Alcaraz, decepcionado tras caer en el Open de Australia: "Estoy triste por mi nivel de hoy"

El murciano fue duro consigo mismo tras la derrota frente a Zverev en los cuartos de final del Grand Slam.



Alcaraz cayó derrotado este lunes en los cuartos del Open de Australia a manos de Zverev.EFE

Carlos Alcaraz reconoció este miércoles que está "triste" por su nivel mostrado en la derrota por 6-1, 6-3, 6-7(2) y 6-4 ante el alemán Alexander Zverev en los cuartos de final del Abierto de Australia, primer 'Grand Slam' de la temporada, torneo al que llegaba "con mucha confianza".

"Comenzar a ese nivel el partido fue una pena, pero de todas formas encontré la forma de romperle el saque otra vez y mantenerme en el partido. Tuve oportunidades, en el 4-3, en el cuarto, no las aproveché. Jugué un buen tenis en el cuarto set, obviamente no a mi mejor nivel, pero fue bueno", dijo el español en la rueda de prensa posterior al partido ante el tenista alemán.

Alcaraz lamentó sus "altibajos" en su tenis, además de no encontrar "un buen saque", ante un Zverev que "restó muy bien". "Fue duro lidiar con la presión. Eso es todo. Tengo que mejorar. Sigo trabajando en ello y ya veremos en el futuro", agregó sobre el factor mental.

"Estoy triste con mi nivel, venía sacando bien y con mucha confianza", reiteró, aunque "ha sido un buen torneo" para el murciano, "contento" por haber llegado hasta cuartos de final. "Jugué grandes partidos y, obviamente, una eliminatoria de un Grand Slam está bien. No es lo que buscaba, pero no está mal", añadió.

Alcaraz no dudó en agradecer el apoyo de la afición durante el duelo ante Zverev, asegurando incluso que forzó el cuarto set "por culpa del público". "Me aportaron energía. Fue una locura. Estaba deprimido, totalmente deprimido, pero no pararon de apoyarme. Así que, probablemente, la remontada en el tercer set fue gracias a ellos. Sin ellos, probablemente habría perdido en tres sets", confesó.

Finalmente, el número dos del mundo afirmó que los semifinalistas "tienen nivel" para ganar al serbio Novak Djokovic. "No es fácil, pero creo que es aún más difícil en un 'Grand Slam'. Tiene que enfrentarse a Jannik Sinner, que está jugando un tenis increíble. No ha cedido ni un set en este torneo. Eso significa que tiene el nivel y la capacidad para vencer a Novak", concluyó.

WORLDCHAMPION


© Todos los derechos reservados.


Contacto | Ayuda | Aviso Legal | Política de Cookies | Política de Privacidad | Canal Ético | Publicidad | Configuración de Cookies

Figura B.9: Noticia 6.

## Venta de música

# GrooveGalaxy





VIVE, EXPERIMENTA Y COMPARTE

### Festivales destacados

**Big Sound Festival  
Valencia 2024**

28

Desde: **50,00 €**

[Comprar Entrada](#)

**VIÑA  
ROCK**

2

Desde: **57,50 €**

[Comprar Entrada](#)

**Viña Rock 2024**

2

Desde: **57,50 €**

[Comprar Entrada](#)

**Medusa 2024**

9

Desde: **89,00 €**

[Comprar Entrada](#)

### Conciertos destacados

**CRUZ CAFUNÉ**  
Me Nuevo Con Dios Tour

6

Desde: **39,00 €**

[Comprar Entrada](#)

**LOLA ÍNDIGO**

22

Desde: **60,00 €**

[Comprar Entrada](#)

**SEN SENRA**  
PO2054AZ

23

Desde: **30,00 €**

[Comprar Entrada](#)

**SEN SENRA**  
PO2054AZ

23

Desde: **30,00 €**

[Comprar Entrada](#)

### Discos destacados

**PO2054AZ - vinilo**  
SEN SENRA

Desde: **22,50 €**

[Comprar Disco](#)

**El madrileño - vinilo**  
C.Tangana

Desde: **25,50 €**

[Comprar Disco](#)

**Me nuevo con  
- vinilo**  
Cruz Cafuné

Desde: **25,50 €**

[Comprar Disco](#)

**Me nuevo con  
- vinilo**  
Cruz Cafuné

Desde: **25,50 €**

[Comprar Disco](#)

**Conócenos**

- Sobre GrooveGalaxy
- Compra en GrooveGalaxy
- Preguntas Frecuentes
- Cambia tus entradas

**Prepara tu evento**

- Crea tu evento
- Por qué GrooveGalaxy
- Ticketing y accesos
- Contacta con nosotros






-  GrooveGalaxy
-  @GrooveGalaxy
-  @GrooveGalaxy

Figura B.10: Main de venta de música.



