

16-1-2026

Estudio del Procesamiento Emocional mediante Señales de EEG Multicanal

Máster Universitario en Ingeniería Biomédica
Universidad de Burgos (UBU)

Autores:

- **Rocío Águeda Miguel**
- **Gloria Curiel Rodríguez**
- **Mario Díaz Sutil**
- **Gonzalo Martín Arroyal**
- **Eira Rodríguez Martín**

Tutores:

- **Dra. María Consuelo Sáiz Manzanares**
- **Dña. Gloria Pérez López de Echazarreta**

Índice de Contenido

1. Introducción	3
2. Justificación	3
3. Desarrollo relacionado con la ingeniería propuesto	5
3.1 Objetivos	5
3.2 Indicadores de Evaluación	6
3.2.1 Indicadores neurofisiológicos (EEG)	6
3.2.2 Indicadores temporales y de condición experimental.....	7
3.2.3 Indicadores de asimetría interhemisférica	7
3.2.4 Indicadores de diferencias individuales (género)	7
3.2.5 Indicadores de calidad de la señal	7
3.2.6 Indicadores de validación de hipótesis	8
3.3 Propuesta de la solución	9
3.3.1 Requisitos	9
3.3.2 Tipo de aplicación	11
3.3.3 Estructura de funcionamiento (diagrama)	11
3.3.4 Técnicas de visualización que implementa.....	12
3.3.5 Previsión de posibles errores y propuesta de soluciones	16
3.4 Materiales.....	17
3.5 Planificación del seguimiento (análisis de usabilidad de la propuesta)	19
4. Conclusiones	21
5. Líneas futuras de investigación.....	22
6. Referencias bibliográficas	24
Anexo 1: Uso de Herramientas GenAI	26
Práctica 1	26
Práctica 2.....	28
Práctica 3.....	31
Anexo 2: Presentación del Proyecto	35

Tabla de Ilustraciones

Ilustración 1. Diagrama de Funcionamiento del Proyecto	12
Ilustración 2. Gráfica de análisis de potencial espectral α y β	13
Ilustración 3. Topografía de la reactividad espectral inducida por el estímulo visual	14
Ilustración 4. Distribución de la potencia global en Beta (β) segregada por género	15
Ilustración 5. Comparación de índices de asimetría frontal según la localización de los pares de electrodos (AF vs Fp)	16
Ilustración 6. Diagrama de Flujo Práctica 1	28
Ilustración 7. Diagrama de Flujo Práctica 2	31

1. Introducción

El presente proyecto se encuentra enmarcado en el análisis de registros multicanal para el estudio del comportamiento humano, estando específicamente centrado su desarrollo en el procesamiento y análisis de las señales electroencefalográficas (EEG). Aunque el proceso de adquisición de los datos fue realizado en un entorno multimodal empleando el software Tobii Pro Lab para registrar de manera simultánea diversas métricas biomédicas, este trabajo focaliza su estudio en la actividad eléctrica cerebral capturada mediante un sistema EEG Bitbrain de 12 canales.

La elección de la señal de EEG se justifica debido a su elevada resolución temporal, ya que es una característica fundamental para la observación precisa de las respuestas neurofisiológicas instantáneas ante los estímulos externos. A lo largo del documento se describirá el flujo de trabajo con el objetivo de identificar patrones cerebrales asociados al procesamiento de las emociones.

2. Justificación

Actualmente, la capacidad de medir la respuesta emocional de forma objetiva representa un reto fundamental en el ámbito de la ingeniería biomédica. Tradicionalmente, la evaluación de las emociones ha dependido del uso de autoinformes y encuestas, sin embargo, estas herramientas muestran importantes limitaciones a la hora de correlacionarse con medidas fisiológicas u objetivas, además de estar sujetas al sesgo de deseabilidad social o la incapacidad del sujeto para identificar los procesos no conscientes (Eijlers et al., 2019; Hoge et al., 2019). En contraposición, la electroencefalografía (EEG) ofrece una medida objetiva de elevada resolución temporal (milisegundos) para registrar los cambios dinámicos en estados cognitivos y afectivos. Estudios recientes han demostrado que los patrones de EEG permiten discriminar

valencias emocionales con buena precisión, facilitando la medida de la intensidad emocional sin la dependencia de autoinformes subjetivos (Apicella et al., 2021; Ho et al., 2024).

En el estado del arte actual, el uso de EEG para el estudio de las emociones se ha centrado en el análisis de bandas cerebrales de frecuencia específicas. La Asimetría Frontal Alfa (FAA) ha surgido como un robusto biomarcador para la clasificación de la valencia emocional (Zhao et al., 2018), donde diversos estudios han indicado que una menor potencia de alfa (α) en el hemisferio frontal izquierdo está asociada con afectos positivos y, por el contrario, un mayor α en el hemisferio derecho se asocia con afectos negativos y conductas evitativas (Coan & Allen, 2004; Harmon-Jones & Gable, 2018). Cabe destacar que la FAA también está siendo explorada como potencial indicador de estrategias de regulación afectiva (Smith et al., 2017).

De forma complementaria, la banda beta (β) representa un buen indicador del nivel de activación emocional (*arousal*), así como de la intensidad del procesamiento ante los estímulos visuales complejos (Codispoti et al., 2023; Galvão et al., 2021).

Con todo ello, el presente trabajo queda justificado por la necesidad implícita de validar protocolos experimentales que combinen la exposición a imágenes afectivas con periodos de relajación (*washout*), analizando cómo la actividad cortical varía en función de la imagen (sentimiento/emoción positivo o negativo). Con este diseño se logra evitar el efecto de contaminación entre los estímulos. Además, el uso de dispositivos portátiles de alta precisión, como es el EEG de Bitbrain de 12 canales, constituye un avance significativo en comparación con sistemas convencionales, ya que facilita la obtención de registros fiables de manera más ergonómica y en entornos experimentales menos restrictivos (Sugden et al., 2023; Teo et al., 2023).

3. Desarrollo relacionado con la ingeniería propuesto

3.1 Objetivos

- **Objetivo General**

Analizar cómo cambia la actividad eléctrica cerebral, medida a través de las bandas de frecuencia del EEG, cuando un grupo de estudiantes universitarios del Máster en Ingeniería Biomédica es expuesto a imágenes que evocan diferentes emociones.

- **Preguntas de Investigación y Objetivos Específicos**

- **RQ1:** ¿Existen diferencias significativas en la actividad de las ondas Alfa (α) y Beta (β) entre las fases de observación de imágenes afectivas y los periodos de *washout*?
- **RQ2:** ¿Influye el género del participante en la intensidad de la respuesta neurofisiológica?
- **RQ3:** ¿Es posible detectar patrones de asimetría interhemisférica frontal que reflejen la percepción de emoticonos o imágenes con connotaciones positivas o negativas?

- **Hipótesis**

- **H0 (Hipótesis Nula):** No existen diferencias significativas en la señal del EEG al comparar las distintas condiciones de simulación visual (estímulos) y los periodos de reposo (*washout*).
- **H1 (Hipótesis Alternativa):** La observación de las imágenes con carga emocional (positiva o negativa) provocará un aumento significativo en la actividad cortical superior (aumento de la potencia en Beta) en comparación con los periodos de ojos cerrados.

3.2 Indicadores de Evaluación

Los indicadores de evaluación se definieron con el objetivo de operacionalizar las variables neurofisiológicas implicadas en el estudio y permitir la comprobación de los objetivos y las hipótesis planteadas. Siguiendo los criterios establecidos en el manual de análisis de registros multicanal, se seleccionaron indicadores basados en la calidad de la señal, la potencia espectral del EEG, la comparación entre condiciones experimentales y la interpretación funcional de los resultados.

3.2.1 Indicadores neurofisiológicos (EEG)

El principal conjunto de indicadores se basó en el análisis de la actividad eléctrica cerebral registrada mediante EEG, considerando específicamente las distintas bandas de frecuencia.

- Banda Alfa (α , 8-13 Hz): se empleó como indicador de relajación, inhibición cortical y procesamiento emocional. La reducción de la potencia alfa durante la exposición a estímulos afectivos se interpretó como un incremento de la activación cortical en relación con los periodos de reposo.
- Banda Beta (β , 13-30 Hz): se usó como indicador de activación cortical y atención sostenida. Se interpretó que la modulación de esta banda (ya sea tras un aumento por estrés o por estabilización por atención focalizada) refleja la implicación del participante ante el estímulo visual.

Los valores de potencia de ambas bandas se compararon entre las distintas condiciones experimentales, contrastando la exposición a estímulos emocionales con los periodos de *washout*.

3.2.2 Indicadores temporales y de condición experimental

Con el fin de evaluar el efecto de los estímulos visuales, se definieron los indicadores comparativos, que se basan en las diferencias de potencia de las bandas alfa y beta entre las fases de observación de imágenes afectivas y los periodos de reposo (*washout*). Estos indicadores facilitaron la detección de los cambios propios de la estimulación emocional, separándolos de la actividad cerebral base.

3.2.3 Indicadores de asimetría interhemisférica

A partir del cálculo de la diferencia de potencia en Alfa y Beta entre hemisferios, se definieron indicadores de asimetría frontal. Para garantizar la fiabilidad, se estableció un protocolo de validación cruzada entre pares de canales, seleccionando aquel con mejor relación señal-ruido para evitar sesgos por artefactos musculares u oculares.

3.2.4 Indicadores de diferencias individuales (género)

Se incluyó el género como variable de agrupación para investigar diferencias individuales. No obstante, la validez de este indicador queda supeditada al cumplimiento estricto de los criterios de calidad de señal, siendo necesaria una potencia espectral superior al ruido base en ambos grupos para permitir la comparación estadística.

3.2.5 Indicadores de calidad de la señal

Se incorporaron indicadores de calidad del registro para garantizar que solo se analizaran señales fiables. En este sentido se consideraron:

- Correcta calibración y colaboración de electrodos.
- Eliminación de artefactos (parpadeos, movimientos musculares, ruido eléctrico).
- Estabilidad de la señal durante los periodos de análisis.

Sólo los segmentos de EEG que cumplen estos criterios, son incluidos en el análisis final.

3.2.6 Indicadores de validación de hipótesis

La validación de la Hipótesis 1 (H1), planteada en el apartado 3.1, se fundamenta en la capacidad del sistema para detectar cambios significativos en el estado neurofisiológico del sujeto. Para asegurar la sintonía entre los objetivos y los resultados obtenidos, se establecen los siguientes criterios:

- Criterio de Modulación Cortical (Banda Alfa): Se considera validada la respuesta si hay una desincronización de la banda Alfa durante la exposición a las imágenes. Este indicador es el principal marcador de reactividad ante el estímulo emocional.
- Criterio de Activación y Atención (Banda Beta): Partiendo de la H1, la validación no se limita únicamente por un aumento de potencia (estrés), sino también por cualquier modulación significativa de la banda Beta. Una estabilización o ligero descenso de esta banda será validado como un indicador de atención sostenida y procesamiento focalizado, ajustándose así a la naturaleza pasiva de la tarea de observación.
- Criterio de Fiabilidad Técnica (Calidad de Señal): La validación de las hipótesis queda condicionada a los indicadores de calidad del apartado 3.2.5. Si un canal (como F3/F4) o un grupo de sujetos (por género) no supera los umbrales de impedancia, su exclusión se considera una medida de rigor técnico para no comprometer la validez de las conclusiones.

3.3 Propuesta de la solución

La solución propuesta para este proyecto consiste en el diseño y desarrollo de un pipeline de procesamiento digital de señales neurofisiológicas, orientado a la caracterización de la respuesta emocional humana mediante el análisis de datos de EEG de 12 canales.