←



**VIÑA ROCK 2024**  
2, 3 y 4 de Mayo

Villarrobledo, Albacete - Plaza del Pintor García Calero, S/N, 02600 Villarrobledo, Albacete, España

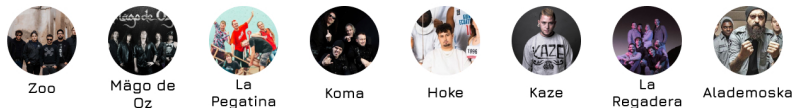
COMPRAR

### VIÑA ROCK Villarrobledo-Albacete 2024

Este año Zoo se despide, y no hay hermandad mejor para vivir este "adéu" que la familia Viña Rock, súmalo una zona de descanso completamente gratuita, y los conciertos que de S.A., Lendakaris Muertos, Mago de Oz y muchos más que serán un recuerdo inolvidable



### Artistas



### Abonos

**Abono General + Zona de Descanso**

Este abono es nominativo y te permite acceder al recinto de conciertos del 2 al 4 de mayo de 2024. Este abono incluye acceso a la zona de descanso y a la fiesta de bienvenida.

57,50 € Cant. ▾

**Abono General + Zona de Descanso**

Este abono es nominativo y te permite acceder al recinto de conciertos del 2 al 4 de mayo de 2024. Este abono incluye acceso a la zona de descanso y a la fiesta de bienvenida.

60,00 € Cant. ▾

**Conócenos**

Sobre GrooveGalaxy  
Compra en GrooveGalaxy  
Preguntas Frecuentes  
Cambia tus entradas


**Prepara tu evento**

Crea tu evento  
Por qué GrooveGalaxy  
Ticketing y accesos  
Contacta con nosotros


GrooveGalaxy  
 @GrooveGalaxy  
 @GrooveGalaxy

Figura B.11: Venta de Viña Rock.





# GrooveGalaxy



**MEDUSA FESTIVAL 2024**  
9, 10, 11 y 12 de Agosto

Playa de Cullera - Cullera, Valencia, España

[COMPRAR](#)









## MEDUSA FESTIVAL 2024

Vuelve a la Playa de Cullera uno de los mayores festivales de música dance que alberga a los mejores DJs del mundo y al más talentoso underground de la escena musical actual.

Medusa Festival aglutina todas las variantes del house, techno, remember y música urbana en diferentes y espectaculares escenarios y en un mismo recinto, en el mejor entorno, convirtiéndose en la gran cita para asistentes de todo el mundo.



## Artistas

-   
Carl Cox
-   
AFROJACK
-   
Vintage Culture
-   
3 Are Legend
-   
Nico Moreno
-   
I Hate Models
-   
Mau P
-   
Adam Beyer

## Abonos

<p><b>Abono General</b></p> <p>Incluye acceso al festival del 9 al 12 de agosto de 2024 (+16 años). Los asistentes de entre 16 y 17 años podrán asistir entregando el Permiso paterno.</p> <p><a href="#">84,95 €</a> <a href="#">Cant. ↓</a></p>	<p><b>Suplemento Acampada</b></p> <p>Incluye acceso a la acampada entre los días 7 y 12 de agosto de 2024. NECESARIO COMPRAR ABONO 3 DÍAS A PARTE. Este suplemento NO INCLUYE pulsera re acceso al recinto de conciertos (+16 años).</p> <p><a href="#">64,95 €</a> <a href="#">Cant. ↓</a></p>	<p><b>Abono General Plus</b></p> <p>Incluye acceso al festival del 9 al 12 de agosto de 2024 + Zona de acreditación independiente + WC Premium en recinto + Carril de acceso al festival independiente + Acceso a las propiedades del Beach Club los días 7 y 8 de agosto (+16 años). Los asistentes de entre 16 y 17 años podrán asistir entregando el Permiso paterno.</p> <p><a href="#">114,95 €</a> <a href="#">AGOTADAS</a></p>
<p><b>Entrada Domingo 11 de Agosto</b></p> <p>Incluye acceso al evento para el 11 de agosto 2024 (+16 años). Los asistentes de entre 16 y 17 años podrán asistir entregando el Permiso paterno.</p> <p><a href="#">84,95 €</a> <a href="#">Cant. ↓</a></p>	<p><b>Entrada Sábado 10 de Agosto</b></p> <p>Incluye acceso al evento para el 10 de agosto de 2024 (+16 años). Los asistentes de entre 16 y 17 años podrán asistir entregando el Permiso paterno.</p> <p><a href="#">64,95 €</a> <a href="#">AGOTADAS</a></p>	<p><b>Suplemento Super VIP</b></p> <p>Incluye acceso al evento del 9 al 12 de agosto 2024 + acceso a las zonas preferentes + 150€* en consumiciones (a consumir en CUALQUIER barra del recinto del festival) del 9 al 12 de agosto de 2024. *Equivalente a 15 consumiciones (copa, cerveza, refresco, agua, energético o chupito). NECESARIO COMPRAR ENTRADA A PARTE. Si eres menor de edad estas consumiciones no incluirán bebidas alcohólicas. (+16 años). Los asistentes de entre 16 y 17 años podrán asistir entregando el Permiso paterno.</p> <p><a href="#">50,00 €</a> <a href="#">Cant. ↓</a></p>