A diferencia de un análisis clínico convencional, esta solución se estructura como una herramienta de software analítica (desarrollada en Python) el cual transforma señales eléctricas crudas en indicadores métricos de valencia y activación emocional. La propuesta no solo busca la visualización de los datos, sino la implantación de criterios de ingeniería para la garantía de la robustez de la información, como la mitigación de artefactos mediante algoritmos avanzados y la validación cruzada de canales para compensar fallos técnicos en el hardware.

3.3.1 Requisitos

Con el propósito de garantizar una fiabilidad en el análisis de los registros de EEG y también una validez en las conclusiones, se han establecido diversos requisitos que se encuentran divididos en las siguientes tres categorías:

A. Requisitos Técnicos (hardware y software)

- **Sincronización:** resulta imprescindible que el momento exacto en el que aparece una imagen (eventos) se encuentre perfectamente sincronizado con la señal de EEG para facilitar una segmentación posterior de los datos.
- **Frecuencia de muestreo:** la señal del EEG de Bitbrain tiene que estar registrada con una frecuencia suficiente para permitir la captura y el posterior filtrado de las ondas Alfa y Beta sin ocasionar ninguna pérdida de información.

- **Software de procesamiento:** es empleado el software Tobii Pro Lab para la exportación de los datos crudos y se utilizará el lenguaje de programación Python para la limpieza de los datos y el posterior análisis de la información.

B. Requisitos del Diseño Experimental

- **Aleatoriedad de los estímulos:** la selección de las imágenes de contenido emocional y su orden de aparición fue aleatorio para cada participante. Este diseño evita la generación de sesgos o efectos derivados del orden de presentación.
- **Fase de *washout*:** la prueba debe incluir periodos de “lavado” o “mente en blanco” entre los diferentes bloques de imágenes. Con ello, se garantiza que la respuesta fisiológica (EEG/GSR) vuelva a un estado basal antes de que comience el siguiente estímulo (RQ1).
- **Muestra balanceada:** es conveniente tener una representación equilibrada en el estudio (en nuestro caso, datos provenientes de 2 hombres y 2 mujeres) para lograr observar posibles variaciones por género en el procesamiento de las emociones (RQ2).

C. Requisitos del Diseño Experimental

- **Etiquetado de eventos:** es importante que se incluya en cada archivo .csv las etiquetas de evento correctas para identificar si el estímulo visual era una imagen aleatoria o un periodo de *washout*.
- **Integridad del protocolo:** es fundamental que durante el desarrollo de la práctica los participantes sigan las mismas instrucciones (p.ej.: ojos cerrados durante *washout*) para que los datos obtenidos no introduzcan sesgos debido a errores experimentales y pueda ser más fácil su posterior comparativa.
- **Calidad de la señal:** es necesario asegurar un nivel de impedancia bajo en los electrodos del EEG durante el registro de los datos para lograr minimizar el ruido ambiental.

3.3.2 Tipo de aplicación

Este proyecto se clasifica como una investigación aplicada en el ámbito de la ingeniería biomédica y la neurociencia cognitiva, cuya finalidad es el análisis de las señales neurofisiológicas para la comprensión de procesos afectivos en el comportamiento humano.

Metodológicamente, el proyecto se define como un estudio transversal con un diseño cuasiexperimental de medidas repetidas (Montero García-Celay & León, 2007). Dicha clasificación se debe a que la adquisición de los datos multicanal de EEG, GSR y Eye Tracking se realizó en una única sesión por participante, donde cada uno de los cuatro integrantes del grupo fue expuesto secuencialmente a todas las condiciones del protocolo (imágenes de estímulos afectivos aleatorios, periodos de *washout* y evaluación subjetiva de emoticonos).

Pese a que el protocolo de adquisición de los datos durante la práctica fue de naturaleza multimodal, la aplicación técnica desarrollada en este trabajo se centra exclusivamente en el procesamiento y análisis de los registros de EEG de 12 canales. Por lo tanto, el proyecto tiene un propósito descriptivo y exploratorio, ya que busca identificar y caracterizar los patrones de la actividad cortical que se correlacionan objetivamente con la carga emocional de los estímulos visuales presentados.

3.3.3 Estructura de funcionamiento (diagrama)

En este esquema de la imagen se muestra la estructura general de funcionamiento de la solución propuesta, representando el flujo completo desde la adquisición de los datos hasta la obtención de los resultados finales. En una primera etapa, se lleva a cabo la adquisición y sincronización de los estímulos visuales y las señales fisiológicas mediante el software Tobii Pro Lab, generando los archivos de registro necesarios para su análisis posterior. A continuación, se realiza el preprocesamiento de la señal EEG, implementado en Python, que

incluye el filtrado en banda, la segmentación temporal y la eliminación de artefactos. En la fase de extracción de características, se calcula la densidad espectral de potencia (PSD) y se obtienen los indicadores neurofisiológicos definidos, como la potencia en bandas Alfa y Beta y el índice de asimetría frontal. Finalmente, el sistema incorpora una etapa de visualización y salida, en la que se generan gráficas comparativas, topografías y representaciones agregadas que permiten interpretar los resultados y extraer conclusiones sobre la respuesta emocional de los participantes.

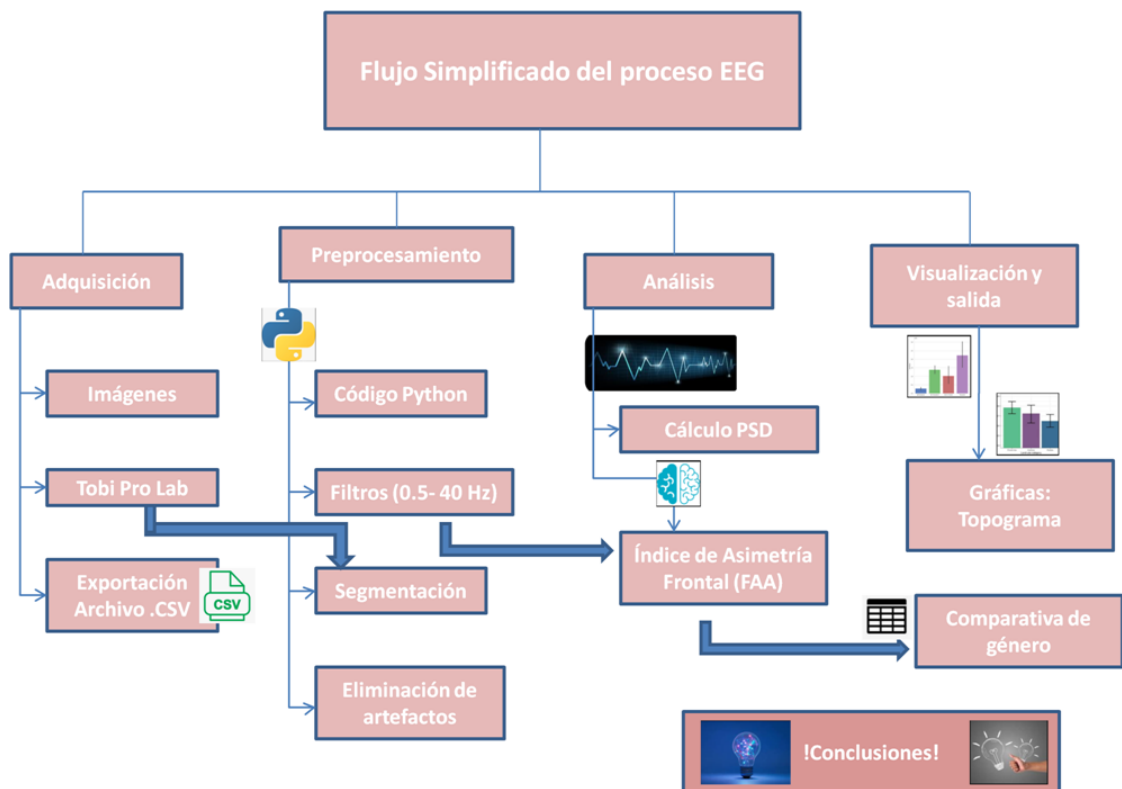


Ilustración 1. Diagrama de Funcionamiento del Proyecto

3.3.4 Técnicas de visualización que implementa

Para la interpretación de los datos EEG, se ha diseñado un sistema de visualización basado en las librerías Matplotlib y MNE, permitiendo no solo representar la señal, sino validar

neurofisiológicamente los resultados obtenidos. A continuación, se detalla el análisis de las gráficas de potencia espectral y asimetría:

1. **Análisis de potencia espectral:** Se contrasta la actividad cerebral durante las fases de reposo frente a la exposición al estímulo visual (*Ilustración 2*):

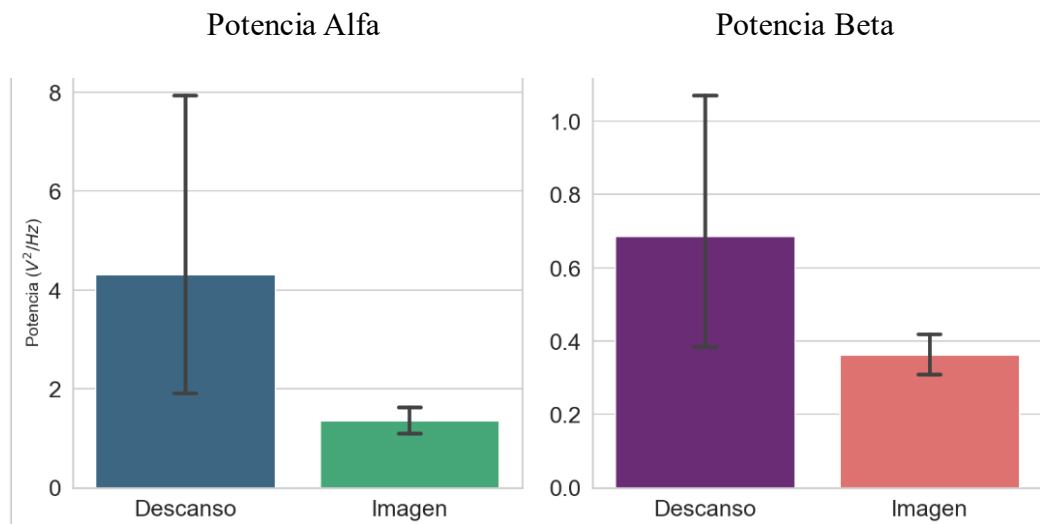


Ilustración 2. Gráfica de análisis de potencial espectral α y β

- **Banda Alfa (α):** Dado que este es el marcador predominante de la relajación, la potencia se maximiza durante los periodos de reposo. Las gráficas confirman el patrón esperado: una notable atenuación o desincronización al abrir los ojos o procesar estímulos, validando la reactividad cortical del sujeto.
- **Banda Beta (β):** Los resultados difieren de la hipótesis de “estrés cognitivo”. Lejos de mostrar picos de ansiedad, se observa una estabilidad o leve descenso durante la visualización. Esto sugiere que la observación pasiva de imágenes, al no implicar tareas complejas, generó un estado de atención sostenida sin estrés, manteniendo la carga cognitiva en niveles basales.

2. **Validación topográfica:** Al visualizar la señal descompuesta, se confirma la modulación cerebral (*Ilustración 3*).