**Conócenos**

- [Sobre GrooveGalaxy](#)
- [Compra en GrooveGalaxy](#)
- [Preguntas Frecuentes](#)
- [Cambia tus entradas](#)

**Prepara tu evento**

- [Crea tu evento](#)
- [Por qué GrooveGalaxy](#)
- [Ticketing y accesos](#)
- [Contacta con nosotros](#)

- [GrooveGalaxy](#)
- [@GrooveGalaxy](#)
- [@GrooveGalaxy](#)

Figura B.12: Venta de Medusa.



### ME MUEVO CON DIOS TOUR

Cruz Cafuné, presentará 'Me Muevo Con Dios Tour', comenzará la gira el 29 de septiembre en la sala The One de Alicante, pasando por ciudades como Granada, Málaga, Sevilla, Coruña, Bilbao, Murcia, Valencia, Barcelona o Madrid durante los meses de octubre y noviembre, para finalizar la gira el 6 de abril de 2024 en el Recinto Ferial de su ciudad natal, Tenerife, con un concierto muy especial.

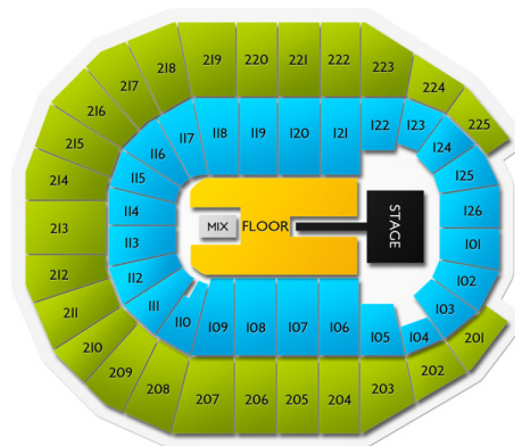
#### Entrada General

Los precios incluyen gastos de gestión. También se aplicará un cargo por compra. Es posible que se apliquen gastos de envío según el método de envío seleccionado (ticket sin cargos). Más

39,00 €

Cant. ▾

### Mapa



**Conócenos**  
Sobre GrooveGalaxy  
Compra en GrooveGalaxy  
Preguntas Frecuentes  
Cambia tus entradas

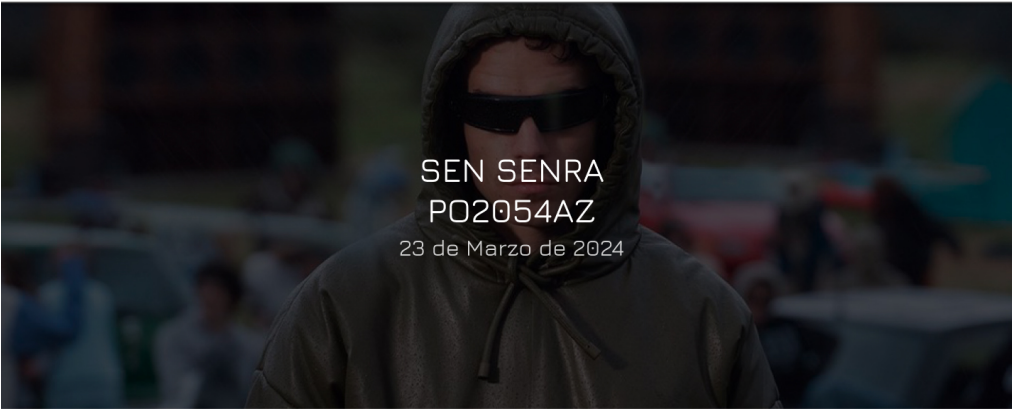
**Prepara tu evento**  
Crea tu evento  
Por qué GrooveGalaxy  
Ticketing y accesos  
Contacta con nosotros

GrooveGalaxy  
 @GrooveGalaxy  
 @GrooveGalaxy

Figura B.13: Venta de Cruz Cafuné Tour.

←

# GrooveGalaxy



**SEN SENRA**  
**PO2054AZ**  
 23 de Marzo de 2024

📍
Madrid - Wizink Center

COMPRAR

## PO2054AZ

El joven músico gallego es uno de los grandes nombres del nuevo pop español. Un talento capaz de casar el pop de toda la vida y los sonidos urbanos de última generación, poniendo de acuerdo a fans de la generación Z, a millenials, a los de la hornada / e incluso a boomers de oído fino y bien abierto.

Entrada General

Los precios incluyen gastos de gestión. También se aplicará un cargo por compra.  
 Es posible que se apliquen gastos de envío según el método de envío seleccionado (eTicket sin cargos). Más

30,00 €

Cant. ▾

## Mapa



**Conócenos**

- Sobre GrooveGalaxy
- Compra en GrooveGalaxy
- Preguntas Frecuentes
- Cambia tus entradas

**Prepara tu evento**

- Crea tu evento
- Por qué GrooveGalaxy
- Ticketing y accesos
- Contacta con nosotros

- GrooveGalaxy
- @GrooveGalaxy
- @GrooveGalaxy

Figura B.14: Venta de Sen Senra Tour.

← GrooveGalaxy



ME MUEVO CON DIOS

25,50 €

COMPRAR

## Me muevo con Dios - Cruz Cafuné

El de Cruz Cafuné es uno de los proyectos más sólidos del país. Independiente, asociado a MÉCÈN, la agencia-sello responsable del éxito de Rels B, es uno de esos artistas casi infirmables por ningún sello. No necesita asociarse con nadie sin poner un dinero encima de la mesa, para el que necesitaría números de superestrella mundial en ciernes. Unos números que no tiene, a pesar de tener en su haber el récord de artista nacional con más semanas en el número 1 del país, gracias a 'Contando Lunares' y el remix de 'Cayó la noche' que empujó a Quevedo al estrellato. Paradójico y especial el caso de un Cruz Cafuné que ha firmado con 'Me Muevo Con Dios' uno de los trabajos del año en la escena urbana española, incontestablemente.

El esfuerzo de Cruz Cafuné, cuya última referencia de larga duración fue 'Moonlight922', que data de principios de 2020, de aquel mundo prepandemia, cuenta con el respaldo suficiente en fans y en números (prácticamente ninguna de sus canciones cuenta con menos de un millón de reproducciones en Spotify y firma soldouts como churros en salas de prestigio, como el Palacio de Vistalegre) ha podido permitirse más de tres años de trabajo en el estudio, rara avis en una sociedad musical ultra aecelerada donde las novedades duran una semana y las curvas de consumo caen a partir del medio mes. El resultado es apabullante por su extensión, genial en su concepción y brillante en su ejecución: el tipo de álbum que consagra a un artista no desde los récords y los charteos de singles, sino desde la profundidad y el arraigo de un público que bebe de los códigos y las narrativas que concibe Cruzz como de una fuente después correr una maratón.

Para 'Me Muevo Con Dios' Cruz Cafuné se ha rodeado de los habituales de MÉCÈN en la producción (El Secreto, Gese da O, Lex Luthorz, Choclock,...) y de una combinación de jóvenes brillantes como Hoke, Leiti o LaBlackie; estrellas internacionales como Miky Woods y (¡ojo!) Westside Gunn y parte de los referentes del género en su Canarias natal como Quevedo y La Pantera. El resultado son 76 minutos de un repaso de autor a las vertientes más importantes del universo hip hop y sus derivados: del R&B al rap, pasando por el reggaeton y el spoken word. La nueva vertiente electrónica aparece tanto en alguno de los adelantos como '4 PREZ' como en 'Movezz en silencio', donde rinde un homenaje explícito al 'Honestly Nevermind' de Drake. La estrella canadiense es una de las grandes referencias de un Cruz Cafuné que destaca precisamente por ser el único artista español capaz de reflejar las inclinaciones y los motivos del sonido que ha convertido a Drake y al sonido Toronto en los grandes triunfadores del hip-hop en la segunda década del siglo xxi