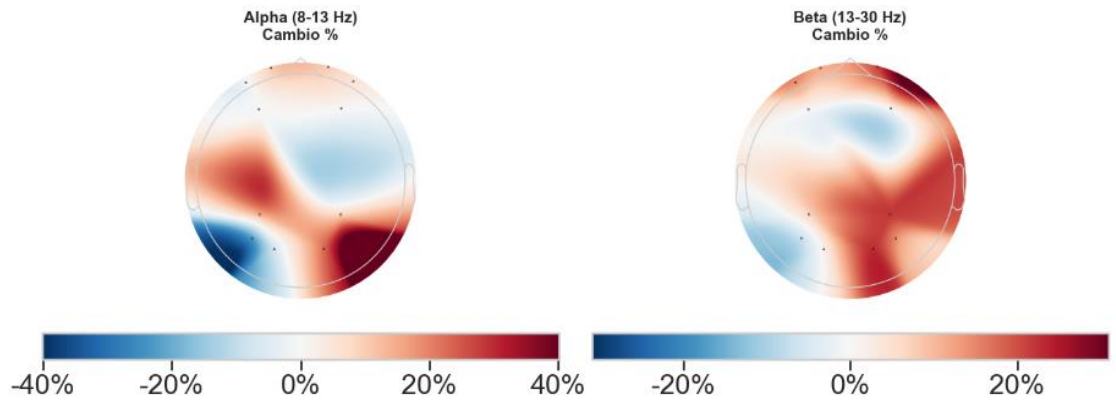


Ilustración 3. Topografía de la reactividad espectral inducida por el estímulo visual

- La banda Alfa muestra una marcada desincronización focalizada predominante en la zona occipital, validando la activación de la corteza visual necesaria para el procesamiento de la imagen.
 - Simultáneamente, la banda Beta exhibe un incremento discreto, característico del mantenimiento de la atención.
3. **Análisis comparativo por género:** Se identificaron discrepancias significativas. Los sujetos femeninos presentaron valores de potencia espectral cercanos a 0 (*Ilustración 4*). Tras la revisión, se concluye que esto obedece a problemas técnicos en la adquisición de la señal (posiblemente impedancia o ajuste del casco) en estos participantes, descartándose una diferencia neurofisiológica real.

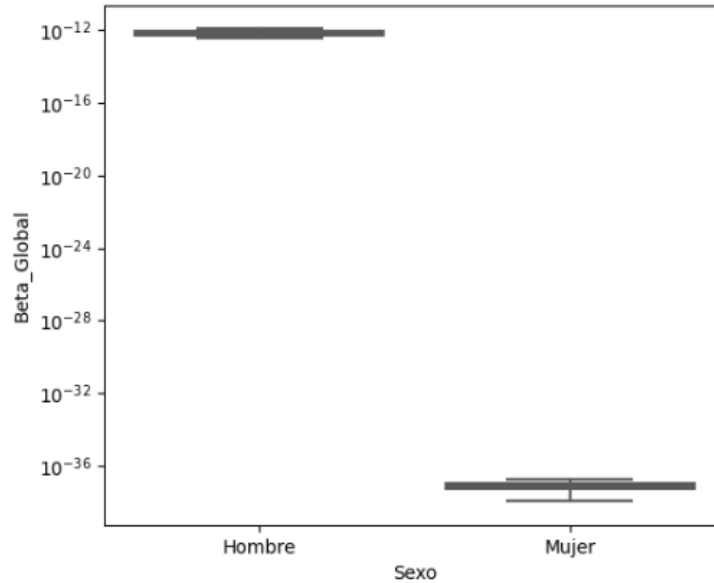


Ilustración 4. Distribución de la potencia global en Beta (β) segregada por género

4. **Análisis de asimetría frontal:** Se calculó el índice de Asimetría Frontal Alfa (FAA) para evaluar la valencia emocional. Inicialmente, se planteó el análisis de asimetría utilizando los canales estándar F3 y F4. Sin embargo, durante la fase de preprocesamiento y cálculo de la densidad espectral de potencia (PSD), se detectó una pérdida de señal crítica en estos electrodos (valores de potencia iguales o cercanos a cero). Esto sugiere un fallo técnico en la impedancia o conexión de dichos sensores durante el registro. Para evitar introducir ruido numérico (divisiones por cero en el cálculo del índice), se procedió a excluir el par F3/F4 del análisis final.

Para subsanar la pérdida de F3/F4, se realizó un análisis comparativo utilizando dos pares frontales alternativos: los canales anteriores (AF7/AF8) y los frontopolares (Fp1/Fp2).

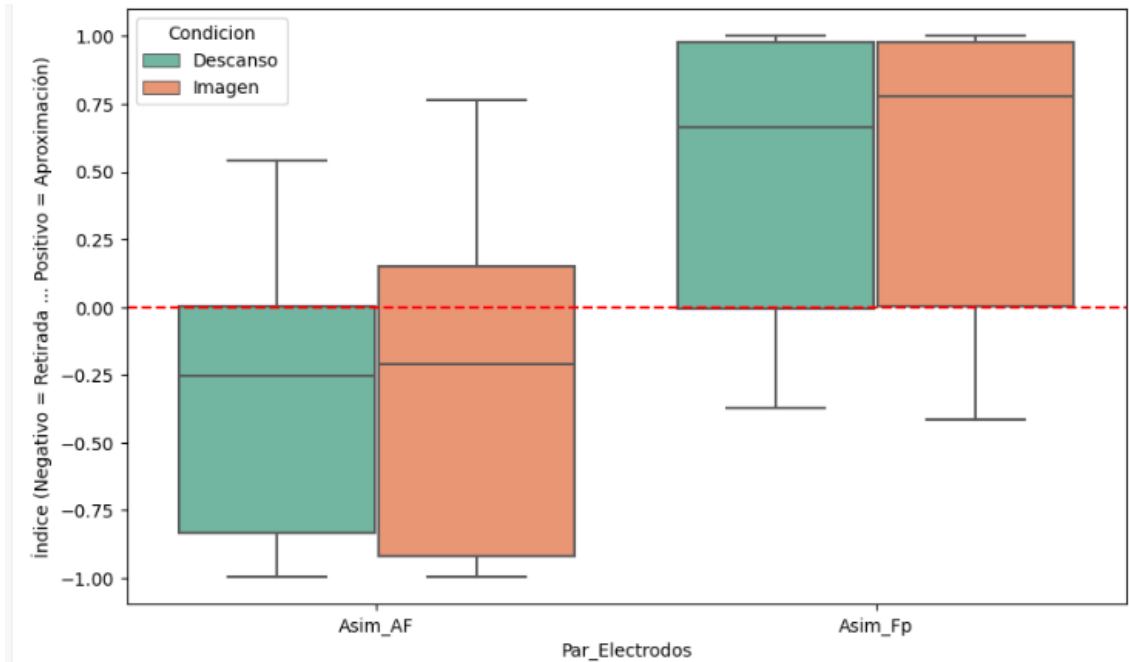


Ilustración 5. Comparación de índices de asimetría frontal según la localización de los pares de electrodos (AF vs Fp)

El análisis comparativo entre pares de electrodos reveló que (Ilustración 5):

- El par Fp1/Fp2 presentó resultados inconsistentes (tendencia positiva), atribuidos a la contaminación por artefactos oculares (parpadeo) dada su ubicación supraorbital.
- El par AF7/AF8, al presentar una mejor relación señal-ruido, se consideró el indicador válido. Este par mostró una asimetría negativa, lo que indica una dominancia de actividad en el hemisferio derecho durante la visualización de los estímulos.

3.3.5 Previsión de posibles errores y propuesta de soluciones

Durante el desarrollo del procesamiento de la señal EEG, se han identificado los siguientes riesgos técnicos y se han implementado soluciones específicas en el código Python para mitigarlos:

- **Contaminación por artefactos oculares:** Dado que los canales frontales son altamente sensibles a los parpadeos y movimientos sacádicos del ojo (EOG), se ha implementado un algoritmo de Análisis de Componentes Independientes (ICA). Esta técnica permite descomponer la señal y suprimir matemáticamente los componentes identificados como artefactos oculares sin eliminar datos temporales valiosos.
- **Ruido eléctrico y deriva de la línea base:** Para contrarrestar las interferencias de la red eléctrica o por derivas lentas causadas por la sudoración o el movimiento, se ha aplicado un filtrado digital paso banda estricto entre 0.5 Hz y 40 Hz.
- **Pérdida de la continuidad por desconexiones:** La presencia de valores nulos o corruptos debido a fallos momentáneos de los electrodos se ha gestionado mediante una función de saneamiento. Este proceso detecta y elimina las líneas defectuosas antes del análisis.
- **Falsos positivos en asimetría:** Debido a que los electrodos sobre músculos faciales pueden invertir los resultados de la asimetría frontal (FAA), se ha optado por realizar un análisis comparativo de pares. Esta validación cruzada ha permitido descartar el par Fp1/Fp2 por su alta contaminación muscular y seleccionar el par AF7/AF8 como métrica fiable para las conclusiones.

3.4 Materiales

En el desarrollo de este proyecto se han empleado los datos obtenidos en la práctica de Eye Tracking, EEG y GSR que se fue realizando con los estudiantes durante el transcurso de la asignatura. Por lo tanto, cabe mencionar todos los recursos empleados en dicha práctica pese a que solo se haya decidido trabajar con los datos de EEG para este proyecto. Los recursos son:

1. Hardware de Registro:

- Sistema de Electroencefalografía (**EEG**) Bitbrain de 12 canales para la captación de las señales eléctricas cerebrales que son empleadas en este proyecto. Los 12 canales del dispositivo proporcionan una gran cobertura en las áreas frontales, temporales y parietales, facilitando un mejor análisis de las asimetrías y potencia de bandas que ha sido planteado en los objetivos (RQ3).
- Sensor de Respuesta Galvánica de la Piel (**GSR**) que fue empleado para registrar la conductancia de la piel durante el proceso de captación de los datos multicanal.
- Sistema de **Eye Tracking** utilizado para identificar la sincronización de la mirada con los estímulos visuales y validar los puntos de fijación en las imágenes proporcionadas. Los datos proporcionados por este dispositivo tampoco han sido utilizados en este proyecto.

2. Software:

- Tobii Pro Lab: es la plataforma principal para el diseño del experimento, presentación de estímulos visuales y exportación de todos los datos de registro en formato .csv.

3. Estímulos:

- Batería de imágenes aleatorias de contenido emocional variado.
- Conjunto de emoticones para la evaluación de valencia (sentimiento bueno/malo).
- Periodos de intercalado sin estímulos visuales para reflejar la “mente en blanco” (*washout*).

Dicha práctica fue realizada por diversos miembros de nuestro grupo, y por consiguiente han sido considerados participantes para el estudio de los datos en nuestro proyecto.

➤ **Descripción de los participantes**

La muestra de participantes en nuestro estudio está compuesta por 4 estudiantes de postgrado, que son integrantes del grupo de trabajo. Las principales características de la muestra son:

- **N:** 4 sujetos.
- **Distribución por género:** 2 mujeres y 2 hombres.
- **Rango de edad:** 22-40 años aproximadamente.
- **Estado de salud de los participantes:** No existe constancia de trastornos neurológicos previos que pudieran interferir en la señal de EEG.

3.5 Planificación del seguimiento (análisis de usabilidad de la propuesta)

A: Objetivos del análisis de usabilidad

- Evaluar la facilidad de uso del sistema propuesto
- Identificar áreas de mejora en la interacción del usuario con el sistema.
- Medir la satisfacción y la experiencia del usuario frente a la propuesta.

B: Metodología del análisis

1. Selección de participantes

- Incluir un grupo diverso, para ser una representación objetiva para el público.

- Determinar cuántos participantes son necesarios para la obtención de datos necesarios.

2. Técnicas para la evaluación

- Pruebas de usabilidad: Organizar sesiones en las que los participantes interactúen con el sistema mientras se registran métricas clave.
- Cuestionarios y entrevistas: Uso de métodos de evaluación para medir cómo los usuarios perciben la facilidad de uso de sistema.
- Análisis de datos: recopilación de datos, tanto cuantitativos como cualitativos, para un análisis más exhaustivo.

C: Implementación del seguimiento:

1. Cronograma

- Estructurar la programación temporal para la elaboración de los tests y del registro de datos.
- Establecer una secuencia de hitos fundamentales que delimite los plazos de ejecución para el análisis exhaustivo de los resultados obtenidos.

2. Recursos necesarios

- Infraestructura técnica y herramientas de software requeridas para los ensayos.
- Equipo técnico cualificado para la moderación de las pruebas y el tratamiento de los datos.

3. Análisis de resultados

- Sistematizar los datos para la identificación de patrones significativos y ejes de mejora estratégica.
- Cotejar los resultados frente a las metas fundacionales para determinar el grado de cumplimiento del proyecto.

- Compilar los hallazgos y recomendaciones en un informe final de resultados.

4. Revisión y ajustes

- Implementar optimizaciones en las propuestas orientadas a subsanar las deficiencias de usabilidad detectadas.
- Establecer protocolos de control para verificar la solvencia de los ajustes realizados en la propuesta.

Como se puede observar, el análisis de usabilidad es un componente crítico para afianzar que la solución no solo sea técnicamente robusta, sino que sea también operativamente eficiente. De esta manera se obtendrá un seguimiento con una evaluación continua y una mejora en la calidad de la propuesta en futuras iteraciones.

4. Conclusiones

Tras el desarrollo del pipeline de procesamiento en Python y el análisis de los registros de EEG de 12 canales, se extraen las siguientes conclusiones vinculadas a los objetivos iniciales:

- **Validación de la reactividad cortical (RQ1):** se observa una diferencia notable en la actividad de las ondas Alfa (α) entre las fases de reposo y las de exposición. En los periodos de *washout* se observó, que la potencia Alfa alcanzó su máximo (ojos cerrados), mostrando un desajuste inmediato al procesar estímulos visuales, lo que valida que los estímulos utilizados están provocando la respuesta psicológica que se buscaba.
- **Estado de atención vs. Estrés (H1):** contrario a la hipótesis inicial (H1) que preveía un aumento de estrés, se observó en los resultados una estabilidad o leve descenso en la

banda Beta durante el proceso de visualización. Esto quiere decir, que se generó un estado de atención sostenida a través de la tarea de observación pasiva sin llegar a provocar una carga cognitiva estresante para los estudiantes.

- **Identificación de valencia emocional (RQ3):** El uso del par de canales frontales AF7/AF8 evidenció que es el indicador más fiable para el cálculo de la Asimetría Frontal Alfa (FAA). Esto reveló una tendencia hacia la asimetría negativa, este fenómeno se vincula con la activación de regiones corticales diestras, asociadas típicamente con el procesamiento de experiencias afectivas de rechazo o evitación.
- **Limitaciones técnicas y sesgos (RQ2):** el análisis comparativo a base del género señaló valores de potencia cerca a cero para los sujetos femeninos. Debido a esta observación, se puede concluir que hubo un problema de ajuste o impedancia del casco durante la toma de datos, lo que indica la importancia de los indicadores de calidad de la señal.

5. Líneas futuras de investigación

Para una continuidad y mejora de la robustez de este proyecto de ingeniería biomédica, se propone a continuación las siguientes líneas de trabajo:

- **Integración Multimodal Completa:** incorporación al flujo de análisis de datos ya obtenidos de GSR (respuesta galvánica de la piel) y Eye Tracking. La combinación de la conductancia de la piel (indicador de la activación emocional) con el EEG permitiría una clasificación más precisa de la excitación de los sujetos.
- **Optimización del preprocesamiento ocular:** refinamiento del algoritmo de Análisis de Componentes Independientes (ICA) para minimizar con una mayor exactitud los artefactos de parpadeo en los canales Fp1/Fp2 (zona prefrontal), lo que

permitiría una recuperación de los canales para la evaluación de asimetría, enriqueciendo así los canales AF7/AF8.

- **Aplicación de técnicas de Machine Learning:** Potenciar la capacidad del sistema a través de la integración de sistemas de clasificación inteligente que permita automatizar el reconocimiento de estados afectivos, convirtiendo el registro histórico de datos en una herramienta de monitoreo inteligente y predictivo en tiempo real.
- **Mejora del protocolo de adquisición:** la implementación de sistemas de verificación de impedancia en tiempo real para impedir la pérdida de la señal crítica en los canales frontales, como ocurrió en F3/F4, y así garantizar la equitatividad de la muestra para permitir su explotación estadística en futuros análisis comparativos por razón de géneros.

6. Referencias bibliográficas

- Apicella, A., Arpaia, P., Mastrati, G., & Moccaldi, N. (2021). EEG-based detection of emotional valence towards a reproducible measurement of emotions. *Scientific Reports 2021 11:1*, 11(1), 21615-. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00812-7>
- Coan, J. A., & Allen, J. J. B. (2004). Frontal EEG asymmetry as a moderator and mediator of emotion. *Biological Psychology*, 67(1–2), 7–50. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2004.03.002>
- Codispoti, M., De Cesarei, A., & Ferrari, V. (2023). Alpha-band oscillations and emotion: A review of studies on picture perception. *Psychophysiology*, 60(12). <https://doi.org/10.1111/PSYP.14438>
- Eijlers, E., Smidts, A., & Boksem, M. A. S. (2019). Implicit measurement of emotional experience and its dynamics. *PLoS ONE*, 14(2), e0211496. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0211496>
- Galvão, F., Alarcão, S. M., & Fonseca, M. J. (2021). Predicting Exact Valence and Arousal Values from EEG. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 21(10). <https://doi.org/10.3390/S21103414>
- Harmon-Jones, E., & Gable, P. A. (2018). On the role of asymmetric frontal cortical activity in approach and withdrawal motivation: An updated review of the evidence. *Psychophysiology*, 55(1). <https://doi.org/10.1111/PSYP.12879>
- Ho, P. H., Chen, Y. S., & Wei, C. S. (2024). Toward EEG-Based Objective Assessment of Emotion Intensity. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual International Conference*, 2024. <https://doi.org/10.1109/EMBC53108.2024.10781662>
- Hoge, E. A., Philip, S. R., & Fulwiler, C. (2019). Considerations for mood and emotion measures in mindfulness-based intervention research. *Current Opinion in Psychology*, 28, 279–284. <https://doi.org/10.1016/J.COPSYC.2019.02.001>
- Montero García-Celay, I., & León, O. G. (2007). A guide for naming research studies in Psychology. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, ISSN 1697-2600, Vol. 7, No. 3, 2007, Págs. 847-862, 7(3), 847–862. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2357895>
- Smith, E. E., Reznik, S. J., Stewart, J. L., & Allen, J. J. B. (2017). Assessing and conceptualizing frontal EEG asymmetry: An updated primer on recording, processing, analyzing, and interpreting frontal alpha asymmetry. *International Journal of Psychophysiology*, 111, 98–114. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2016.11.005>
- Sugden, R. J., Pham-Kim-Nghiem-Phu, V. L. L., Campbell, I., Leon, A., & Diamandis, P. (2023). Remote collection of electrophysiological data with brain wearables:

opportunities and challenges. *Bioelectronic Medicine*, 9(1).
<https://doi.org/10.1186/S42234-023-00114-5>

Teo, J. T., Johnstone, S. J., & Thomas, S. J. (2023). Use of portable devices to measure brain and heart activity during relaxation and comparative conditions: Electroencephalogram, heart rate variability, and correlations with self-report psychological measures. *International Journal of Psychophysiology*, 189, 1–10.
<https://doi.org/10.1016/J.IJPSYCHO.2023.04.002>

Zhao, G., Zhang, Y., & Ge, Y. (2018). Frontal EEG Asymmetry and Middle Line Power Difference in Discrete Emotions. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 12.
<https://doi.org/10.3389/FNBEH.2018.00225>

Anexo 1: Uso de Herramientas GenAI

- **Asignatura:** Análisis de Registros Multicanal en el Comportamiento Humano
- **Titulación:** Máster Universitario en Ingeniería Biomédica
- **Grupo:** 1
- **Integrantes:**
 - Rocío Águeda Miguel
 - Gloria Curiel Rodríguez
 - Mario Díaz Sutil
 - Gonzalo Martín Arroyal
 - Eira Rodríguez Martín

Práctica 1

- **Descripción del proceso:**

- **Herramienta de GenAI utilizada:** Gemini (<https://gemini.google.com/>)
- **Instrucciones que se le han dado a la herramienta (Prompts):**

"Estoy redactando los objetivos y preguntas de investigación para un trabajo de Ingeniería Biomédica. Mi objetivo general es analizar la actividad eléctrica cerebral mediante EEG en estudiantes universitarios cuando ven imágenes que evocan emociones. ¿Podrías sugerirme algunas propuestas o líneas de investigación que sean comunes en este tipo de estudios?"

- **Resultados obtenidos:**

La herramienta propuso las siguientes líneas de investigación:

- La comparativa de la actividad en bandas de frecuencia específicas (alfa y beta).
- El estudio de diferencias de respuesta según el perfil demográfico (como edad, género, nivel de ingresos).
- El análisis de la lateralización o asimetría cerebral ante estímulos positivos y negativos.

- Estudiar la comunicación entre diferentes áreas del cerebro para ver cómo se coordinan durante el procesamiento emocional.
- **Localización de los resultados incluidos en el presente trabajo:**

Las propuestas sugeridas por la IA se utilizaron como apoyo para redactar la sección *3.1 Objetivos*.
- **Descripción de la adaptación realizada de los resultados obtenidos:**

En base a las propuestas sugeridas por la IA se realizó un proceso de selección y concretización en base al objetivo general y propósito de este proyecto. De esta manera, se logró especificar correctamente las preguntas de investigación (RQ) y objetivos específicos. También, hay que señalar que las sugerencias de la IA facilitaron la especificación de las hipótesis del trabajo, pues guiaron la definición de las RQ.

En lo relativo a la propuesta del estudio de las diferencias en base al perfil demográfico se decidió centrarse únicamente en el género de los participantes, ya que el resto de las características resultaban muy homogénea.
- **Valoración del proceso iterativo con la herramienta de GenIA:**

La valoración es positiva, pero con ciertos matices. En primer lugar, la herramienta ofrece una buena “luvia de ideas” inicial, ayudando a estructurar las preguntas de investigación. Sin embargo, la IA tiende a ofrecer respuestas genéricas o que puedan implicar una alta complejidad técnica.

Por lo tanto, como valoración de mejora se podría indicar que resulta más útil utilizar la IA para refinar propuestas que para crearlas. Al final, el resultado de los objetivos del trabajo ha sido fruto de una supervisión manual y reformulación constante, por parte de los autores, para que estuvieran adaptados realmente a los propósitos de este proyecto.