## Adelanto



Cangrinaje

◀ ▶ ▷

### Conócenos

Sobre GrooveGalaxy  
 Compra en GrooveGalaxy  
 Preguntas Frecuentes  
 Cambia tus entradas

### Prepara tu evento

Crea tu evento  
 Por qué GrooveGalaxy  
 Ticketing y accesos  
 Contacta con nosotros


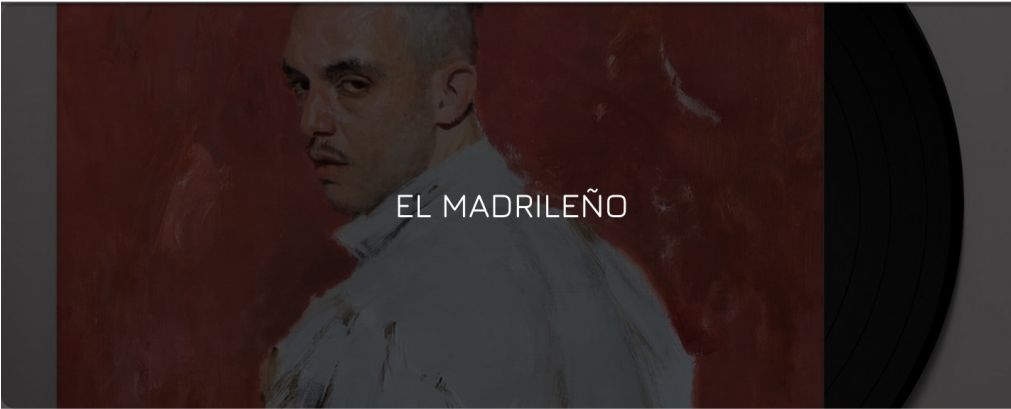
 GrooveGalaxy  
 @GrooveGalaxy  
 @GrooveGalaxy

Figura B.15: Venta de disco de Cruz Cafuné.



← GrooveGalaxy



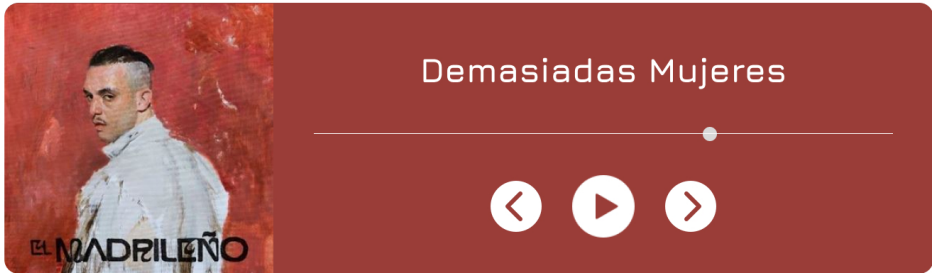
EL MADRILEÑO

25,50 €
COMPRAR

## El madrileño - C.Tangana

En este esperadísimo disco que ha ido anunciando su llegada con #1, records de streamings (todos los singles previos también están aquí, incluido "Nunca Estoy", punto de inflexión previo a esta nueva etapa), C. Tangana, en plena madurez creativa, dialoga con los sonidos de los diferentes países que ha visitado. Tendiendo una red de colaboradores asombrosa, que lo sitúan como viajero más que turista que se adentra en el terreno virgen que queda entre los géneros tradicionales y el pop moderno. Que toda esta suma de elementos aparentemente dispares parezca un emulsión sonora natural, es obra de un creador talentoso en estado de gracia (Pucho, también produciendo el disco) y sus colaboradores de cabecera Alizzz, el multi-instrumentista Víctor Martínez y Little Spain a la dirección creativa. El Madrileño es mucho más que una colección de featurings. Es un mapa de relaciones artísticas de tú a tú, la búsqueda de un ideal sonido panamericano y atemporal, con tanto respeto por la tradición como impulso vanguardista, con tanto pasado como, sobre todo, futuro; demostrando una máxima infalible de la creación artística: cuánto más local, más universal.

## Adelanto



Demasiadas Mujeres

EL MADRILEÑO

### Conócenos

Sobre GrooveGalaxy  
 Compra en GrooveGalaxy  
 Preguntas Frecuentes  
 Cambia tus entradas

### Prepara tu evento

Crea tu evento  
 Por qué GrooveGalaxy  
 Ticketing y accesos  
 Contacta con nosotros



GrooveGalaxy



@GrooveGalaxy



@GrooveGalaxy

**Figura B.16:** Venta de disco de C. Tangana.

## Churrería Paco



Figura B.17: Main de la churrería.