- **Diagrama de flujo del proceso iterativo realizado:**

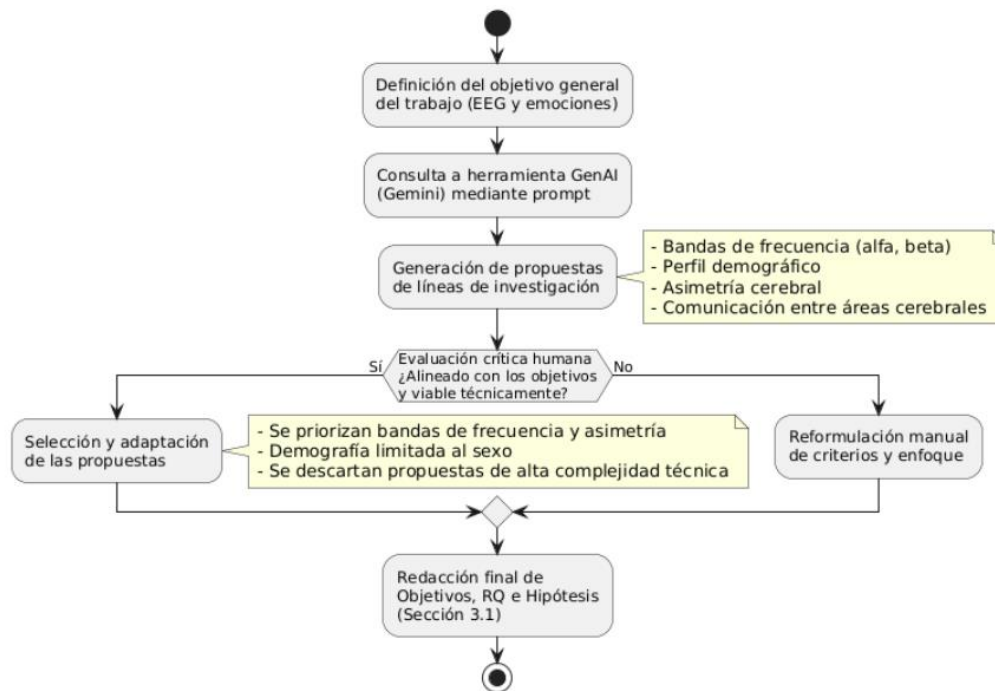


Ilustración 6. Diagrama de Flujo Práctica 1

Práctica 2

- **Descripción del proceso:**

- **Herramienta de GenAI utilizada:** ChatGPT (<https://chatgpt.com>)

- **Instrucciones que se le han dado a la herramienta (Prompts):**

1. “En mi trabajo académico he desarrollado previamente un diseño experimental basado en la observación pasiva de estímulos visuales con distinta carga emocional, intercalados con periodos de washout. El objetivo principal del estudio es analizar la respuesta del participante ante los estímulos, sin que exista interacción ni toma de decisiones, y dentro de un enfoque multimodal en el que el EEG es la señal principal y el Eye Tracking actúa como complemento.

Partiendo de este diseño ya definido, ¿qué medidas generales de Eye Tracking se consideran más adecuadas para este tipo de tareas y por qué suelen emplearse en estudios similares?”

2. “En el estudio se pretende analizar principalmente procesos cognitivos relacionados con la atención visual, el nivel de implicación del sujeto ante el estímulo y la forma en que explora visualmente las imágenes, en un contexto de observación pasiva y procesamiento emocional.

Teniendo en cuenta estos objetivos, ¿qué relación conceptual suele establecerse entre las principales medidas de Eye Tracking (por ejemplo, fijaciones, duración de fijación o patrones de exploración visual) y los procesos cognitivos o de aprendizaje que se desean estudiar en este tipo de tareas (que son la atención visual, procesamiento del estímulo, exploración visual del estímulo, procesamiento emocional implícito)?”

○ **Resultados obtenidos:**

La herramienta GenIA proporcionó una orientación inicial sobre las medidas de Eye Tracking más habitualmente empleadas en estudios académicos basados en la observación pasiva de estímulos visuales y en el análisis de procesos cognitivos y emocionales. Destaco métricas como: el número de fijaciones y duración media de las fijaciones, tiempo total de fijación sobre el estímulo o áreas de interés, patrones de exploración visual, duración de las sacadas... Además, estableció una relación de estas medidas con los procesos cognitivos estudiados. Por ejemplo, las fijaciones prolongadas y un mayor tiempo total de fijación se asocian con un incremento de la atención sostenida. Indicó que estas métricas son las adecuadas en diseños experimentalmente pasivos, ya que no requieren interacción del paciente y permiten una atención directa en términos de atención visual.

○ **Localización de los resultados incluidos en el presente trabajo:**

La información obtenida a través de esta herramienta GenIA ha sido utilizada en este trabajo en apartados como: *3.2 Indicadores de Evaluación*, contraste de información para la selección de métricas; *3.3 Propuesta de la solución*, referencia para justificar el Eye Tracking como apoyo al análisis principal basado en EEG; *3.5 Planificación del seguimiento (análisis de usabilidad de la propuesta)*, con el fin de contextualizar el uso del *Eye Tracking* y del software dentro del diseño multimodal del estudio.

○ **Descripción de la adaptación realizada de los resultados obtenidos:**

Las orientaciones proporcionadas por la herramienta de GenIA fueron revisadas y adaptadas manualmente, con el objetivo de garantizar su coherencia con el diseño experimental. En concreto, a partir de las líneas generales sugeridas por la IA se realizó una selección de aquellas medidas de Eye Tracking que resultaban compatibles con una tarea de observación pasiva y con el análisis de procesos cognitivos como la atención visual y la exploración del estímulo. Por otro lado, se descartaron métricas más complejas o asociadas a tareas interactivas no relevantes en este estudio.

○ **Valoración del proceso iterativo con la herramienta de GenIA:**

La valoración del uso de la herramienta de GenIA en esta práctica es mayoritariamente positiva, ya que facilitó una orientación inicial clara sobre las medidas de Eye Tracking más habituales. Este apoyo permitió estructurar el análisis y acotar el número de métricas a considerar, reduciendo el riesgo de sobrecargar el estudio. No obstante, se identificaron algunas limitaciones, ya que las propuestas ofrecidas tendían a ser genéricas y no siempre estaban completamente adaptadas al diseño experimental concreto ni a las restricciones de una tarea pasiva. Por este motivo, fue necesario un proceso iterativo de revisión y selección manual para

asegurar la coherencia metodológica y la adecuación de las métricas finalmente empleadas. La IA actuó como una herramienta de apoyo conceptual, pero la validación final y las decisiones metodológicas recayeron sobre los integrantes del equipo.

- **Diagrama de flujo del proceso iterativo realizado:**

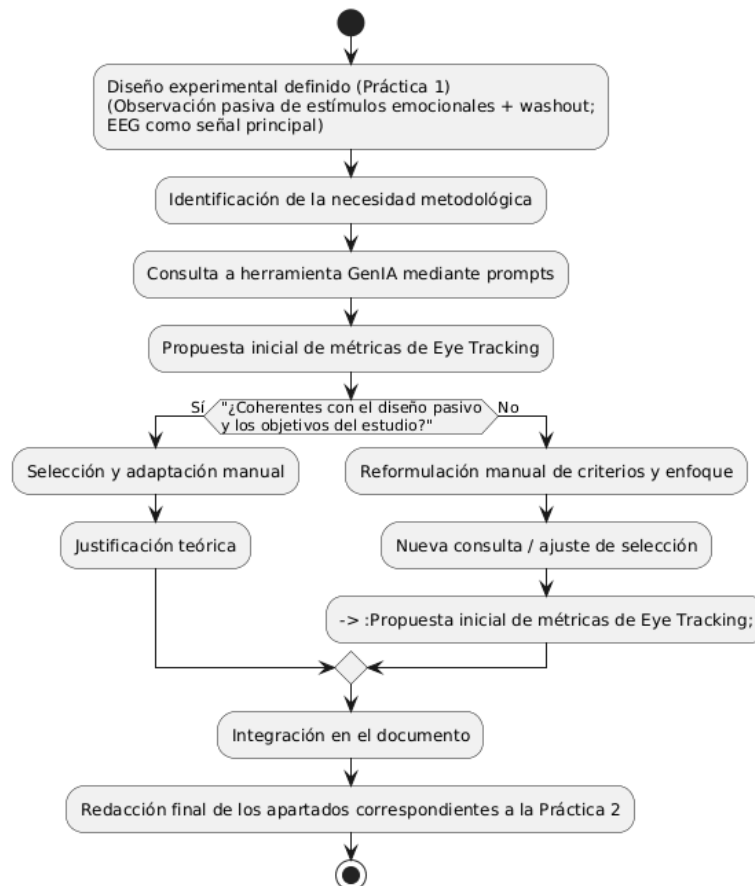


Ilustración 7. Diagrama de Flujo Práctica 2

Práctica 3

- **Descripción del proceso:**

- **Herramienta de GenAI utilizada:** Gemini (<https://gemini.google.com/>)
- **Instrucciones que se le han dado a la herramienta (Prompts):**

1. “Actúa como experto en análisis de datos biomédicos con Python. Estoy calculando la asimetría frontal con la fórmula $(R-L)/(R+L)$. Al visualizar el histograma, aparecen barras desproporcionadas en los valores exactos 1.0 y -1.0. Explicame qué significa matemáticamente obtener un 1 en esta fórmula y proporcióname un código seguro para filtrar estos valores del DataFrame, asumiendo que pueden ser fallos de conexión de los electrodos. El código debe usar lógica booleana de Pandas y no eliminar datos válidos cercanos.”
2. “Actúa como programador experto en la librería mne-python. Necesito comparar topomapas de potencia entre 'Descanso' y 'Imagen'. El problema es que MNE auto-escala cada mapa (ej. uno va de 0-5 uV y otro de 0-50 uV), haciendo imposible la comparación visual directa. Genera un script que pinte los mapas en un bucle, pero forzando a que todos usen la misma escala de colores (vmin, vmax) basada en los máximos globales de mis datos. Usa funciones actuales compatibles con MNE v1.0+.”
3. “Actúa como tutor académico en neurociencia cognitiva. Al restar la potencia espectral 'Imagen' - 'Descanso', obtengo un mapa de calor donde la zona occipital aparece en azul intenso (pérdida de potencia) en la banda Alfa (8-13 Hz). ¿Qué significado fisiológico tiene que la potencia Alfa disminuya al mirar una imagen? ¿Es un resultado esperado o un error? Justifica la respuesta basándote en la teoría de la desincronización relacionada con eventos (ERD).”
4. “Asistente técnico de Python. Estoy intentando visualizar un espectrograma Time-Frequency con `tfr_morlet`. Obtengo un `RuntimeError: Layout not compatible` al usar `plt.tight_layout()` y advertencias sobre funciones "legacy". Analiza el error y proporciona el código corregido para visualizar el espectrograma utilizando las funciones modernas y solucionando el conflicto con el layout de Matplotlib.”

○ **Resultados obtenidos:**

1. La IA identificó que $(R-L)/(R+L)=1$ implica que el canal izquierdo (L) es 0 (electrodo muerto). Proporcionó el código de filtrado $df[abs(indice) < 0.95]$.
2. Un script iterativo que calcula previamente v_{min} y v_{max} de todo el conjunto de datos y los pasa como argumentos fijos a la función `plot_topomap`, unificando la escala cromática.
3. Explicación detallada sobre el "Bloqueo Alfa" o Desincronización, confirmando que la zona azul (bajada de potencia) en occipital es el marcador fisiológico correcto de la atención visual.
4. Solución técnica que implicaba eliminar `plt.tight_layout()` debido a conflictos con la gestión de figuras interna de MNE y sugerencias para usar `.compute_tfr()` en el futuro.