**CHURRERIA**  
**PACO**

Inicio [Churrería](#) [Nuestra Carta](#) [Franquicia](#) [Contacto](#)

## Nuestra amada Churrería



Donde Se Ponga Una Buena Porra, que se quite todo lo demás



Churrería Paco, los churros más calientes que vas a probar en tu vida

"Churrería Paco" es un acogedor rincón situado en el corazón de la ciudad, donde el aroma tentador de los churros recién hechos invita a los transeúntes a entrar y disfrutar de una experiencia gastronómica única. Con su fachada pintoresca y cálida iluminación, esta churrería se destaca en la calle principal, atrayendo a clientes de todas las edades.

Al entrar en "Churrería Paco", te reciben las risas y la conversación animada de los comensales que disfrutan de sus churros acompañados de una taza humeante de chocolate caliente o café recién hecho. El ambiente es acogedor, con mesas y sillas de madera dispuestas de manera informal, creando un espacio ideal para relajarse y disfrutar de una deliciosa merienda.






© Copyright Churrería Paco


**CHURRERIA**  
**PACO**

[Aviso Legal](#) [Privacidad](#) [Cookies](#)  
[Contacto](#) [Diseño y Desarrollo](#)

Figura B.18: Main de la churrería.

**CHURRERIA**  
**PACO**
Inicio Churreria [Nuestra Carta](#) [Franquicia](#) [Contacto](#)


## Nuestra adorable Carta



Desayuno, Merienda, Cena? Un buen churro entra siempre

### CHURROS Y PORRAS

En nuestra carta puedes disfrutar de los churros y porras tradicionales pero además te ofrecemos unos exclusivos churros rellenos. ¿Te van más lo dulce o salado?



**DULCES**

- Chocolate
- Miel
- Crema Pastelera
- Dulce de Leche

**SALADOS**


- Jamón Serrano
- Queso Azul
- Patatera
- Torta del Casar

### CHOCOLATES

En nuestra carta puedes disfrutar de todo tipo de chocolate a la taza, desde tu favorito de toda la vida, a la versión más fitness que puede tener un chocolate

<p><b>CLASSIC</b> Chocolate Clásico</p>	<p><b>MINT</b> Chocolate a la Menta</p>	<p><b>CLASSIC 0%</b> Chocolate Clásico sin Azúcar</p>
<p><b>WHITE</b> Chocolate Blanco</p>	<p><b>FRUITS</b> Chocolate a los Frutos Rojos</p>	<p><b>WHITE 0%</b> Chocolate Blanco sin Azúcar</p>
<p><b>COFFEE</b> Chocolate al Café</p>	<p><b>Tofe</b> Chocolate al Caramelo</p>	<p><b>SUIZO</b> Chocolate a la taza con nata montada y fideos de chocolate</p>


### TOSTADAS



- Mantequilla y mermelada
- Tomate y aceite
- Catalana (jamón serrano y tomate)
- Extremeña (jamón ibérico y tomate)
- Bacon, queso y tomate
- Roquefort


- Parisina (York, queso, tomate y pimentón)
- Crema de cacao
- Sobrasada
- Pate
- Mangurrina (patatera y miel)
- Burgalesa (Queso fresco, orégano, aceite y tomate)

### ZUMOS




- Zumo Natural de Naranja

### ICE TEA




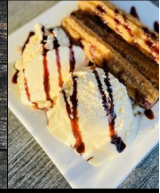


- Limón
- Frutos del Bosque
- Melocotón
- Ribos Tropical
- Piña Calada
- Menta
- Melón
- Mojito

### SMOOTHIES



- DETOX GREEN: espinacas, manzana, apio y col
- PASSION RED: frambuesa, fresa y mora
- ENERGY ORANGE: papaya, mango y piña

© Copyright Churreria Paco

**CHURRERIA**  
**PACO**

Aviso Legal [Privacidad](#) [Cookies](#)  
[Contacto](#) [Diseño](#) y [Desarrollo](#)

Figura B.19: Información de la churrería.



**CHURRERIA**  
**PACO**

Inicio Churrería Nuestra Carta [Franquicia](#) Contacto

## FRANQUICIA!



El café para empezar una conversación siempre viene bien

### MEJORANDO EL CONCEPTO TRADICIONAL DE CHURRERIA

La franquicia **Churrería Paco** es un concepto de **restauración moderna**, con una imagen colorista y cuidada, en el que la oferta de producto es la gran protagonista. Modelo de negocio innovador, desarrollado sobre la base de un producto de gran aceptación.

La compañía valenciana **ha mejorado el concepto e imagen de la churrería tradicional**, sin perder, por ello, su naturalidad, cercanía y familiaridad, convirtiéndose en el lugar al que cualquier persona se acerca a compartir, reír, sonreír y disfrutar...

La **filosofía de trabajo es una de las claves de éxito**. Se trata de una empresa joven, pero dinámica y abierta, preparada para reaccionar ante los retos que representan los cambios que, día a día, imponen los clientes. Asimismo, han creado una franquicia diferente, con mucha fuerza y personalidad. Un negocio distinto, altamente rentable y muy fácil de gestionar.

### QUIERO MONTAR UNA FRANQUICIA DE CHURRERÍA PACO

Churrería Paco es la oportunidad de formar parte de un modelo de éxito probado, diferente y muy rentable. Un negocio moderno y con personalidad, para todos los públicos que trabaja todas las franjas de consumo.

Contarás con una amplia oferta de producto, tanto dulce como salado, de muy fácil preparación, con un coste de mercadería muy bajo y mermas despreciables.

### ¿CUMPLES CON EL PERFIL? OBLIVO QUE SÍ

La franquicia **Churrería Paco busca socios emprendedores** que quieran formar parte de una red de franquicias nueva, dinámica y diferente. La enseña selecciona personas que quieran formar parte un interesante proyecto de desarrollo empresarial.

Candidatos con total orientación a la satisfacción del cliente. Todo ello con un marcado enfoque comercial, perfil emprendedor, inquietud empresarial, compromiso y por supuesto, capacidad de dirección y motivación de un equipo de trabajo.

Sin duda, una oportunidad compatible con cualquier perfil, que buscan en esta franquicia una inversión rentable y segura, sin descartar aquellas que encuentran una solución de emancipación profesional. Pide información sin compromiso.

#### Ficha Técnica

- Inversión Total** - Desde 45.000 €
- Canon Entrada** - 12.000 €
- Canon Publicidad** - incluido
- Royalty** - 6% sobre su facturación
- Duración contrato** - 10 años renovables
- Locales propios** - 1
- Franquicias** - 2
- Tamaño Local** - desde 100 m<sup>2</sup>

#### Datos de Empresa

- Actividad** - Churrería
- Creación** - 2000
- Franquicia** - 2010
- País de Origen** - España
- Empresa** - ALCAR 201
- Dirección** - C/ Cumple tus Sueños, 69
- Código Postal** - 89102
- Email** - franquici@elchurrodepaco.es

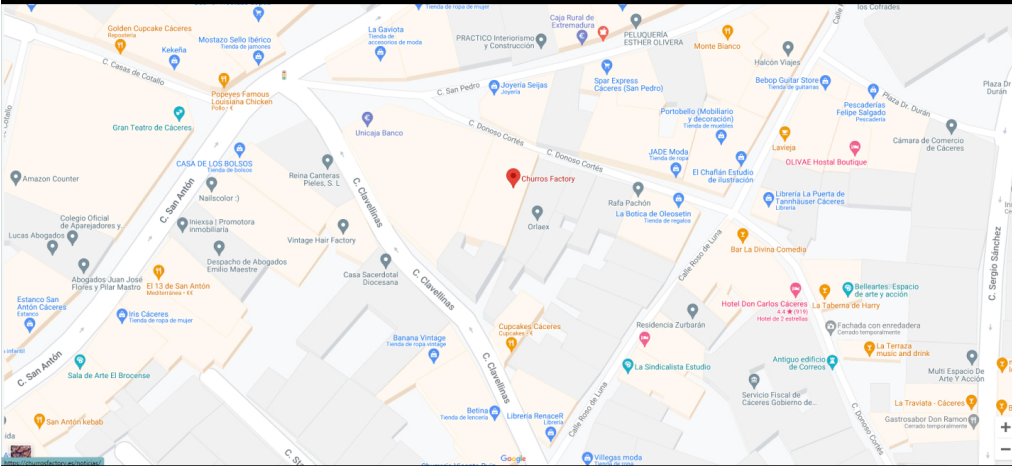
© Copyright Churrería Paco

**CHURRERIA**  
**PACO**

[Aviso Legal](#) [Privacidad](#) [Cookies](#)  
[Contacto](#) [Diseño y Desarrollo](#)

Figura B.20: Carta de la churrería.