○ **Localización de los resultados incluidos en el presente trabajo (para cada una de las respuestas de cada prompt):**

1. El resultado es apreciable en la *Ilustración 5. Comparación de índices de asimetría frontal según la localización de los pares de electrodos (AF vs Fp)*, en la que pueden apreciarse como valores límite del índice el -1 y el 1 . Concretamente en el código se implementó un filtro para evitar utilizar los valores extremos ($indice > 0.95$).
2. El resultado visual directo es la *Ilustración 3. Topografía de la reactividad espectral inducida por el estímulo visual*.
3. La justificación neurofisiológica se ha integrado en el apartado 3.3.4, en la discusión de la *Ilustración 3. Topografía de la reactividad espectral inducida por el estímulo visual*, donde se interpreta la disminución de la potencia Alfa como un indicador de atención visual (Desincronización) y no como un fallo del registro.

4. Se visualiza en la *Ilustración 3. Topografía de la reactividad espectral inducida por el estímulo visual.*

○ **Descripción de la adaptación realizada de los resultados obtenidos:**

- El código proporcionado por la IA para los topogramas y el espectrograma utilizaba funciones obsoletas (como `.crop()` en objetos espectrales o `tight_layout` incompatible con MNE). Se corrigió manualmente el script para utilizar métodos actuales (`.get_data()`), eliminar comandos conflictivos y ajustar el tamaño de las figuras y las etiquetas de los ejes para que fueran legibles al pegarlas en el informe final.
- La explicación de la IA sobre el bloqueo Alfa era genérica. Se realizó una síntesis crítica para aplicarla únicamente al contexto de mi muestra, descartando información sobre otras bandas de frecuencia que la IA sugirió pero que no eran relevantes para validar mi hipótesis principal.
- Aunque la IA sugirió filtrar matemáticamente los índices de asimetría, la decisión final de establecer el umbral en 0.95 fue tomada tras una inspección visual humana de mis datos para asegurar que no se eliminaban picos de emoción real, sino solo artefactos de conexión.

○ **Valoración del proceso iterativo con la herramienta de GenIA:**

La herramienta demostró ser muy eficaz para resolver barreras técnicas de programación avanzada (como bucles de visualización complejos y gestión de escalas de color) que habrían requerido mucho tiempo de desarrollo manual. También facilitó el acceso a justificaciones teóricas complejas.

Se detectó una limitación importante en la actualización de las librerías: la IA sugería frecuentemente código "legacy" (antiguo) que generaba errores de ejecución, obligando a un proceso constante de depuración y búsqueda de documentación oficial por mi parte.

En conclusión, la IA actuó como un soporte técnico y tutor teórico, permitiendo elevar la calidad visual y científica del trabajo, pero la interpretación final de los datos y la validación de las gráficas fue responsabilidad íntegra del estudiante.

- **Diagrama de flujo del proceso iterativo realizado:**

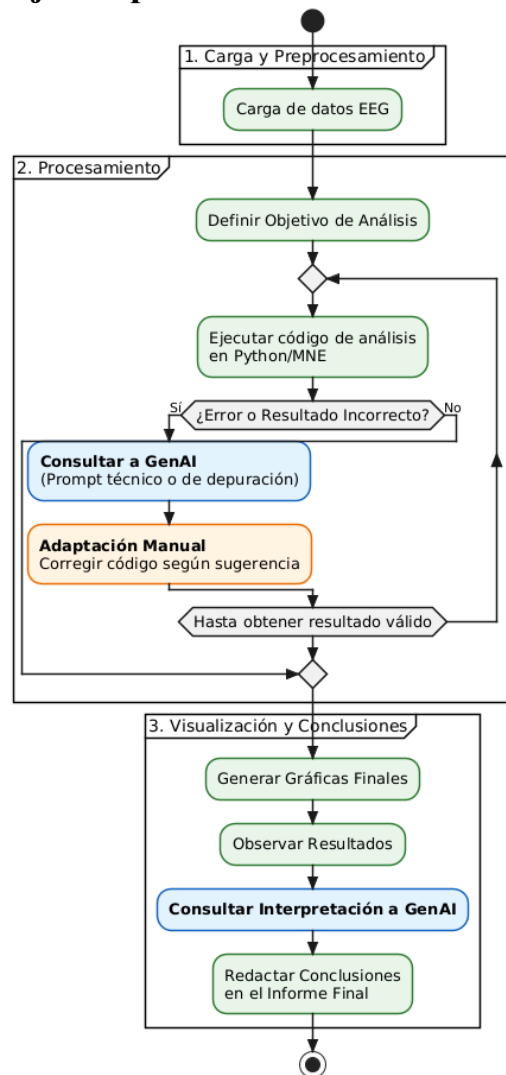
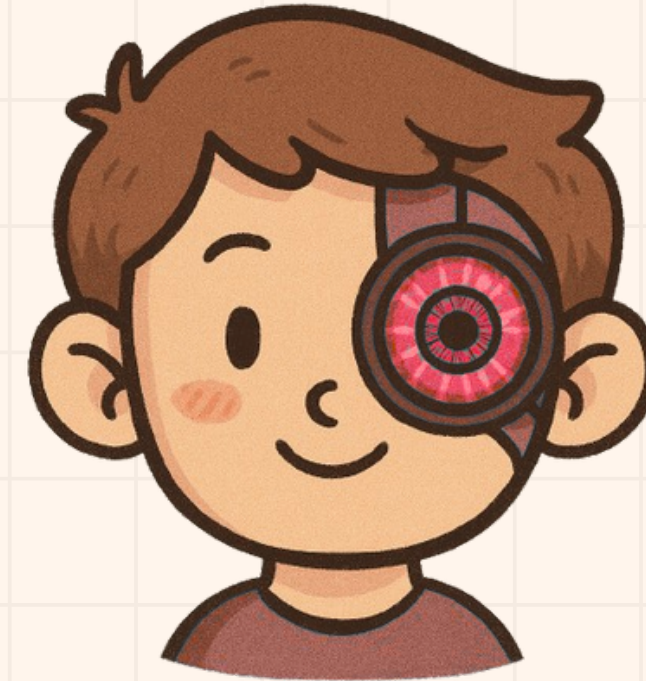


Ilustración 7. Diagrama de Flujo Práctica 3

Anexo 2: Presentación del Proyecto

A continuación, se encuentra adjuntado el archivo con la presentación del proyecto de “Estudio del Procesamiento Emocional mediante Señales EEG Multicanal”.

ANÁLISIS EEG DE EMOCIONES VISUALES



ROCÍO ÁGUEDA MIGUEL
GLORIA CURIEL RODRÍGUEZ
MARIO DÍAZ SUTIL
EIRA RODRÍGUEZ MARTÍN
GONZALO MARTÍN ARROYAL



ÍNDICE DE CONTENIDO

- 1. Introducción**
- 2. Objetivos**
- 3. Metodología**
- 4. Procesamiento de la Señal**
- 5. Resultados**
- 6. Planificación del Seguimiento**
- 7. Conclusiones y Líneas Futuras**



INTRODUCCIÓN

ANÁLISIS DE REGISTROS MULTICANAL EN EL
COMPORTAMIENTO HUMANO

- Proyecto centrado en el **procesamiento y análisis** de las **Señales EEG**
- Proceso de **adquisición multimodal** → Software Tobii Pro Lab
- **Focalización** del estudio en la **actividad eléctrica cerebral** → EEG Bitbrain (12 canales)



Elección EEG debido a su elevada **resolución temporal**



Posibilita **observación precisa** de **respuestas neurofisiológicas instantáneas** antes los **estímulos externos**

OBJETIVO GENERAL

Analizar cómo cambia la actividad eléctrica cerebral cuando un grupo de estudiantes universitarios del Máster en Ingeniería Biomédica es expuesto a imágenes que evocan diferentes emociones.

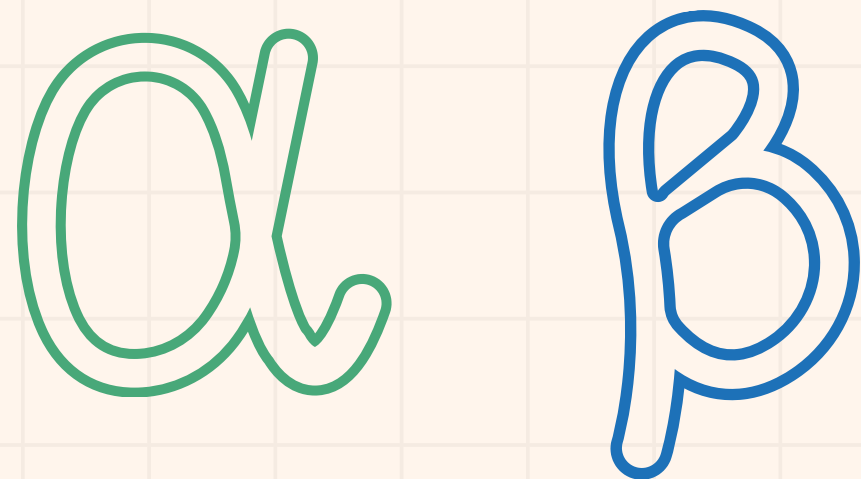


Estudio **transversal** con
diseño **cuasiexperimental**
de medidas repetidas

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

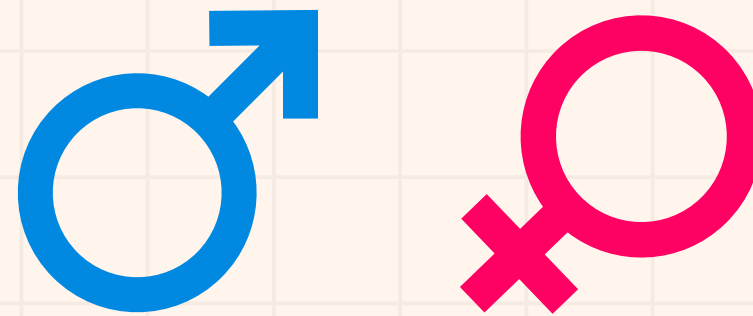
RQ1

¿Existen diferencias significativas en la actividad de las ondas Alfa (α) y Beta (β) entre las fases de observación de imágenes afectivas y los periodos de *washout*?



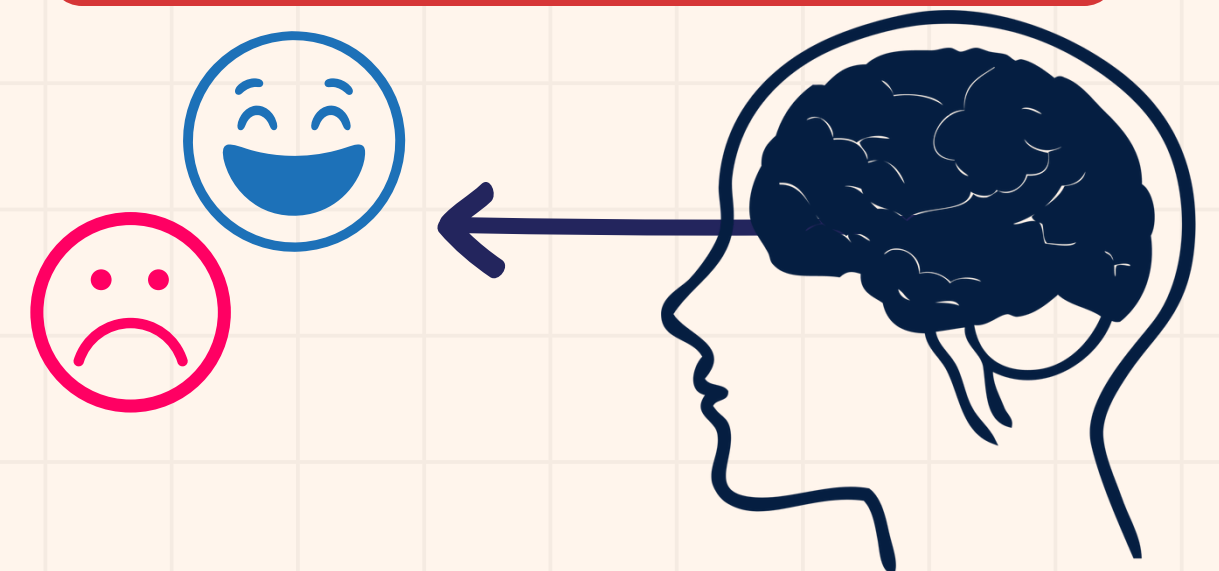
RQ2

¿Influye el género del participante en la intensidad de la respuesta neurofisiológica?