CHURRERIA  
PACO
Inicio Churrería Nuestra Carta Franquicia Contacto



## CONTACTA CON NOSOTROS Y CON NUESTRAS GRANDES COMPAÑIAS

LA CHURRERIA

De Lunes a Domingo de 8:00 a 14:00 y 17:00 a 22:30

ESCRIBENOS

Acepto las condiciones de Política y Privacidad y el Aviso Legal  
 Quiero recibir información de Churros Factory

ENVIAR

CHURRERIA  
PACO

[Aviso Legal](#) [Privacidad](#) [Cookies](#)  
[Contacto](#) [Diseño y Desarrollo](#)

Figura B.21: Franquicia de la churrería.



---

## APÉNDICE C

# Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

---

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son una agenda global adoptada por todos los Estados Miembros de las Naciones Unidas en 2015, que consta de 17 objetivos diseñados para abordar los principales desafíos a los que se enfrenta el mundo, incluyendo la pobreza, la desigualdad, el cambio climático, la degradación ambiental, la paz y la justicia. Los ODS buscan equilibrar el desarrollo económico, la inclusión social y la sostenibilidad ambiental, fomentando un crecimiento que sea inclusivo y equitativo. Cada objetivo tiene metas específicas para cumplir antes de 2030, y se espera que gobiernos, empresas y ciudadanos trabajen juntos para alcanzarlas, garantizando un futuro más justo y sostenible para todos.

El impacto sobre los ODS del trabajo desarrollado se resume en la siguiente tabla:

Objetivos de Desarrollo Sostenibles	Alto	Medio	Bajo	No Procede
ODS 1. Fin de la pobreza.				X
ODS 2. Hambre cero.				X
ODS 3. Salud y bienestar.				X
ODS 4. Educación de calidad.		X		
ODS 5. Igualdad de género.				X
ODS 6. Agua limpia y saneamiento.				X
ODS 7. Energía asequible y no contaminante.		X		
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.				X
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.	X			
ODS 10. Reducción de las desigualdades.	X			
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.			X	
ODS 12. Producción y consumo responsables.		X		
ODS 13. Acción por el clima.				X
ODS 14. Vida submarina.				X
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.				X
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.				X
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.	X			

**Tabla C.1:** Grado de relación del trabajo con los ODS.

- 1. Educación de calidad:** El proyecto contribuye a este ODS al facilitar la visualización del grado de implicación y atracción de los aprendices, lo que permite identificar las mejores estrategias pedagógicas para enseñar a diferentes personas.



2. **Energía asequible y no contaminante:** El proyecto se asegura de operar utilizando únicamente fuentes de energía limpias y accesibles, evitando el uso de energías contaminantes. Además, se enfoca en la eficiencia energética, garantizando que los recursos empleados sean sostenibles y asequibles, contribuyendo así a la reducción del impacto ambiental y al apoyo de una transición hacia un modelo energético más limpio y responsable.
3. **Industria, innovación e infraestructuras:** El proyecto contribuye a la innovación en el campo de la informática aplicada a la neurociencia, mediante el desarrollo de una aplicación avanzada capaz de generar gráficos y métricas que pocas herramientas existentes pueden ofrecer. Esto no solo impulsa el progreso tecnológico en la industria, sino que también fortalece las infraestructuras digitales y científicas necesarias para el avance en esta área de estudio.
4. **Reducción de las desigualdades:** Este proyecto contribuye a la reducción de las desigualdades al ofrecer soporte a personas con alguna discapacidad. La aplicación desarrollada es capaz de identificar cuando un usuario enfrenta dificultades para realizar una tarea, lo que permite adaptar y simplificar la tarea, facilitando así la accesibilidad y promoviendo una mayor inclusión y equidad.
5. **Producción y consumo responsables:** El proyecto asegura un consumo totalmente no contaminante y asequible, lo que lo convierte en un modelo de consumo responsable. Al utilizar recursos sostenibles y minimizar el impacto ambiental, contribuye a prácticas de producción y consumo que son conscientes y respetuosas con el medio ambiente.
6. **Alianza para lograr objetivos:** Dado que este proyecto ha contribuido a varias ODS, se puede considerar que también apoya la ODS enfocada en la colaboración y cooperación para alcanzar los objetivos globales. Al integrar múltiples metas, el proyecto refuerza la importancia de las alianzas y la sinergia entre diferentes áreas para lograr un impacto sostenible y significativo.