RQ3

¿Es posible detectar patrones de asimetría interhemisférica frontal que reflejen la percepción de emoticonos o imágenes con connotaciones positivas o negativas?



METODOLOGÍA - INDICADORES DE EVALUACIÓN

ANÁLISIS DE REGISTROS MULTICANAL EN EL COMPORTAMIENTO HUMANO

INDICADORES NEUROFISIOLÓGICOS

BANDA ALPHA (8-13 HZ)

BANDA BETA (13-30 HZ)

ASIMETRÍA FRONTAL (FAA)

INDICADORES TEMPORALES Y DE CONDICIÓN EXPERIMENTAL

INDICADORES DE DIFERENCIAS INDIVIDUALES

INDICADORES DE CALIDAD DE LA SEÑAL

PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL

1. FILTRADO

Paso banda 0.5–40 Hz
Eliminación de ruido lento y
eléctrico

2. ELIMINACIÓN DE ARTEFACTOS

ICA para retirar parpadeos y
movimientos oculares

3. CONTROL DE CALIDAD

Detección de electrodos con
potencia nula
Corrección/eliminación de
segmentos corruptos

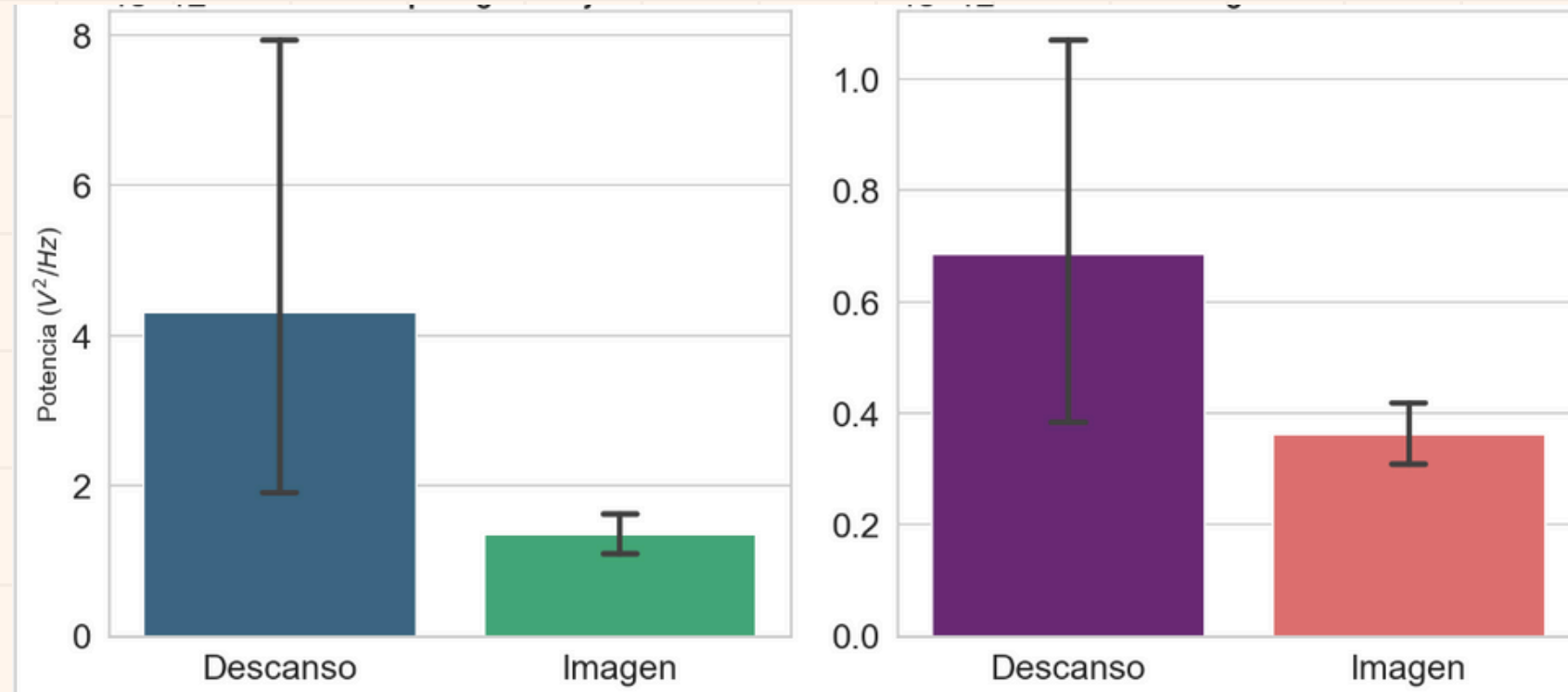
4. CÁLCULO DE POTENCIA

Análisis de bandas Alfa (8–13 Hz) y
Beta (13–30 Hz)
Comparación: reposo vs estímulo



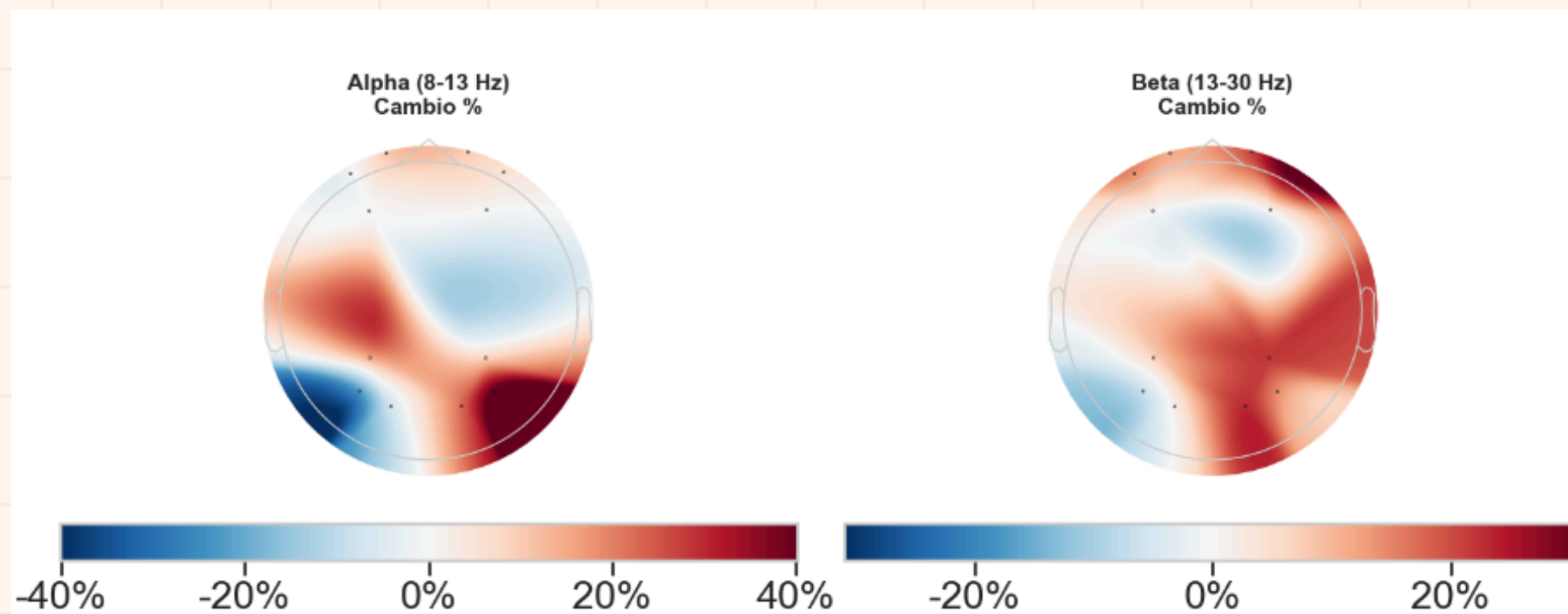
RESULTADOS

ANÁLISIS DE REGISTROS MULTICANAL EN EL
COMPORTAMIENTO HUMANO



BANDA ALPHA

Mayor potencia en reposo
Disminución marcada durante
estímulos (ERD)
Activación occipital confirmada

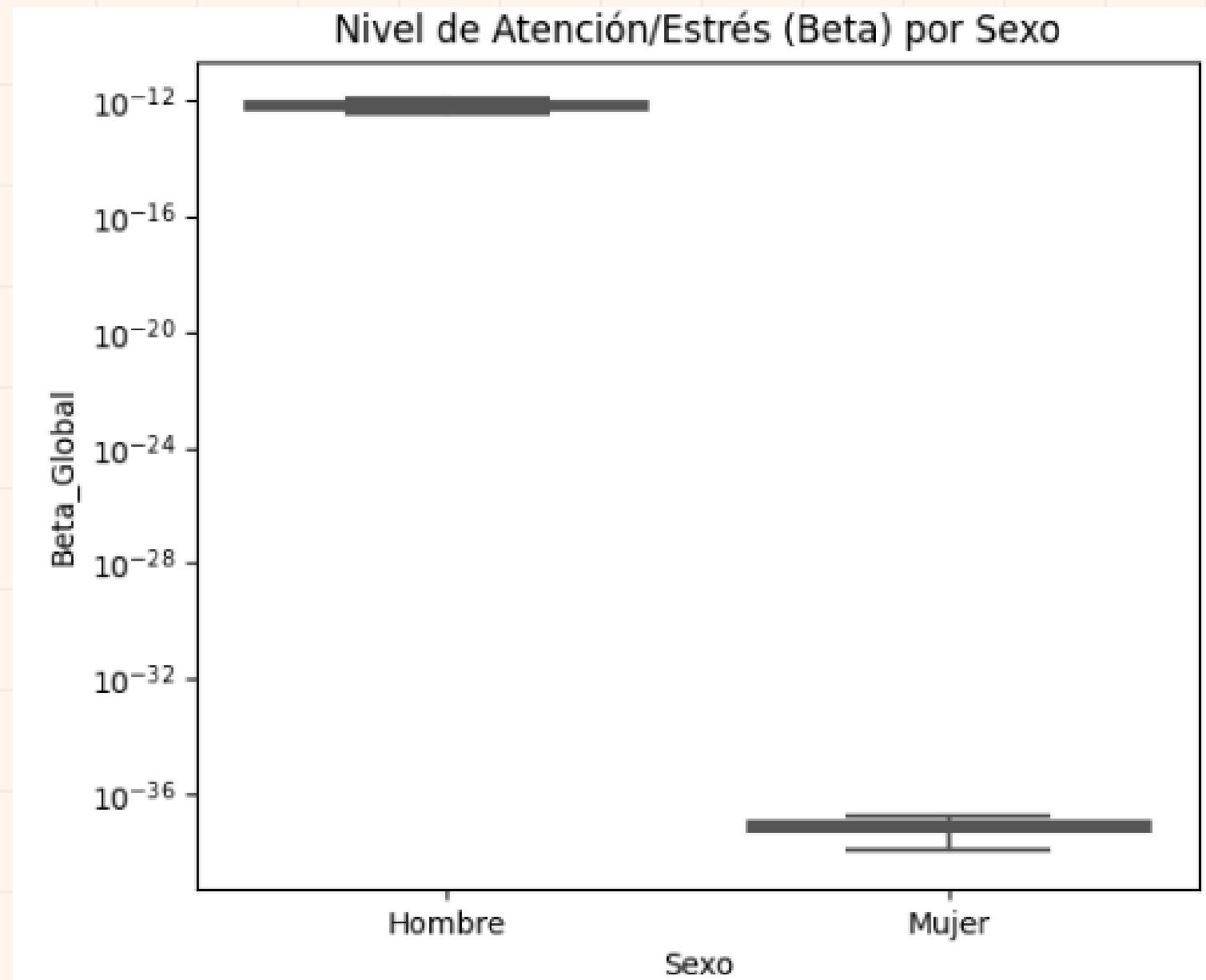


BANDA BETA

Estabilidad durante los estímulos
Atención sostenida sin aumento de
estrés

RESULTADOS

ANÁLISIS DE REGISTROS MULTICANAL EN EL
COMPORTAMIENTO HUMANO

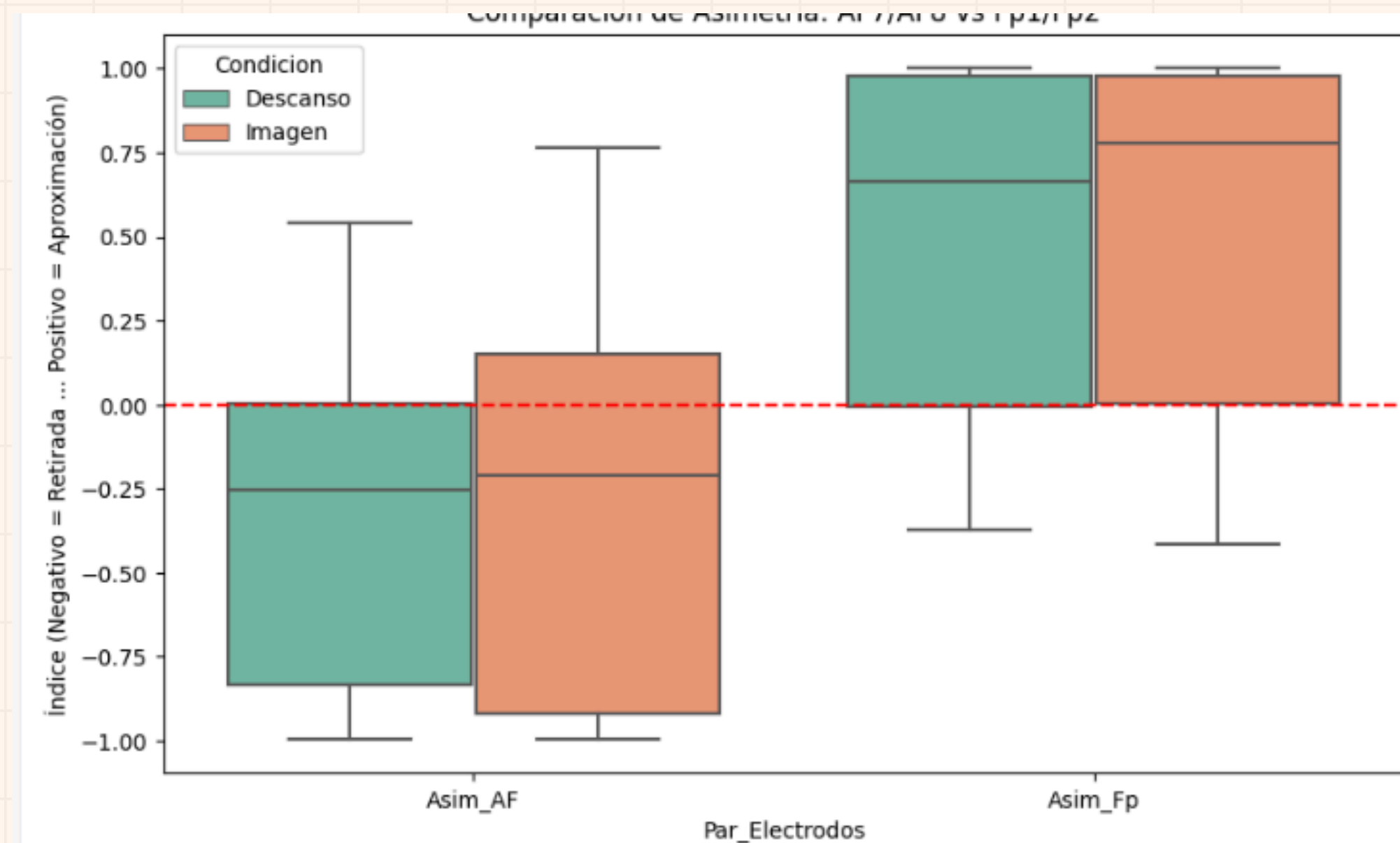


COMPARACIÓN POR SEXO

Señal femenina con baja amplitud por
problemas técnicos
No se extraen conclusiones
fisiológicas reales

RESULTADOS

ANÁLISIS DE REGISTROS MULTICANAL EN EL
COMPORTAMIENTO HUMANO



ASIMETRÍA FRONTAL (FAA)

Fp1/Fp2 descartados por artefactos
oculares
AF7/AF8 válidos → dominancia
hemisferio derecho
Tendencia asociada a valencia
negativa / retirada

PLANIFICACIÓN DEL SEGUIMIENTO

ANÁLISIS DE REGISTROS MULTICANAL EN EL COMPORTAMIENTO HUMANO



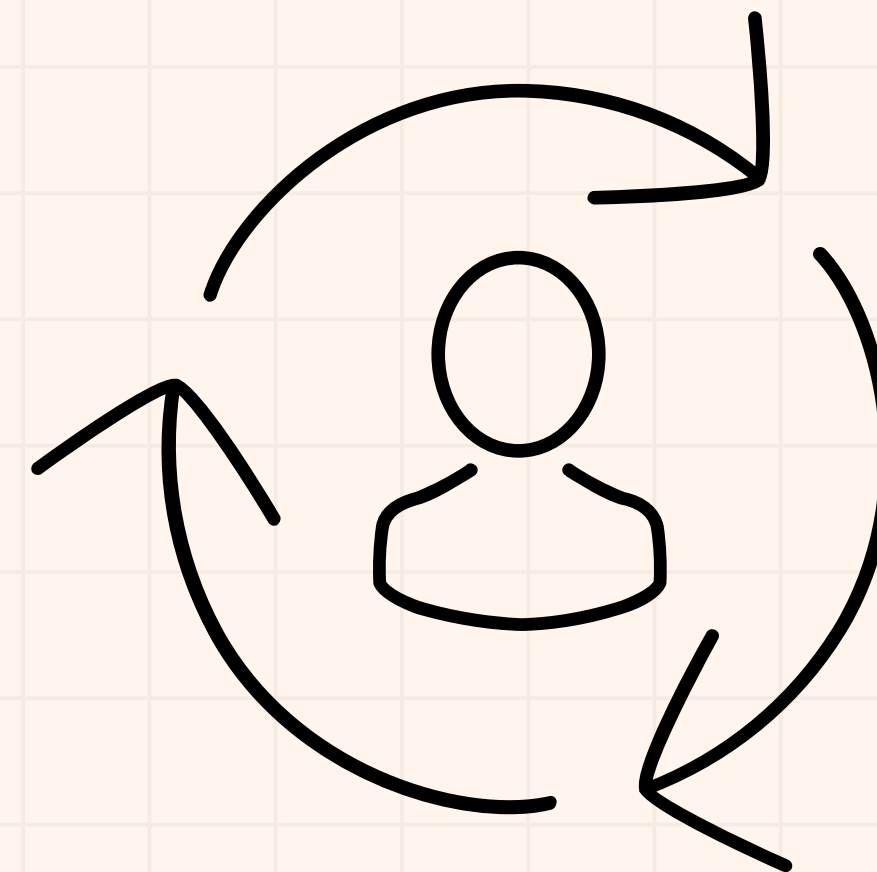
Implementación del seguimiento



Objetivos del análisis de usabilidad

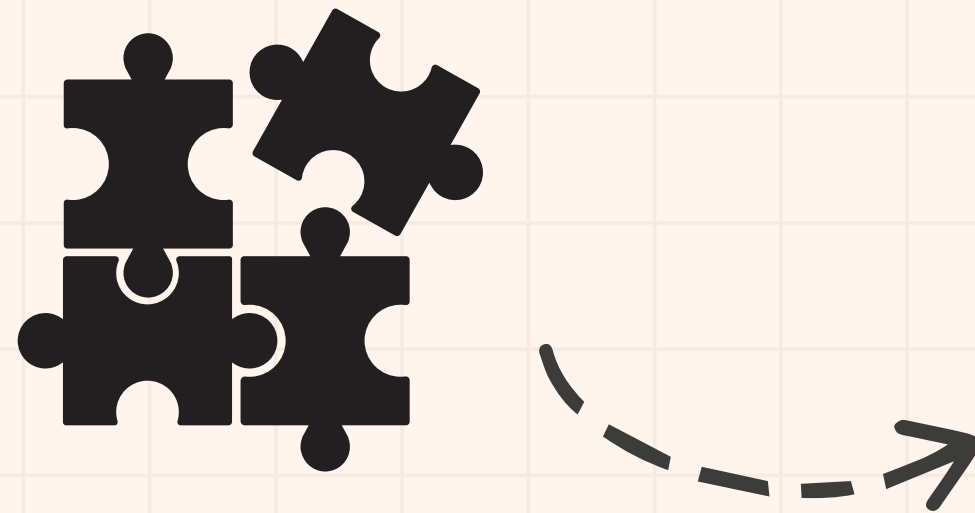


Metodología del análisis



CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE INTERVENCIÓN


ANÁLISIS DE REGISTROS MULTICANAL EN EL
COMPORTAMIENTO HUMANO



Optimización del preprocesamiento ocular

Técnicas de Machine Learning

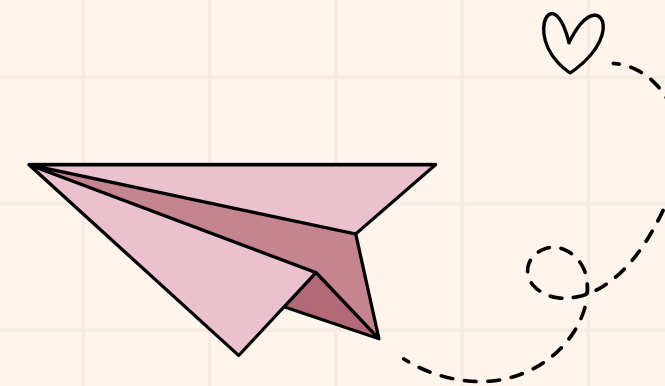
Mejora de la adquisición

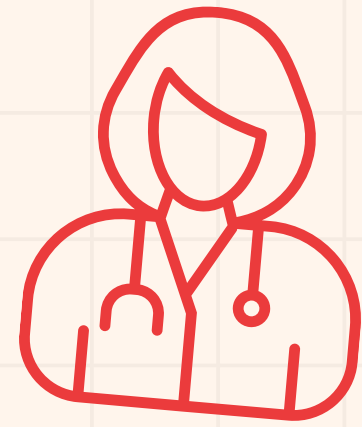


**Validación de la reactividad
cortical (RQ1)**

**Identificación de valencia
emocional (RQ3)**

**Limitaciones técnicas y
sesgos (RQ2)**





¿PREGUNTAS?

